

<https://doi.org/10.26160/2474-5901-2026-52-112-116>

ОСОБЕННОСТИ МНОГОФАКТОРНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ III И IV КЛАССОВ ОПАСНОСТИ

Качаев А.Е., Турапин С.С., Каштанов В.В., Булгаков Д.В.

*Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и
сельхозводоснабжения «Радуга», Коломна, Россия*

Ключевые слова: гидротехническое сооружение, многофакторное обследование, класс опасности, диагностика, риск-оценка, мониторинг, анализ данных.

Аннотация. Настоящая статья посвящена особенностям многофакторного обследования гидротехнических сооружений III и IV классов опасности. В условиях старения фонда плотин и усиления внешних воздействий (гидрологическое, климатическое и сейсмическое) системная диагностика становится критически важной для предотвращения аварий и обеспечения устойчивости водохранилищ. Рассматривается интегративный подход, сочетающий геотехнические обследования, мониторинг деформаций и состояния конструкций, гидрогеологический анализ, геоинформационные технологии и моделирование риска. Анализируются нормативные требования к обследованию грунтовых плотин, существующие методики отбора и анализа данных, а также роли разносторонней оценки в принятии управленческих решений по ремонту и эксплуатации. В результате подтверждается преимущество многофакторной маршрутизации обследований: повышение точности диагностики, улучшение планирования ремонтов и снижение экономических потерь.

FEATURES OF A MULTIFACTORIAL SURVEY OF HYDRAULIC STRUCTURES OF III-RD AND IV-TH HAZARD CLASSES

Kachaev A.E., Turapin S.S., Kashtanov V.V., Bulgakov D.V.

*All-Russian Research Institute of Irrigation Systems and Agricultural Water Supply
“Raduga”, Kolomna, Russia*

Keywords: hydraulic structure, multifactorial survey, hazard class, diagnostics, risk assessment, monitoring, data analysis.

Abstract. This article examines the specifics of multi-factor surveys of hazard class III-rd and IV-th hydraulic structures. With aging dams and increasing external influences (hydrological, climatic, and seismic), system diagnostics is becoming critical for preventing accidents and ensuring reservoir stability. An integrative approach combining geotechnical surveys, structural deformation and condition monitoring, hydrogeological analysis, geoinformation technologies, and risk modeling is considered. Regulatory requirements for earth dam surveys, existing data collection and analysis methods, and the role of multi-factor assessment in management decision-making regarding repair and operation are analyzed. The results confirm the advantages of multi-factor survey routing: increased diagnostic accuracy, improved repair planning, and reduced economic losses.

Введение. Гидротехнические сооружения III и IV классов опасности продолжают стареть и требуют регулярной, всесторонней оценки прочности, устойчивости и герметичности. В условиях растущей гидрологической нагрузки и климатических изменений возрастает риск аварийных сценариев, усугубляемый локальными особенностями основания и водного режима [1]. Практическая значимость работы состоит в выявлении мероприятий для

повышения надежности эксплуатации объектов гидротехнического назначения, снижения вероятности катастрофических последствий для населения и объектов инфраструктуры, а также в оптимизации планов технического обслуживания и ремонта за счет более точной и всесторонней диагностики.

Анализ нормативной базы и профильной литературы показывает необходимость согласования межведомственных документов со стандартами инженерной геотехники, мониторинга и моделирования гидротехнических сооружений, что обеспечит единые подходы к обследованию и сопоставимости результатов обследования [2]. В современных подходах к обследованию объектов гидротехнического назначения выделяются направления по интеграции полевых наблюдений, с геоинформационными технологиями и моделированием устойчивости самого объекта [3].

Цель исследования заключается в разработке комплексной методики многофакторного обследования гидротехнических сооружений III и IV классов опасности, которая объединяет геотехнические полевые наблюдения, мониторинг состояния объекта, геодезическую и геоинформационную аналитику по обследуемому объекту, а также моделирование его устойчивости и риск-оценку его эксплуатации.

К числу задач относятся определение оптимальных сочетаний методов для разных уровней опасности, выработка алгоритма интеграции данных в единую информационную модель и определение минимального набора обследований с соответствующими частотами визитов, обеспечивающего достоверность при принятии решений о ремонте или реконструкции объекта.

Методы исследования описывают комплексный подход к сбору и обработке данных: 1) проводится мультимодальная интеграция геотехнических параметров основания, геофизических и геодезических измерений и данных мониторинга деформаций и водного режима; применяются геофизические методы (георадар, электропроводность/резистивность), резистивность грунтов, сейсморазведка для оценки свойств основания и структуры плотины; организуется инструментальный мониторинг через пьезометрические датчики, инклинометрические и тензометрические наложенные линии, GPS/GNSS и лазерное сканирование, фотограмметрия с применением дронов и наземных платформ; 2) осуществляется визуальный осмотр и неразрушающий контроль для выявления трещин, дефектов стыков, эрозий и герметичности; 3) применяются геоинформационные системы (ГИС) и базы данных для агрегации и анализа данных [4]; 4) моделируются условия устойчивости и риск-оценка выполняются через 2D/3D геомеханическое моделирование, вероятностный подход и сценарии затопления, анализ чувствительности и валидацию через сравнение с историческими данными; 5) к процессу добавляется экспертная оценка и процедура верификации, а реализация проекта предполагает последовательные этапы: сбор и подготовку данных, интеграцию и моделирование, валидацию и формирование рекомендаций [5].

Результаты и их обсуждение. Геологическое состояние объектов, гидрогеологический режим, качество уплотнения и стыков грунта с

железобетонными или металлическими элементами, деформации земляных и бетонных элементов, а также воздействие экстремальных гидрологических условий требуют всестороннего изучения и анализа на стадии преддекларационного обследования объекта гидротехнического назначения.

Разносторонний подход демонстрирует более высокую точность диагностики по сравнению с односторонними схемами обследования. Для этого используется минимальный набор обследований и частотность контроля анализируемых параметров, обеспечивающих надёжную идентификацию опасных изменений, происходящих в процессе эксплуатации объекта.

Ниже в таблице 1 приведены ключевые особенности многофакторного обследования гидротехнических сооружений III и IV классов опасности, которые могут быть использованы в практической реализации при планировании работ по обследованию.

Табл. 1 Характеристика особенностей многофакторного планирования гидротехнических сооружений III и IV классов опасности

Компонент обследования	Основные методы	Ключевые показатели	Частота наблюдений	Основные особенности применения	Примечания
Основание и грунтовый режим	Буровые работы, геотехника, геофизика (георадар, электропроводность/ резистивность), лабораторные испытания грунтов	Тип грунтов, прочность, модуль упругости Е, пористость, влажность, гидравлические свойства	Планово 2-5 лет; при изменении условий – чаще	Учет сезонности, водного режима; корректная калибровка геофизических данных	В сложных зонах возможны дополнительные испытания
Деформации и мониторинг конструкций	Инклинометрия, тензометрия, GNSS/GPS, лазерное сканирование, фотограмметрия	Вертикальные/ горизонтальные перемещения, крены, прогибы, деформационные поля	Онлайн-мониторинг для критичных участков; периодические проверки по графику	Позволяет раннее обнаружение геотехнологических изменений; высокая точность геодезических данных	Необходимо регулярное калибрование приборов
Гидрогеологический режим и водный баланс	Пьезометрия, мониторинг уровня воды, датчики давления в основании, анализ водного режима,	Уровни воды в основаниях, давление в основании, изменение гидрогеологического поля	Онлайн/ еженедельно; сезонно	Влияние водного режима на устойчивость; интеграция с деформациями	Требуется учет осадков и водохранилищ
Структурная целостность стыков и герметизация	Визуальный осмотр, неразрушающий контроль, дефектоскопия, ультразвук, термография	Трещины, дефекты стыков, эрозия поверхности, утечки и герметичность	Ежегодно; чаще при ремонтах	Контроль герметичности и долговечности стыков; раннее выявление протечек	Доступ к зонам стыков ограничен; нужны допуск и меры безопасности
Геодезия и визуальный контроль поверхности	GNSS/картографирование, лазерное сканирование, фотограмметрия топография	Координаты элементов, поверхности, изменение рельефа и контуров	Регулярная съемка: раз в год; оперативная при тревоге	Обеспечение точности данных по поверхностным деформациям; визуальная корреляция с деформациями	Погодные условия могут влиять на качество съемки
Информационные технологии и обработка данных	ГИС-аналитика, базы данных, интеграционные платформы, обработка больших массивов данных	Полнота и качество данных, согласованность между источниками, воспроизводимость	Постоянное обновление; при каждом обследовании	Единая информационная модель для принятия решений; улучшение управляемости	Необходимы стандарты метаданных и доступ к данным
Моделирование устойчивости и риск-оценка	2D/3D геомеханическое моделирование, вероятностная оценка, анализ чувствительности, сценарии затопления	Коэффициент устойчивости, вероятность обрушения, ожидаемые последствия	После обновления входных данных; по итогам обследования	Опора для решений по ремонту и ликвидации риска; сценарный анализ	Риск неопределенности параметров требует валидации на основе данных

Разработанная концептуальная информационная модель обследования для интеграции данных и поддержки управленческих решений позволяет устанавливать с помощью корреляционной связи между изменениями параметров основания и вероятностью критических деформаций тела плотины критерии безопасности. Комбинации методов обследования для каждого объекта подобного рода индивидуальны и варьируются в зависимости от уровня риска и условий напряженно-деформированного состояния основания: для более рискованных условий эксплуатации рекомендуется усиление мониторинга и частоты обследований. При этом сегодня как никогда возросла роль геоинформационных систем и моделирования на этапе раннего оповещения и планировании различных по объему ремонтных работ.

Выводы. Многофакторное обследование III-IV классов опасности гидротехнических сооружений существенно повышает точность диагностики, позволяет раньше выявлять риск деформаций и дефектов и обеспечивает более обоснованное планирование ремонтов и модернизации. Эффективность достигается при интеграции геотехнических данных, мониторинга, геодезии, ГИС и моделирования устойчивости в единую информационную и аналитическую среду.

Применение риск-ориентированных схем обследований, адаптированных к конкретным условиям объекта, с должной квалификацией персонала и современным оборудованием позволит повысить уровень надежности эксплуатации подобного рода объектов.

Список литературы

1. Качаев А.Е., Турапин С.С. Особенности реконструкции земляных плотин мелиоративных систем // Наука и мир. – 2024. – №3. – С. 6-10. – doi.org/10.26526/2307-9401-2024-3-6-10.
2. Burman A.A. Acharya S.P., Sahay R.R. Comparative study of slope stability analysis using traditional limit equilibrium method and finite element method // Asian journal of civil engineering (BHRC). 2015, vol. 16, no. 4, pp. 467-492.
3. Романович А.А., Уваров В.А., Орехова Т.Н., Качаев А.Е., Харламов Е.В. Механизация транспортных процессов в дорожном строительстве: Учебное пособие. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – 134 с.
4. Сенников М.Н., Сагин Ж., Толкынбаев Т.Т., Омарова Г.Е., Колбачаева Ж.Е., Рсалиева А.А. Мониторинг безопасности гидротехнических сооружений с использованием ГИС // Механика и технологии. – 2022. – №4(78). – С. 105-112. – doi.org/10.55956/ETYJ1363.
5. Orekhova T.N., Nosov O.A., Prokopenko V.S., Kachaev A.E. Complex modeling of technological processes in pneumatic mixers for production of dry construction mixtures // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018, vol. 327, p. 022084. doi.org/ 10.1088/1757-899X/327/2/022084.

References

1. Kachaev A.E., Turapin S.S. Features of reconstruction of earth dams of melioration

systems // Science and the World. 2024, no. 3, pp. 6-10. doi.org/10.26526/2307-9401-2024-3-6-10.

2. Burman A.A., Acharya S.P., Sahay R.R. Comparative study of slope stability analysis using traditional limit equilibrium method and finite element method // Asian journal of civil engineering (BHRC). 2015, vol. 16, no. 4, pp. 467-492.
3. Romanovich A.A., Uvarov V.A., Orekhova T.N., Kachaev A.E., Kharlamov E.V. Mechanization of transport processes in road construction: Tutorial. – Belgorod: Belgorod State Technological University n.a. V.G. Shukhova, 2023. – 134 p.
4. Sennikov M.N., Sagin Zh., Tolkyimbaev T.T., Omarova G.E., Kolbachaeva Zh.E., Rsalieva A.A. Monitoring the safety of hydraulic structures using GIS // Mechanics and technologies. 2022, no. 4(78), pp. 105-112. doi.org/10.55956/ETYJ1363.
5. Orekhova T.N., Nosov O.A., Prokopenko V.S., Kachaev A.E. Complex modeling of technological processes in pneumatic mixers for production of dry construction mixtures // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018, vol. 327, p. 022084. doi.org/ 10.1088/1757-899X/327/2/022084.

Качаев Александр Евгеньевич – кандидат технических наук, заведующий отделом и старший научный сотрудник отдела эксплуатации гидромелиоративных и гидротехнических сооружений	Kachaev Aleksandr Evgenievich – candidate of technical sciences, head of Department and senior researcher in the department of operation of irrigation and hydraulic engineering structures
Турапин Сергей Сергеевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, врио директора	Turapin Sergey Sergeevich – candidate of technical sciences, leading researcher, acting director
Каштанов Василий Васильевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела эксплуатации гидромелиоративных и гидротехнических сооружений	Kashtanov Vasily Vasilyevich – candidate of technical sciences, leading researcher of the Department of operation of irrigation and hydraulic structures
Булгаков Дмитрий Вячеславович – младший научный сотрудник отдела эксплуатации гидромелиоративных и гидротехнических сооружений	Bulgakov Dmitry Vyacheslavovich – junior researcher, department of operation of irrigation and hydraulic structures
doctor_cement@mail.ru	

Received 24.02.2026