Автоматизированный мониторинг воднотранспортных гидроузлов: современное состояние, проблемы внедрения и пути развития

Автор: Кузьменко И.Б.

Воднотранспортные гидроузлы представляют собой технически сложные комплексы гидротехнических сооружений повышенной опасности, включающие в себя грунтовые и бетонные плотины, дамбы, водосбросы, шлюзы, рыбоходы и другие сооружения. Сложность конструкций гидроузлов также обуславливают повышенные требования к системам мониторинга, способным точно отслеживать состояние критически важных узлов ГТС и своевременно выявлять потенциальные угрозы безопасности.

Из истории

Значительная часть гидротехнических сооружений в России и мире была построена в середине XX века и приближается к концу расчетного срока службы, который обычно составляет 50–100 лет. В мировой практике наблюдается «кризис старения» ГТС: так, в США средний возраст ~90 тыс. плотин превышает 56 лет, причём к 2020 г. свыше 85% этих сооружений уже отработали свой расчетный срок. 75% известных обрушений плотин происходило на сооружениях старше 50 лет.

На заседании Совета по развитию и обеспечению морской деятельности, созданного в рамках Морской коллегии начальником Управления Президента Российской Федерации по вопросам национальной морской политики Сергеем Вахруковым, отмечено, что только половина судоходных гидротехнических сооружений в России находится в работоспособном техническом состоянии.

Усугубляет проблему и изменение климата: уровень экстремальных паводков и проливных дождей может превышать пропускную способность гидроузлов и ускорять износ конструкций.

К основным причинам возникновения аварий на ГТС можно отнести: просчеты на этапе проектирования и строительства, потерю конструктивной прочности вследствие износа элементов ГТС и выработки эксплуатационного ресурса, изменение климата, повышение интенсивности возникновения экстремальных природных явлений, неправильную эксплуатацию ГТС, недостаточный контроль за состоянием ГТС.

Традиционные методы контроля состояния (периодические визуальные осмотры, ручные измерения фильтрации, периодический контроль осадок конструкций и их деформаций и пр.) зачастую не позволяют своевременно обнаружить скрытые дефекты и отследить тенденции развития опасных процессов.

Все вышесказанное свидетельствует о необходимости более совершенных, непрерывных методов мониторинга технического состояния гидроузлов, способных заблаговременно выявлять отклонения от нормы и предотвращать аварии.

Зарубежный опыт автоматизированного мониторинга

Во многих странах автоматизированный мониторинг крупных плотин и гидроузлов уже стал стандартом практики. Так, в США насчитывается более 91 000 плотин, из них 15 600 классифицируются как объекты с высокой степенью опасности. Для уменьшения рисков аварий на таких объектах и сооружениях проводится целый комплекс мероприятий, важнейшим из которых является непрерывный автоматизированный мониторинг. Последние данные свидетельствуют о стремительном переходе отрасли к цифровым технологиям: по состоянию на 2025 год около 76% объема мониторинга на плотинах США уже полностью автоматизировано, и ожидается рост этого показателя до ~82% в ближайшие пару лет.

Мировой опыт последних лет свидетельствует о быстром развитии технологий автоматизированного мониторинга. Практически все крупные проекты строительства ГТС включают автоматизированные системы контроля состояния сооружений и конструкций. В Швейцарии, Франции, США, Японии, Китае и других странах с большим парком плотин уже давно функционируют центры, осуществляющие дистанционный сбор показаний со всех ключевых объектов. В Канаде и ряде стран ЕС применяются волоконно-оптические системы мониторинга деформаций плотин – оптические датчики, а также заложенные в тело наблюдаемого объекта распределенные сенсоры, которые непрерывно отслеживают появление трещин, утечек и т. д.

Другой современный тренд – это использование спутниковых технологий дистанционного зондирования. С помощью спутниковой радиолокации (интерферометрия InSAR) удалённо измеряются мельчайшие прогибы земной поверхности и гребней плотин. Зарубежный опыт показал эффективность спутникового площадного мониторинга для раннего выявления опасных деформаций протяженных гидротехнических сооружений. К примеру, по данным из открытых источников, итальянские инженеры анализируют радарные спутниковые снимки, чтобы контролировать оседание плотины Вайонт (той самой, где была катастрофа 1963 года) и окружающих её горных склонов: любые подозрительные движения грунта будут зафиксированы задолго до возможной аварии. Конечно, спутниковый мониторинг не заменяет, а дополняет наземный, но вместе они дают комплексную картину состояния объекта.

Таким образом, за рубежом автоматизированный мониторинг ГТС уже стал неотъемлемой частью эксплуатации наиболее опасных сооружений. Цифровая трансформация в отрасли продолжается, ожидается дальнейшее повышение степени автоматизации, интеграция систем мониторинга с технологиями «умных» цифровых моделей плотин (Digital Twin), а также широкое внедрение прогнозной аналитики на основе больших данных, получаемых с датчиков.

Российский опыт и текущее состояние мониторинга

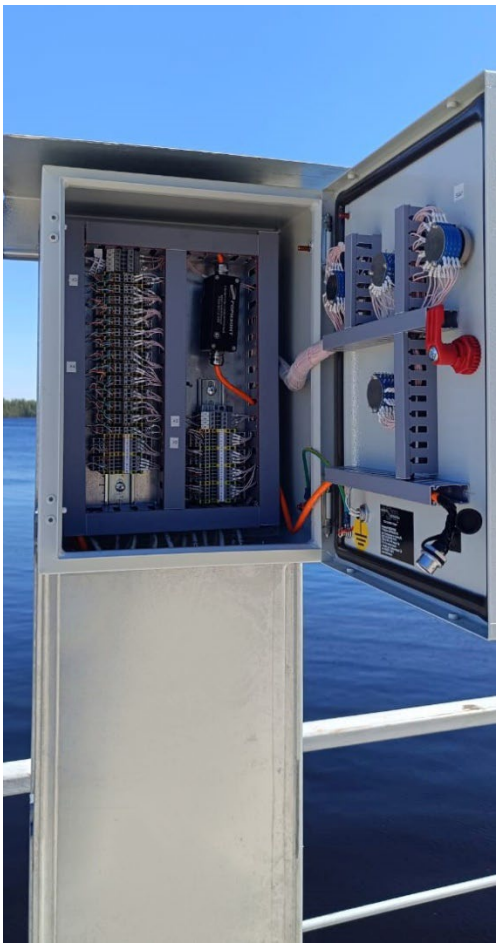
России на законодательном уровне закреплена необходимость мониторинга безопасности гидротехнических сооружений. Федеральный закон № 117-ФЗ «О безопасности ГТС» (1997),который обязывает собственников и эксплуатирующие организации обеспечивать постоянный контроль (мониторинг) показателей состояния ГТС и воздействующих на них факторов.

Для ГТС I и II классов необходимо создавать автоматизированные системы мониторинга и контроля безопасности. ГТС III класса обычно также оснащаются

автоматизированными или автоматизированно-ручными системами контроля, а IV класс, как правило, только контрольно-измерительной аппаратурой с ручным сбором данных (если отсутствует специальное обоснование для автоматизации).

СП 101.13330 2023 (внесен Минстроем РФ в перечень обязательных к исполнению в целях соблюдения требований Федерального закона 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений») указывает на необходимость, в том числе и для сооружений III класса, «обеспечивать применение автоматизированной системы диагностического контроля для непрерывного технического состояния сооружений в период строительства и эксплуатации». И это требование не является простой формальностью: сформировался достаточно большой перечень проектов, получивших замечания в данной части при прохождении экспертизы ФАУ «Главгосэкспертиза России» в период с 2024 по 2025 гг.

Практика показывает, что текущий уровень внедрения автоматизированного мониторинга в России пока не столь высок, как в зарубежных странах, но заметно растёт в последнее время. В водохозяйственном и транспортном секторах есть успешные примеры внедрения таких систем контроля. Так, например, ФГБУ «Канал имени Москвы» на протяжении 15 лет развивает информационную систему мониторинга, в которой аккумулируются результаты наблюдений за гидротехническими сооружениями судоходных гидроузлов. За относительно небольшой срок эксплуатации данная система неоднократно подтвердила свою эффективность и предотвратила несколько аварий на одном из сооружений канала.



Шкаф с автоматизированной системой опроса контрольно-измерительной аппаратуры (АСО КИА)

В октябре 2019 года автоматизированный контроль зафиксировал повышение уровня воды в пьезометре, расположенном в теле западной дамбы шлюза № 294. Система мгновенно уведомила персонал о нарушении нормы фильтрационного режима, что позволило оперативно принять решение о снижении уровня воды в канале до минимального навигационного предела. Это дало возможность в дальнейшем продолжить безопасную навигацию и одновременно разгрузить саму дамбу.

Весной 2020 года датчики вновь зарегистрировали рост уровня воды в пьезометрах на той же дамбе. Реагируя на сигнал, администрация канала увеличила частоту визуальных осмотров откосов и дренажных устройств на данном участке, в результате чего (при очередном осмотре) удалось вовремя обнаружить начальную стадию суффозионного выноса грунта из тела дамбы (появление мутной воды, а также небольшие просадки конструкции). Было принято незамедлительное решение прекратить эксплуатацию канала №294 и осушить его.

Благодаря этому удалось предотвратить прорыв дамбы и потенциальное затопление Тушинского автомобильного тоннеля, который расположен ниже по течению. Данный

случай наглядно демонстрирует, что наличие автоматизированного мониторинга способно дать специалистам преимущество по времени (дополнительные сутки и даже недели) для предотвращения чрезвычайных ситуаций и своевременного принятия мер безопасности.

Монтаж датчиков АСО КИА на объекте

На протяжении нескольких лет ООО «НТП «Горизонт» – российский разработчик и производитель средств измерений, оборудования сбора и передачи данных, программного обеспечения ИДС – последовательно оснащает гидротехнические сооружения воднотранспортных гидроузлов автоматизированными КИА, оборудованием сбора и передачи данных АСДК. Так, за 2023-2025 гг. осуществлены поставки оборудования АСДК на шлюзы №№2 и 14, плотину №23 Беломорско-Балтийского канала, шлюз №2 канала имени Москвы, Вологодский гидроузел. В настоящее время предприятием ведется комплексное оснащение АСДК на Городецком гидроузле.

Заключение

Компанией накоплен большой опыт создания автоматизированных систем диагностического контроля ГТС на базе контрольно-измерительной аппаратуры собственного производства на дамбах хвостохранилищ, плотинах ГЭС, причальных стенках береговых сооружений и камерах шлюзов.

Сложность самих гидротехнических сооружений и измерения параметров технического состояния накладывает дополнительные требования по адаптации существующих измерительных решений, зачастую приводит к необходимости разработки новых типов КИА под конкретную задачу мониторинга. Конструкторы и разработчики ООО «НТП «Горизонт» совместно с специалистами проектных институтов активно ведут разработки новых типов контрольно-измерительной аппаратуры по техническим заданиям Заказчиков.

Монтаж трехосевого трещиномера CMMG на объекте