

- К.М. Сейсмическое районирование Таджикистана. Душанбе: Дониш. - 1978.
7. Авакян А.Б., Салтанкин В.П., Шарапов В.А. Водохранилища М.: Мысль, 1987.- 109с.
8. Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов Таджикистана //Статистический сборник. 1991.

УДК 627.8 + 681.518

АППАРАТУРА И МЕТОДЫ МОНИТОРИНГА ПОВЫШАЮЩИЕ БЕЗОПАСНОСТЬ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

*Давлатшоев С.К.¹, Фазилов В.А.¹, Сафарова М.М.²,
Рахимов Б.Н.², Раджабова А.С.²*

Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ¹

Таджикский технический университет им. ак. М.С. Осими²

Аннотация. *Натурные наблюдения за основаниями гидротехнических сооружений должны начинаться на стадии их строительства и продолжаться непрерывно в течение всего периода жизненного цикла сооружений вплоть до их консервации или ликвидации. Для каждого конкретного основания гидротехнического сооружения периодичность регулярных натурных наблюдений устанавливаются индивидуально с учётом инженерно-геологических, гидрогеологических, геокриологических условий, компоновочных и конструктивных особенностей сооружений, характера реакции сооружения и его основания на нагрузки и воздействия, наличия (отсутствия) и интенсивности развития неблагоприятных для сооружения процессов или повреждений, условий эксплуатации. В статье рассматривается обзор методов и аппаратур для организации непрерывного мониторинга за основными параметрами сооружения, оснащение оснований сооружения контрольно-измерительными аппаратами в период возведения и эксплуатации.*

Ключевые слова: *аппаратура, мониторинг, безопасность, фильтрация, дренажные устройства, суффозия, сейсморазведка, деформометрия, геофильтрация, геотермия.*

Гидротехнические сооружения, ГТС – плотины, здания ГЭС, водосбросные, водоспускные и водовыпускные сооружения, туннели, каналы, насосные станции, судоходные шлюзы, судоподъёмники; сооружения, предназначенные для защиты от наводнений и разрушений берегов водохранилищ, берегов и дна русел рек; дамбы, ограждающие верхний и нижний бассейны гидроаккумулирующих электростанций, золошлакоотвалы и шламоотвалы тепловых электростанций и котельных, работающих

на органическом топливе, а также дамбы, ограждающие хранилища жидких отходов промышленных и сельскохозяйственных предприятий [1-7].

Оснащение оснований гидротехнических сооружений (ГТС) на период их эксплуатации контрольно-измерительными аппаратами (КИА) осуществляют, главным образом, в период их строительства по специальному проекту натурных наблюдений (мониторинга) (рис. 1).



Рис. 1. Пульт управления Богучанской ГЭС (а) и размещение КИА в плотине Чиркейской ГЭС (б)

В состав КИА включают измерительные приборы (датчики, преобразователи) серийного (промышленного) типа, прошедшие метрологическую аттестацию и сертификацию, удовлетворяющие требованиям по точности и диапазону измерений, долговременной стабильности (рис. 2).

При наличии доступа предусматривают периодическое выполнение вручную контрольных измерений тех параметров, регистрацию значений которых проводят автоматически – опросом приборов КИА.



Рис. 2. Контрольно-измерительная аппаратура

В проекте инструментальных натурных наблюдений предусматривают меры по защите от повреждений КИА, кабельных линий от установленных в сооружение измерительных приборов и измерительных пультов, необходимые меры по обеспечению безопасного производства работ при проведении измерений.

Приборы не промышленного изготовления, используемые в качестве средства измерений (СИ), не требующих метрологической аттестации, должны быть с широкой апробацией на практике (трубные пьезометры, ме-

ханические щелемеры, геодезические марки и реперы, ленты, рейки и т.п.) (рис. 3).

Для обеспечения достоверности показаний КИА, не требующей метрологической аттестации, проводят периодические проверки её работоспособности.

КИА в основании ГТС устанавливают в наиболее «чувствительных», характерных по реакции к нагрузкам и воздействиям зонах, в которых измеренные значения соответствующего контролируемого диагностического параметра – основа для расчёта критериев безопасности основания.

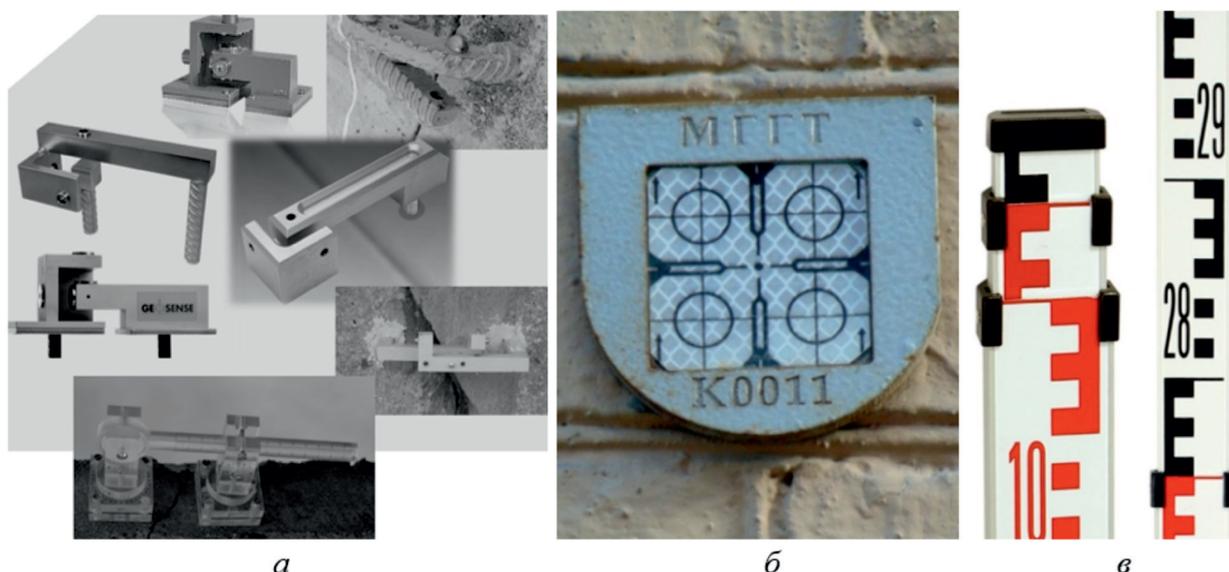


Рис. 3. КИА не промышленного изготовления:
а – механический щелемер; б – геодезическая марка; в – геодезическая рейка

При назначении номенклатуры и количества КИА в основаниях должны быть удовлетворены требования по необходимой представительности, достоверности и сравнимости результатов инструментальных наблюдений.

СИ и устройства, предназначенные для проведения натурных наблюдений за основанием, размещают в контрольных сечениях по всей длине сооружения с учётом его конструктивных решений, инженерно-геологических и геокриологических особенностей и профиля поверхности основания.

Число контрольных сечений по длине основания назначают с таким расчётом,

чтобы по показаниям установленной в них КИА можно было с достаточной точностью характеризовать работу и состояние основания в целом и в отдельных наиболее ответственных участках и элементов.

При сдаче ГТС в промышленную эксплуатацию генеральный подрядчик, осуществляющий строительство и монтаж КИА, передаёт заказчику по акту приёмки-сдачи всю установленную КИА, а также:

- комплект рабочих чертежей и исполнительных схем на установку КИА;
- паспорта, аттестаты и монтажно-эксплуатационные инструкции СИ;
- акты предмонтажной и послемонтаж-

ной проверок работоспособности приборов, акты на установку приборов в сооружения;

- монтажные ведомости приборов;
- журналы «нулевых» и последующих измерении по КИА, технические отчёты по выполненным натурным наблюдениям в строительный период.

Подходы к измерительным пультам и приборам КИА должны соответствовать требованиям техники безопасности и охраны труда.

Натурные наблюдения за основаниями ГТС должны начинаться на стадии их строительства и продолжаться непрерывно в течение всего периода жизненного цикла сооружений вплоть до их консервации или ликвидации.

Для каждого конкретного основания ГТС периодичность регулярных натурных наблюдений устанавливаются индивидуально с учётом инженерно-геологических, гидрогеологических, геокриологических условий, компоновочных и конструктивных особенностей сооружений, характера реакции сооружения и его основания на нагрузки и воздействия, наличия (отсутствия) и интенсивности развития неблагоприятных для сооружения процессов или повреждений, условий эксплуатации.

Объём и периодичность натурных наблюдений и состав КИА, устанавливаемой на ГТС, определяет проектная документация (ПД).

В полном объёме наблюдения по КИА продолжают после наполнения водохранилища до стабилизации деформаций основания и характеристик фильтрационного потока, но не менее пяти лет. После этого наблюдения можно проводить по сокращённому числу точек и с меньшей частотой. Изменения в периодичности циклов измерений после выхода работы сооружения на установившийся режим и отсутствии аномальных явлений или процессов проводят на основании анализа работы сооружения, выполненного проектной или специализированной научно-исследовательской организацией с

учётом соответствия работы и ТС сооружений требованиям проекта, критериям безопасности, а также степени информативности получаемых данных наблюдений.

Если в работе ГТС наблюдают проявление и интенсивное развитие опасных процессов (появление сосредоточенных очагов фильтрации; развитие суффозионного выноса грунта, просадочных и оползневых явлений; образование опасных трещин; резкие повышения фильтрационных напоров, расходов и градиентов напора, интенсификация осадок или горизонтальных смещений, раскрытия швов и трещин) [8-10], измерения по КИА и визуальные осмотры сооружения проводят при необходимости ежедневно или несколько раз в сутки, вплоть до выяснения причин возникновения указанных процессов и реализации оперативных инженерных решений по их ликвидации.

Внеочередные циклы измерений по КИА и визуальных осмотров сооружений проводят после:

- прохождения катастрофических паводков;
- землетрясений более 5 баллов; сильных штормов (ураганов);
- форсирования уровня верхнего бьефа выше проектного; перемерзания дренажных устройств.

Результаты измерений заносят в журналы наблюдений, оформляемые по утверждённой на стадии проекта форме (которая может корректироваться вместе с составом наблюдений). Следует выполнять фотофиксацию (видеосъёмку) нарушений состояния основания и сооружения на проблемных участках. В журнале наблюдений документируют и признаки нарушения работоспособности приборов КИА.

Первичная обработка данных мониторинга заключается в переводе показаний КИА и измерительных устройств в физические величины контролируемых показателей основания (например, напряжения, напор, расход, температура, смещения и др.), в выявлении ошибок измерений и в оператив-

ном занесении полученной обработанной информации в базы данных информационно-диагностической системы.

Информационно-диагностическую систему создают на базе современных компьютерных и информационных технологий и программно-технического обеспечения.

Вторичную обработку введённой в информационно-диагностическую систему мониторинга информации о выполненных измерениях по КИА проводят с использованием программного комплекса.

Результаты вторичной обработки данных мониторинга представляют в виде таблиц, графиков изменения контролируемых показателей во времени и от действующих нагрузок, эпюр распределения значений показателей (напряжений, прогибов, осадок, смещений, напоров, температуры и др.) в пределах контрольных створов, секций, измерительных сечений.

При производстве наблюдений за поведением оснований в процессе эксплуатации используют следующие методы инженерной геофизики:

- для наблюдения за изменениями уровня подземных вод – сейсморазведка корреляционным методом преломлённых волн (КМПВ), электроразведка методом вертикального электрического зондирования (ВЭЗ), георадиолокация (ГРЛЗ);

- для определения направления и скорости движения подземных вод – вдорежимные наблюдения методами резистивиметрии (РЗМ), термометрии (ТМ), радиоизотопными методами в одной или нескольких скважинах, а также модификацией метода заряженного тела (МЗТ);

- для наблюдений за разгрузкой подземных и техногенных вод, очагов фильтрации – методы естественного электрического поля (ЕП), ВЭЗ, метод вызванной поляризации (ВП), резистивиметрии, термометрии;

- для наблюдений за изменением глубины сезонного промерзания и протаивания – ВЭЗ, КМПВ, ГРЛЗ, различные виды каротажа;

- для наблюдений за изменением напряжённого состояния, трещинообразований – КМПВ, сеймопросвечивание, метод акустической эмиссии (АЭ), ультразвуковой каротаж (УЗК), георадарные исследования;

- для выявления, наблюдения и прогноза смещения масс горных пород – методы КМПВ, ВЭЗ и электропрофилеирования (ЭП) в модификациях векторных и режимных наблюдений, а также метод АЭ;

- для изучения опасных инженерно-геологических процессов (карстовых, термокарстовых провалов, оползней) – методы КМПВ, общей глубинной точки (ОГТ), ВЭЗ, ЭП, метод двух составляющих (МДС), ВП, МЗТ, ГРЛЗ.

Рекомендуется выполнять точечные зондирования или зондирования по отрезкам профилей с определением скорости продольных (желательно также поперечных) волн, сейсмический или ультразвуковой каротаж, межскважинное просвечивание. Также целесообразно применять радиоизотопный каротаж скважин (гамма-гамма-каротаж для оценки плотности, нейтрон-гамма-каротаж для оценки влажности).

Геофильтрационные наблюдения проводят для характеристики и оценки влияния подземных вод на изменение состояния основания.

Геофильтрационные наблюдения включают:

- уточнения проектных представлений об условиях фильтрации и её воздействиях на основание;

- выявление и оценку выходов воды через основание и примыкания плотин;

- выявление, характеристику и оценку изменений силового давления подземных вод в зоне взаимодействия оснований и сооружений;

- выявление, характеристику и оценку изменений режима и состава подземных вод при развитии техноприродных процессов в зоне взаимодействия оснований и сооружений;

– контроль эффективности создаваемых противofильтрационных и дренажных устройств, обоснование целесообразных дополнений и изменений их конструкций;

– наблюдения за уровнями, расходами, температурой и химическим составом подземных вод, а также гидродинамические исследования в наблюдательных скважинах и дренажных устройствах оснований;

– индикаторные и индикационно-диагностические методы определения путей и скоростей движения подземных вод, опознавания различных типов этих вод, выявления зон их питания и разгрузки, в том числе зон активной инфильтрации на дне водохранилища;

– гидрохимические методы в зоне взаимодействия природных подземных вод с водами фильтрационного потока из водохранилища, процессов выщелачивания и растворения пород основания, бетонных конструкций и инъекционных завес в подземном контуре сооружений;

– специальные термометрические методы для выявления зон активной фильтрации, изучения динамики фильтрационных процессов и др.

Геотехнические наблюдения за поведением оснований проводят для установления и количественной оценки изменений состава и свойств грунтов и влияния этих изменений на динамику развития процессов в зоне взаимодействия оснований и сооружений.

Геотехнические наблюдения включают:

– описание, зарисовку и фотографирование грунта, извлекаемого из горно-буровых выработок;

– отбор проб ненарушенного и нарушенного сложений из горно-буровых выработок (ГОСТ 12071–2014);

– лабораторное и полевое изучение состава и свойств грунтов.

Геотермические наблюдения должны проводиться для:

– контроля температурного режима основания плотин в северной строительско-климатической зоне (ССКЗ), особенно для

плотин мёрзлого типа для оценки параметров мерзлотных завес (глубины, ширины, сплошности) и границ развивающейся чаши оттаивания под верховой призмой плотины и их изменений во времени;

– уточнения скорости развития и размеров подруслового талика основания в плотинах талого типа; изменения показателей физико-механических и фильтрационных свойств грунтов в оттаивающей зоне основания.

Геотермические наблюдения включают в себя:

– режимные измерения температуры грунтов основания по сети геотермических скважин, оборудованных комплектами (гирляндами) термодатчиков (терморезисторов, термометров сопротивления);

– геофизические исследования комплексом методов для уточнения границ раздела мёрзлых и талых зон в основании и физико-механических свойств грунтов в их пределах.

Выводы

Из анализа нормативно-технической литературы следует, что безопасность ГТС определяется многими факторами, но она существенно зависит от оснований ГТС, для чего требуется мониторинг по выбранному критерию. Это особенно важно, если плотина ГТС возведена водорастворимом основании.

Следовательно, для повышения безопасности ГТС, возводимом на водорастворимом основании, необходимо:

– выявить растворимое вещество в основании;

– определить физический параметр, позволяющий измерить его концентрацию водорастворимого вещества;

– выбрать метод измерения этого параметра;

– подобрать или сконструировать средство измерений выбранного информативного параметра;

– выбрать критерии безопасности водорастворимого основания;

– на основе разработанного средства измерений спроектировать информационно-измерительную систему мониторинга состояния ГТС, возведённого на водорастворимом основании;

– разработать систему предупредительных мероприятий и защитных мер по исключению аварий ГТС на водорастворимых основаниях.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 55260.1.1–2013 Гидроэлектростанции. Часть 1-1. Сооружения ГЭС гидротехнические. Требования безопасности.
2. Крутов, Д.А. Гидротехнические сооружения / Д.А. Крутов. – М.: Издательство Юрайт, 2020. – 238 с.
3. Сахненко, М.А. Безопасность и эксплуатационная надёжность гидротехнических сооружений / М.А. Сахненко. – М.: Альтаир, МГАВТ, 2014. – 85 с.
4. СО 34.21.307–2005 Безопасность гидротехнических сооружений. Основные понятия. Термины и определения.
5. Соболев, С.В. Безопасность гидротехнических объектов / С.В. Соболев, А.В. Февралёв. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2018. – 204 с.
6. СП 23.13330.2018 Основания гидротехнических сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.02–85.
7. СП 58.13330.2019 Гидротехнические сооружения. Основные положения СНиП 33-01–2003.
8. Давлатшоев, С.К. Гидрогеохимический мониторинг в основании плотины Рогунской ГЭС / С.К. Давлатшоев, М.М. Сафаров. – Душанбе: Ирфон, 2017. – 236 с.
9. Давлатшоев С.К., Сафаров М.М. Кондуктометрический способ и аппаратура измерения уровня минерализации в пьезометрических сетях / С.К. Давлатшоев, М.М. Сафаров // Вестник Казанского технологического университета, 2017. – № 18. Т. 20. – С. 45 – 52.
10. Давлатшоев С.К. Гидрогеохимические особенности зоны солевого пласта в основании плотины Рогунской ГЭС / С.К. Давлатшоев, М.М. Сафаров, Н.В. Леонидова // Вестник технического университета. – Душанбе, 2008, № 3. – С. 9 – 11.