



Министерство водных ресурсов и ирригации Республики
Казахстан



Казахский научно-исследовательский институт водного хозяйства
ТОО «КазНИИВХ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ЦИФРОВИЗАЦИИ ВОДОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ВОДОУЧЕТА



Тараз 2025

Методические основы процессов цифровизации водораспределения и водоучета

подготовлена сотрудниками ТОО «КазНИИВХ»: рук. проекта, д.с-х.н. Н.Н. Балгабаев; Зав отдела «УВР»., Иманалиевым Т.К.; с.н.с., Бакбергеновым Н.Н.; г.н.с. д.т.н. Карлыхановым О.К.; н.с., Жакашовым А.М.

Адрес: 080003, г. Тараз, ул. К. Койгельды, 12, ТОО «Казахский научно-исследовательский институт водного хозяйства»

Телефон: 8 (7262) 42-55-40, 42-54-83

Факс: 8 (7262) 42-55-40

E-Mail: iwre@nursat.kz, kiwr-t@mail.ru

Методика одобрена на заседании Ученого совета Казахского НИИ водного хозяйства (протокол № 7 от «1» октября 2025 года)

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	4
1.	Назначение и функции методики	6
2.	Анализ стандартов и методик	7
2.1.	США — PNNL, DOE, US EPA: AMI, water audits и best practices	7
2.2.	Европа — EU Digitalisation, Water UK, dmas (District Metered Areas)	8
2.3.	Международные методики — SEEA-Water (ООН) и статистическая интеграция	8
2.4.	Ключевые элементы стандартов и методик (сводно)	9
2.5.	Сравнительный анализ подходов и практическая адаптация	9
2.6.	Риски и меры по их снижению	10
3.	Формирование методических основ, регламента, функционала и стандартов взаимодействия цифровой системы водочёта и водораспределения.	10
3.1.	Методические основы	10
3.2.	Регламент функционирования	12
3.3.	Функционал системы	13
3.4.	Стандарты взаимодействия	15
4	Определение узловых точек для внедрения цифровых технологий	16
4.1	Цифровая инфраструктура (scada/iot)	18
4.2	Особенности цифрового водочёта и водораспределения на водохозяйственных сооружениях	21
5	Регламентирование интерфейса пользователя в системах цифрового водочёта и водораспределения	31
5.1.	Ключевые принципы регламентации интерфейса пользователя	32
5.2.	Роли пользователей и разграничение прав в цифровых системах водочёта и водораспределения	34
5.3.	Архитектура пользовательского интерфейса: основные экраны и модули	36
5.4.	Правила визуализации и эргономика	38
5.5.	Управление операциями и подтверждения	40
5.6.	Тревоги, приоритеты и SLA реагирования	44
5.7.	Протоколирование и аудит — развёрнутая спецификация	46
5.8.	Интерфейс мобильного инспектора — требования	50
5.9.	Тестирование, внедрение и обучение	51
5.10.	Безопасность интерфейса (кибергигиена)	55
5.11.	Метрики эффективности интерфейса (KPI)	57
5.12.	Примеры рабочих сценариев (пояснения)	60
5.13.	Документация, версии и сопровождение	61
	Заключение	64
	Список литературы и источников	65

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность разработки методики цифрового водоучёта и водораспределения определяется низкой эффективностью традиционных методов учёта воды, сопровождающихся значительными потерями ресурса, отсутствием прозрачности и невозможностью оперативного контроля. Основные проблемы связаны с преобладанием ручных измерений, задержками в формировании отчётности и отсутствием единой базы данных, что снижает достоверность водохозяйственных балансов и затрудняет управление.

Цель предлагаемой методики заключается в создании цифровой системы учёта и распределения воды, обеспечивающей высокую точность, оперативность и прозрачность процессов. Для её достижения ставятся задачи по автоматизации учёта притоков, расходов и водных балансов, интеграции водохранилищ, гидроузлов и каналов в единую цифровую платформу, а также повышению надёжности управления водными ресурсами.

Практическими результатами внедрения являются снижение безвозвратных потерь воды, справедливое и обоснованное распределение ресурсов между пользователями, организация учёта и контроля в режиме реального времени, а также прогнозирование водопотребления с возможностью оптимизации графиков полива.

Эффективное управление водными ресурсами в условиях роста антропогенной нагрузки, изменения климата и увеличения потребности в воде со стороны аграрного сектора является одной из приоритетных задач устойчивого развития. Водные ресурсы Республики Казахстан, как и большинства стран Центральной Азии, характеризуются неравномерностью распределения по сезонам и территориям, высокой степенью зависимости от трансграничных рек, а также значительными потерями при транспортировке и использовании в оросительных системах. Традиционные методы учёта и распределения воды, основанные преимущественно на ручных измерениях и планово-лимитных расчётах, в современных условиях не обеспечивают необходимой точности, оперативности и прозрачности.

Проблематика заключается в том, что фактические объёмы подаваемой воды зачастую существенно отличаются от расчётных и согласованных лимитов, а потери при транспортировке достигают 25–40% в зависимости от состояния каналов и гидротехнических сооружений. Отсутствие единой цифровой платформы затрудняет координацию между диспетчерскими службами, операторами гидроузлов и конечными водопользователями. Кроме того, ограниченность применения автоматизированных систем контроля приводит к недостаточной достоверности первичных данных, что снижает эффективность водного баланса на уровне водохранилищ, магистральных каналов и хозяйственных сетей.

В этих условиях актуализируется необходимость разработки методики цифровизации технологических процессов водоучёта и водораспределения, которая позволит перейти от фрагментарного и реактивного управления к системному и прогнозному. Цифровизация должна обеспечивать:

- непрерывный автоматизированный сбор данных о водных ресурсах в реальном времени;
- формирование и ведение балансовой модели водохранилища и распределительных сетей;
- интеграцию современных средств телеметрии, SCADA-систем и геоинформационных платформ;
- прозрачность процедур распределения воды между абонентами;
- повышение дисциплины водопользования и снижение потерь.

Основная цель предлагаемой методики заключается в создании научно обоснованного подхода к формированию единой цифровой инфраструктуры водного хозяйства, которая объединяет технические средства измерения, алгоритмы балансового

учёта, стандарты передачи и обработки данных, а также организационно-нормативные механизмы их применения.

Таким образом, цифровизация водоучёта и водораспределения рассматривается не только как внедрение технических новшеств, но и как комплексная трансформация всей системы управления водными ресурсами. Это позволит обеспечить устойчивое водоснабжение оросительных систем, повысить эффективность использования водных ресурсов, а также создать условия для интеграции с международными стандартами и методиками в области управления водным балансом.

При этом в качестве основных источников исходных данных для формирования методики были использованы материалы по Жамбылской и Кызылординской областям, которые обладают репрезентативными характеристиками для южных регионов Казахстана. Эти области отличаются высокой степенью зависимости от трансграничных водных ресурсов, развитой оросительной сетью, а также различиями в структуре землепользования (рисосеяние в Кызылординской области, многопрофильное земледелие в Жамбылской области). Такой выбор позволил учесть как проблемы моноспециализированных агросистем, так и смешанных моделей земледелия, что делает разработанную методику универсальной и применимой в масштабах всей республики.

1. НАЗНАЧЕНИЕ И ФУНКЦИИ МЕТОДИКИ

Современное состояние водохозяйственного комплекса Республики Казахстан и в целом стран Центральной Азии характеризуется высокой степенью уязвимости перед вызовами, связанными с изменением климата, ростом водопотребления в аграрном секторе, а также износом инфраструктуры. Одним из наиболее острых вопросов остаётся недостаточная эффективность существующих методов водоучёта и водораспределения. Несмотря на наличие многолетнего опыта эксплуатации оросительных систем, значительная часть операций до сих пор осуществляется вручную, что влечёт за собой большие погрешности измерений, высокие потери, а также отсутствие прозрачности и достоверности информации для принятия управленческих решений.

В условиях усиливающегося дефицита водных ресурсов и необходимости перехода к принципам устойчивого водопользования возрастает роль цифровизации как ключевого инструмента повышения эффективности управления. Использование современных цифровых технологий позволяет перейти от разрозненных и малодостоверных данных к созданию единой информационно-аналитической системы, способной в реальном времени фиксировать параметры водного баланса, анализировать их и формировать оптимальные управленческие решения. Таким образом, цифровизация процессов водоучёта и водораспределения становится не только актуальной задачей, но и необходимым условием повышения устойчивости водохозяйственного сектора.

Необходимо подчеркнуть, что цифровизация в данном контексте представляет собой не простую автоматизацию отдельных измерительных процедур, а комплексную трансформацию всей системы управления водными ресурсами. Она включает в себя формирование методических основ, разработку регламентов функционирования цифровых систем, определение функционала программно-аппаратных комплексов, а также выработку стандартов информационного и технического взаимодействия. Такой подход позволяет обеспечить полноту и сопоставимость данных на всех уровнях — от крупных водохранилищ до конечных абонентов, создавая условия для прозрачности и объективности в распределении водных ресурсов.

Международный опыт подтверждает целесообразность подобного подхода. Так, в США внедрение систем Advanced Metering Infrastructure (AMI), рекомендованных Агентством по охране окружающей среды (US EPA), позволило достичь значительного повышения точности учёта воды и сократить скрытые потери в распределительных сетях. Американская ассоциация водоснабжения (AWWA) выработала стандарты регулярных проверок приборов учёта и проведения ежегодных водных аудитов, что обеспечивает высокую степень доверия к данным и формирует основу для справедливого распределения ресурсов. Европейский союз, в свою очередь, акцентирует внимание на вопросах интеграции цифровой инфраструктуры, кибербезопасности и прозрачности данных, формируя рекомендации по цифровизации сектора воды на уровне законодательства.

Применительно к Казахстану цифровизация процессов водоучёта и водораспределения приобретает особое значение в силу нескольких факторов. Во-первых, высокая доля орошаемого земледелия делает водные ресурсы критическим фактором продовольственной безопасности. Во-вторых, трансграничный характер основных рек, требует прозрачности и достоверности данных для межгосударственного взаимодействия. В-третьих, износ инженерной инфраструктуры и недостаточный уровень автоматизации создают предпосылки для больших потерь, которые могут быть существенно сокращены при внедрении современных цифровых решений.

Таким образом, актуальность разработки методики цифровизации водоучёта и водораспределения обусловлена совокупностью объективных факторов: возрастающим дефицитом водных ресурсов, необходимостью повышения точности и достоверности данных, международными требованиями к прозрачности и устойчивости водопользования. Целью методики является формирование целостного подхода, обеспечивающего

интеграцию современных цифровых технологий в практику эксплуатации гидротехнических сооружений, водохранилищ, каналов и оросительных систем.

Сформулированная методика должна не только регламентировать использование цифровых инструментов, но и определить приоритетные узловые точки, в которых внедрение даёт наибольший системный эффект. К таким точкам относятся водохранилища (как стратегические аккумуляторы стока), гидроузлы (как распределительные центры), каналы (как основные транспортные артерии) и абонентский уровень (как место конечного потребления и контроля лимитов). Только последовательная цифровизация этих звеньев позволит сформировать замкнутую систему учёта и распределения, основанную на принципах точности, оперативности и прозрачности.

Введение данной методики в практику водного хозяйства создаст предпосылки для перехода к новому уровню управления водными ресурсами, обеспечивая баланс между экономическими интересами, экологическими требованиями и социальными потребностями.

Традиционные методы водоучёта и водораспределения

Водоучёт и водораспределение в странах Центральной Азии, включая Казахстан, формировались в условиях ограниченной технической оснащённости и опирались преимущественно на ручные методы измерений и управления. В постсоветский период водоучёт эволюционировал от ручного к частично цифровому, но остается фрагментированным. В результате эксплуатации водохозяйственные объекты до настоящего времени сохраняют ряд системных проблем, которые снижают эффективность управления водными ресурсами.

Ручные методы учёта воды наиболее распространённым способом контроля подачи воды остаётся использование водоизмерительных сооружений — водосливов, водомерных лотков, различных типов водомерных устройств. Несмотря на то, что эти методы имеют теоретическое обоснование и широкое распространение, их практическая реализация сопровождается значительными погрешностями.

- Во-первых, для получения данных требуется присутствие оператора, который фиксирует уровень воды, определяет расход по таблицам или номограммам. Такой подход неизбежно приводит к субъективным ошибкам. Во-вторых, измерения, как правило, проводятся с низкой частотой — один или несколько раз в сутки. В условиях динамичного изменения водоподдачи (например, при включении насосных агрегатов, изменении режима орошения) такой режим не отражает реальной картины.

- Отдельную проблему представляет человеческий фактор: ошибки в измерениях, задержки в передаче информации, несвоевременное оформление журналов. Всё это формирует ситуацию, когда фактические расходы могут существенно отличаться от расчётных, а данные о водопользовании становятся неполными и запаздывающими.

Организация водораспределения традиционная схема водораспределения базируется на принципе лимитов, которые устанавливаются для каждого водопользователя на сезон. Однако на практике контроль за выполнением лимитов остаётся недостаточным. Распределение воды по каналам осуществляется оператором гидроузла вручную, путём изменения положения затворов или заслонок. При этом отсутствует оперативный обратный контроль: известно только, какой расход был задан, но нет точной информации о том, какой фактически поступил на участок.

Таким образом, система работает в условиях высокой неопределённости. Случаи превышения лимитов одними водопользователями часто происходят за счёт недопоставки другим, что снижает справедливость и вызывает социальное напряжение. Кроме того, ручной режим регулирования не позволяет своевременно реагировать на аварийные ситуации или резкие изменения водного притока.

Ограничения существующих приборов учёта - даже при наличии водоизмерительных устройств их техническое состояние зачастую неудовлетворительное. Многие приборы установлены десятки лет назад и не прошли метрологическую поверку.

Каналы заилены, сечения изменены, что вносит значительные погрешности в гидравлические характеристики. В ряде случаев отсутствует регулярное техническое обслуживание.

Кроме того, традиционные устройства не интегрированы в единую систему передачи данных. Результаты измерений фиксируются на бумаге, что исключает возможность автоматизированного анализа и сопоставления информации между различными звеньями системы.

Отсутствие единой базы данных и прозрачности ещё одной слабой стороной существующей практики является отсутствие централизованной базы данных. Каждое подразделение (водохранилище, гидроузел, канал) ведёт собственную отчётность, которая агрегируется вручную. Это приводит к задержкам и искажению информации. В условиях, когда водные ресурсы распределяются между десятками хозяйств и тысячами абонентов, такая ситуация делает невозможным эффективный контроль.

- Кроме того, данные, предоставляемые потребителям, нередко вызывают недоверие из-за непрозрачности расчётов. Отсутствие объективного учёта воды способствует конфликтам между водопользователями, снижает их дисциплину и ответственность.

Международное сопоставление - анализ международного опыта показывает, что подобные проблемы постепенно решаются за счёт внедрения цифровых технологий. Например, в США и странах ЕС системы дистанционного считывания данных (AMI/AMR) обеспечивают высокую частоту и точность учёта, автоматический сбор и обработку информации. В то время как в Казахстане значительная часть измерений всё ещё основана на устаревших методах, что ставит страну в положение отставания по сравнению с мировыми тенденциями.

Системные последствия. Сохранение традиционных методов водоучёта и распределения ведёт к следующим негативным последствиям:

- высокие потери воды при транспортировке и распределении,
- недостоверность данных, затрудняющая планирование и прогнозирование,
- невозможность оперативного реагирования на аварийные ситуации и изменение гидрологической обстановки,
- отсутствие прозрачности, что подрывает доверие между водопользователями и регулирующими органами,
- снижение эффективности использования воды в сельском хозяйстве и других секторах экономики.

В совокупности эти факторы формируют необходимость перехода к новому уровню управления, основанному на цифровых технологиях, которые обеспечат точность, оперативность и интеграцию данных.³³

2. АНАЛИЗ СТАНДАРТОВ И МЕТОДИК

Ключевые элементы: стандарты приборов, частота учёта, цифровая архитектура, метрологический контроль, управление данными, кибербезопасность.

Международный опыт в области цифровизации водного хозяйства накопил проверенные практики и стандарты, которые охватывают метрологию приборов, архитектуру цифровых систем, методы контроля потерь, требования к кибербезопасности и организационные процедуры. Для успешной адаптации цифровых технологий на водохранилищах, гидроузлах, каналах и у абонентов важно опираться на международные методики и стандарты — как на источник технических требований, так и на проверенные алгоритмы внедрения. Ниже представлен обзор основных зарубежных подходов и практических выводов по их применению в условиях республиканской системы управления водными ресурсами.

2.1. США — PNNL, DOE, US EPA: AMI, water audits u best practices

В США ряд институтов и агентств подготовил исчерпывающие руководства по учёту воды, внедрению АМІ (Advanced Metering Infrastructure) и практике сокращения невозмещённой воды. Pacific Northwest National Laboratory (PNNL) публикует технические рекомендации по метрологии счётчиков, процедурам измерений и проверкам (metering best practices), включая требования к установке, калибровке и инспекциям. Эти рекомендации подчёркивают: метрологическая дисциплина (регулярные проверки и калибровки) — основа достоверного цифрового учёта [1].

Министерство энергетики США (DOE) и смежные структуры анализировали опыт внедрения АМІ и выработали требования к архитектуре и безопасности систем сбора данных. Документы DOE дают чёткое понимание, какие компоненты АМІ необходимы для надёжной телеметрии и как интегрировать их с диспетчерскими и учетными платформами (включая требования к частоте съёма данных и структуре обмена) [18].

Агентство по охране окружающей среды США (US EPA) и ассоциации типа AWWA совместно продвигают методики водных аудитов и контроля потерь (IWA/AWWA water audit methodology). EPA публикует руководства по использованию АМІ для улучшения качества учёта и обнаружения утечек, а также по интеграции данных АМІ в программы управления невозмещённой водой. Основная идея — не только собрать данные, но и выстроить процедуры их валидации, верификации и интерпретации [19].⁶⁷

Ключевые практические выводы из американского опыта:

- использовать АМІ там, где экономическая целесообразность подтверждена: высокая плотность абонентов, риск потерь, необходимость почасового контроля [19];
- встраивать процедуры регулярной верификации и калибровки счётчиков по регламентам [17];
- разрабатывать требования к кибербезопасности и разграничению доступов на этапе проектирования системы [18].

2.2. Еврона — EU Digitalisation, Water UK, DMAs (District Metered Areas)

Европейская политика по водным ресурсам делает акцент на цифровой трансформации сектора как элемента устойчивости и адаптации к климатическим вызовам. Стратегические документы ЕС по цифровизации водного сектора формулируют цели по созданию совместимых архитектур, открытых интерфейсов данных и интеграции с национальными системами мониторинга. Это включает стандарты обмена метаданными и требования к качеству данных [36].

Water UK и национальные ассоциации водоснабжения в отдельных странах (Великобритания и др.) активно продвигают практики по делению сетей на DMAs (district-metered areas) для активного контроля утечек. DMA-подход предполагает логическое разделение распределительной сети на счётные зоны с замером суммарного ввода и суммарного потребления в зоне — что позволяет эффективно обнаруживать и локализовать скрытые утечки и несанкционированные отборы. Практика DMAs дополняется управлением давлением в зонах и регулярной проверкой баланса [15].

Рекомендации по применению европейских подходов:

- проектировать сеть с возможностью создания DMAs там, где это экономически оправдано (протяжённые магистрали, высокие инженерные потери) [15];
- применять стандарты обмена данными и метаданных, рекомендованные ЕС, для упрощения интеграции с региональными мониторинговыми системами [15];
- внедрять политику управления давлением (pressure management) как дополнение к измерениям в DMAs [15].

2.3. Международные методики — SEEA-Water (ООН) и статистическая интеграция

Международные руководства, в частности SEEA-Water (System of Environmental-Economic Accounting for Water) под эгидой ООН, предлагают методологию объединения

гидрологических и экономических данных: водные балансы, учёт абсорбции, использования и возвращения воды в экономике. SEEA-Water полезен для формирования макро-учёта и аналитики на национальном и субнациональном уровнях — в частности, при оценке эффективности водопользования по секторам и при расчёте водных балансов в рамках устойчивого управления [20].

Практическое значение SEEA-Water для цифровой платформы:

- стандартизованные классификации потоков воды облегчают объединение данных из разных источников (гидроузлы, каналы, абоненты) [20];
- применение SEEA упрощает отчётность перед международными фондами и интеграцию с экономическими моделями.

2.4. Ключевые элементы стандартов и методик (сводно)

На основании зарубежных руководств можно выделить набор ключевых элементов, необходимых для корректной цифровизации водоучёта и водораспределения:

Стандарты приборов и метрология

- требования к точности и типам приборов (электромагнитные, ультразвуковые, водосливы);
- регламенты калибровки и периодические проверки (ежемесячные/годовые инспекции, калибровка по эталону) [17].

Частота учёта и granularity данных

- выбор частоты съёма (почасовой, 15-минутный) в зависимости от целей (обнаружение утечек, тарификация, гидрологический мониторинг); DOE и EPA рекомендуют почасовые и более частые режимы для АМІ в критичных точках [18].

Цифровая архитектура и совместимость

- модульность системы (датчики → шлюзы → SCADA/облако → ВІ/аналитика);
- использование открытых протоколов и API для интеграции с ГИС и госреестрами (рекомендации ЕС по цифровизации) [16].

Метрологический контроль и валидация данных

- процедуры проверки и верификации измерений, сравнение автоматических данных с ручными контрольными замерами; AWWA/IWA water audit framework — пример методики валидации и расчёта невозмещённой воды [21].

Управление данными и аналитика

- хранение метаданных, версии калибровок, контроль качества данных; наличие аналитических модулей для обнаружения аномалий, прогнозирования и оптимизации. (см. PNNL, DOE) [17].

Кибербезопасность и управление доступом

- разграничение прав, двухфакторная аутентификация, шифрование каналов передачи; документы по АМІ-security дают набор требований для защищённого развёртывания [18].

2.5. Сравнительный анализ подходов и практическая адаптация

При адаптации зарубежных методик к национальному контексту следует учитывать контуры: плотность оросительных сетей, организационную структуру управления водными ресурсами, доступность средств связи и бюджетные ограничения. Практический план адаптации включает следующие шаги:

Анализ применимости — выбрать элементы зарубежных стандартов, соотносимые с текущей инфраструктурой (например, DMAs эффективны для плотных распределительных сетей; АМІ — для зон с высоким числом абонентов и значимыми коммерческими потерями) [15].

Пилотные проекты — реализовать пилоты по АМІ, DMAs и водным аудитам в нескольких типичных районах (причём PNNL рекомендует включать в пилот и процедуры метрологического контроля) [17].

Разработка требований к поставщикам — в техническом задании требовать совместимости по протоколам, наличие механизмов безопасности и поддержки калибровок (опыт DOE/AMI) [18].

Интеграция с национальными стандартами — использовать SEEA-Water для обеспечения совместимости статистической отчётности и интеграции с экономическими базами данных [20].

Капитальный план метрологического обеспечения — определить сроки и регламенты проверки приборов, ведения журналов калибровок и протоколов верификации (AWWA/IWA и PNNL как образец) [21].

2.6. Риски и меры по их снижению

При имплементации зарубежных практик возможны риски: несовместимость оборудования, недостаток компетенций у персонала, уязвимости в киберзащите, некорректная интерпретация данных. Меры по снижению:

- заранее включать ИТ-и метрологические требования в тендерную документацию [18];
- предусмотреть тренинги и сертификацию персонала (операторы, инженеры, ИТ) [18];
- организовать этапы пилотирования перед масштабированием [18];
- внедрять политики резервирования данных и аварийного восстановления (backups, DR) [18].

3. ФОРМИРОВАНИЕ МЕТОДИЧЕСКИХ ОСНОВ, РЕГЛАМЕНТА, ФУНКЦИОНАЛА И СТАНДАРТОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ ВОДОУЧЁТА И ВОДОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ.

3.1. Методические основы

3.1.1. Роль и требования к методическим основам

Методические основы цифровизации водоучёта и водораспределения представляют собой совокупность правил и нормативов, обеспечивающих метрологическую достоверность, сопоставимость данных и их интеграцию в международные и национальные системы [23; 11; 29]. Они определяют частоту съёма, процедуры калибровки и верификации, а также унификацию форматов и протоколов передачи информации [7].

3.1.2. Нормативная база и ориентиры

При разработке методики рекомендуется опираться на международные стандарты: PNNL, DOE — “*Metering Best Practices*”— правила выбора, установки и обслуживания счётчиков воды [23].

US EPA — *Advanced Metering Infrastructure (AMI)* — архитектура для удалённого мониторинга и выявления утечек [7].

ISO 24518:2015 — требования к водоснабжению в условиях кризиса, включая мониторинг и интерфейсы передачи данных [27].

SEEA-Water (ООН) — методология водного бухгалтерского учёта для интеграции в национальные отчёты [29].

ISA-101, ISO 9241-210 — рекомендации по интерфейсам и визуализации данных [11; 32].

3.1.3. Средства измерений и их размещение

Выбор оборудования должен учитывать метрологические требования [23].

Уровнемеры — радарные, ультразвуковые или гидростатические (погрешность $\pm 0,01$ – $0,05$ м).

Расходомеры — электромагнитные (± 1 – 2%), ультразвуковые (± 2 – 5%), гидравлические устройства типа лотков Паршалла (± 3 – 5%) [6].

Метеостанции — обязательный набор параметров: температура, влажность, ветер, осадки, солнечная радиация [35].

Правильное размещение датчиков, калибровка и геодезическая привязка обеспечивают корректность данных и сопоставимость во времени [11].

3.1.4. Частота съёма и синхронизация времени

Рекомендуемая частота:

- ключевые гидроузлы и водохранилища — 5–15 минут;
- магистральные каналы — 15–60 минут;
- абонентские счётчики — до 1 часа [7].

Все данные должны снабжаться временной меткой ISO 8601 и синхронизироваться через NTP/UTC [1].

3.1.5. Калибровка и поверка

Методика должна предусматривать ежегодную калибровку и регулярные полевые проверки средств измерений [23]. Ведение цифрового журнала поверок и обслуживание согласно ISO-стандартам обеспечивает прослеживаемость данных и предотвращает систематические ошибки.

3.1.6. Контроль качества данных (QA/QC)

Рекомендуются автоматизированные проверки диапазона значений, а также сверка гидравлического баланса и временной согласованности [6].

Метрики: полнота данных $\geq 98\%$, задержка передачи < 15 мин, непрерывность $\geq 99\%$ [7;11].

3.1.7. Форматы и протоколы данных

Для временных рядов рекомендуется использовать WaterML 2.0 и SensorML [30]. Для телеметрии — MQTT; для интеграции SCADA — OPC UA [11]. Передача данных должна обеспечивать безопасность через TLS и авторизацию пользователей [1].

3.1.8. Интеграция с SEEA-Water

Методические основы должны обеспечивать возможность трансляции данных в национальную отчётность, включая баланс водозабора, возвратные воды и потери [29]. Это создаёт основу для международной сопоставимости и участия Казахстана в глобальных системах мониторинга.

3.1.9. Организационные положения

Рекомендуется закрепление ролей:

- оператор (сбор и первичная проверка данных),
- “data steward” (ответственный за качество и интеграцию),
- администратор системы (инфраструктура и поддержка).

Документирование калибровок и ежегодный аудит данных по стандартам AWWA [34] обеспечивают доверие к цифровой системе.

Таким образом, методические основы цифровизации водоучёта и водораспределения формируют научно обоснованный каркас, обеспечивая метрологическую достоверность, унификацию форматов и интеграцию в международные стандарты [23; 11; 7; 29].

Роль и основные требования к методическим основам представлены на рисунке -1.

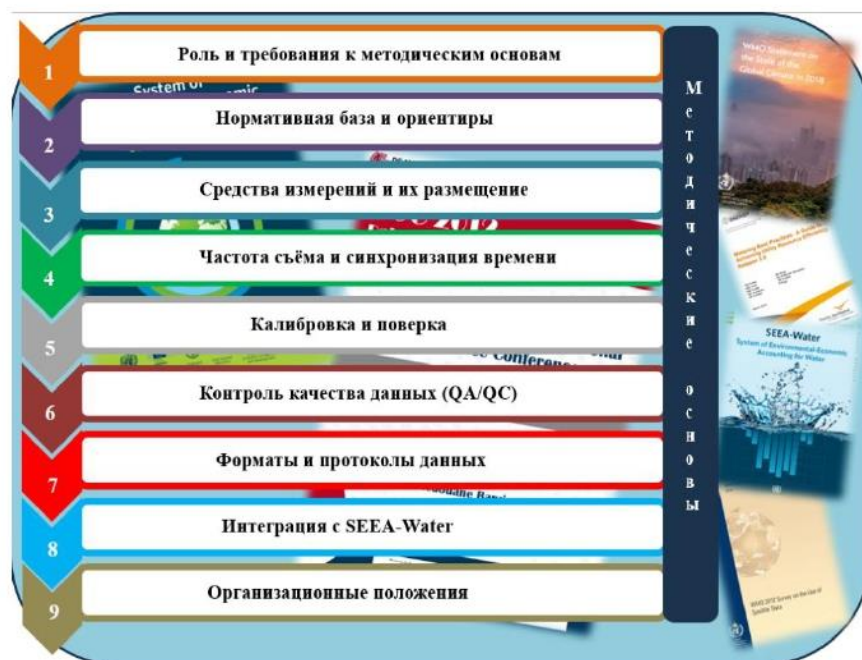


Рисунок - 1. Роль и требования к методическим основам

3.2. Регламент функционирования

3.2.1. Общие положения

Регламент функционирования определяет организационные, технические и метрологические правила эксплуатации цифровой системы водоучёта и водораспределения. Его ключевая цель — обеспечить достоверность и непрерывность учёта, унификацию процедур и прозрачность взаимодействия участников (операторов, администраторов, инспекторов и водопользователей) [11; 23].

3.2.2. Режим работы и доступность системы

Непрерывность функционирования: целевой показатель доступности цифровой платформы — $\geq 99\%$ в год, включая периоды обновлений и профилактики [28].

Резервирование: данные и сервисы должны быть защищены резервными копиями и географически распределёнными серверами.

Ролевой доступ: права пользователей разграничиваются в зависимости от функций (оператор, инспектор, администратор, фермер) [27].

3.2.3. Сбор и передача данных

Частота съёма: для водохранилищ и гидроузлов — каждые 5–15 минут; для магистральных каналов — 15–60 минут; для абонентских счётчиков — до 1 часа [25].

Передача данных: осуществляется по протоколам MQTT или OPC UA с шифрованием TLS [30; 28].

Метаданные: каждая запись сопровождается уникальным идентификатором сенсора, координатами, точностью и статусом QA/QC [6].

3.2.4. Контроль качества и диагностика

Автоматический QA/QC: онлайн-проверка диапазонов, фильтрация выбросов, сверка баланса притоков и отборов [6].

Ручной контроль: инспекторы проводят выборочные полевые замеры для верификации [34].

Диагностика оборудования: фиксируются сбои датчиков (обрыв связи, батарея, аномалии показаний), с классификацией тревог по стандарту O&M/SensorML [31].

3.2.5. Обновления и версионность

Версии ПО: каждая версия сопровождается журналом изменений (changelog) и цифровым номером релиза [34].

Откат: при выявлении критических ошибок должна быть предусмотрена возможность возврата к предыдущей версии.

Обновления безопасности: выпуск не реже 1 раза в квартал; функциональные релизы — по плану развития [1; 2].

3.2.6. SLA и сопровождение

SLA (Service Level Agreement):

- критические сбои — устранение до 4 часов;
- высокие — до 24 часов;
- средние — до 3 дней;
- низкие — до 7 дней [1; 2].

Поддержка: 24/7 для критических узлов и в рабочие часы для пользователей второго уровня.

Обучение: ежегодная сертификация операторов и администраторов [34].

3.2.7. Отчётность и контроль исполнения

Автоматические отчёты: формирование суточных, декадных и месячных балансов с фиксацией расхождений «план/факт» [29].

Критерии качества: сокращение расхождений в балансе минимум на 20% в первый год внедрения и до 5% после полной оптимизации [29].

Аудит: ежегодная независимая проверка корректности данных и работы системы [34].

3.2.8. Взаимодействие с пользователями

Инспекторы: доступ к мобильному приложению, оценка принятия — активные пользователи/назначенные [7].

Фермеры: прозрачный доступ к лимитам, фактическим расходам и прогнозам.

Администраторы: управление пользователями, версиями, интеграцией с госкадастрами и SEEA-Water [29].

Регламент функционирования задаёт единый порядок эксплуатации цифровой системы водоучёта и водораспределения, обеспечивая непрерывность, достоверность и управляемость процессов. Он формирует правила контроля качества, обслуживания, обновлений и взаимодействия пользователей, что делает систему устойчивой, прозрачной и интегрируемой в международные стандарты [23; 11; 29].

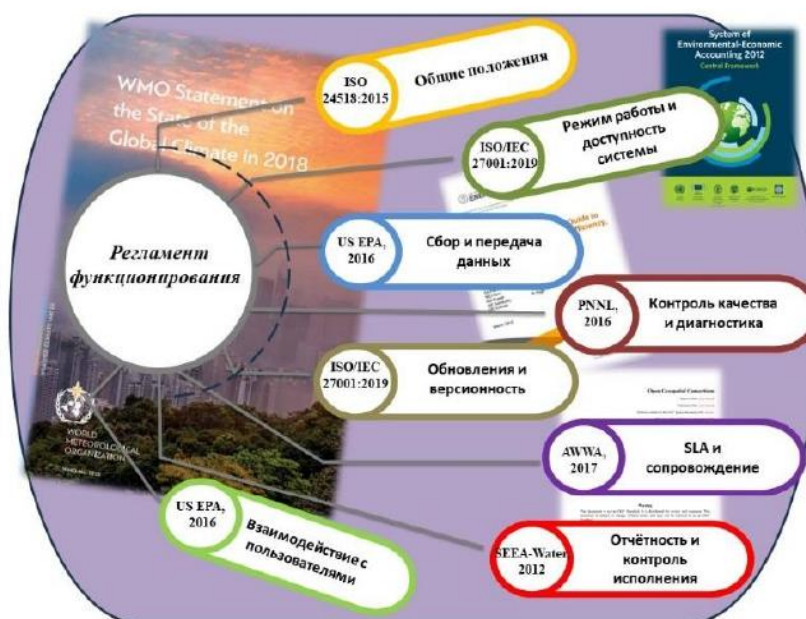


Рисунок - 2. Регламент функционирования

3.3. Функционал системы

3.3.1. Общие положения

Функционал цифровой системы водоучёта и водораспределения представляет собой совокупность модулей, обеспечивающих сбор, обработку, хранение, анализ и визуализацию данных, а также поддержку управленческих решений. Структура системы должна быть модульной и масштабируемой, что позволит интегрировать её с государственными информационными ресурсами и отраслевыми платформами [26; 31].

3.3.2. Модуль мониторинга и учёта воды

Датчики и сенсоры: измерение уровней, расходов, давления и качества воды в реальном времени [25].

Автоматизация съёма данных: использование протоколов IoT и SCADA-интеграции для онлайн-передачи показаний [32].

Геопривязка: все данные снабжаются координатами (GIS-подсистема) [30].

3.3.3. Модуль водораспределения

Планирование лимитов: расчёт и доведение лимитов водопотребления до абонентов по декадам/месяцам [29].

Управление гидротехническими сооружениями: автоматизированное открытие/закрытие затворов и водоподача по графику [23].

Балансовая сверка: сопоставление притоков, распределения и фактических отборов для исключения несанкционированных расходов [34].

3.3.4. Модуль аналитики и прогнозирования

Гидрологическое моделирование: прогноз стока и водопотребления с учётом погодных условий [35].

Прогноз водного баланса: построение сценариев «план/факт» для оптимизации распределения ресурсов [29].

Аналитика по эффективности: определение потерь в каналах, сравнение фактического и планового водопотребления [6].

3.3.5. Модуль визуализации и отчётности

Интерфейс оператора: панель мониторинга (dashboard) с ключевыми параметрами — уровни, расходы, балансы [33].

Отчётность: автоматическое формирование суточных, декадных и сезонных отчётов для регулирующих органов [11].

GIS-визуализация: интеграция с картографическими сервисами (Google Maps, QGIS, национальные кадастры) [31].

3.3.6. Модуль управления пользователями

Ролевая модель: разграничение прав доступа (администратор, оператор, инспектор, абонент) [1;2].

Аутентификация: двухфакторная защита доступа к данным и сервисам.

История действий: фиксация логов активности для обеспечения прозрачности и контроля [34].

3.3.7. Модуль интеграции и обмена данными

Интеграция с госресурсами: кадастр водных объектов, база абонентов, агроплатформы [29].

Интероперабельность: поддержка открытых стандартов (WaterML 2.0, SensorThings API) [30; 31].

API-доступ: для сторонних разработчиков и смежных систем управления.

3.3.8. Модуль поддержки решений

Система предупреждений: формирование тревог по критическим ситуациям (перелив, дефицит, авария) [11].

Рекомендации: автоматизированные подсказки оператору по регулированию затворов или изменению графика водоподачи.

Сценарное моделирование: анализ вариантов распределения при ограниченном стоке.

Функционал системы цифрового водоучёта и водораспределения охватывает полный цикл управления: от измерений и мониторинга до анализа, отчётности и поддержки управленческих решений. Его модульная структура обеспечивает масштабируемость, интеграцию с национальными и международными системами и устойчивость в условиях дефицита водных ресурсов [23; 27; 29].

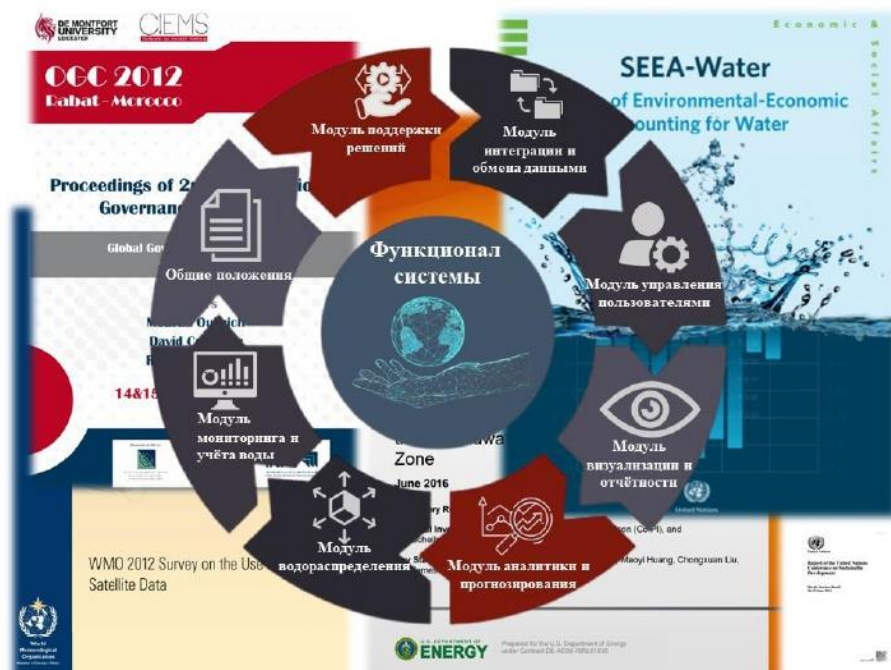


Рисунок - 3. Функционал системы

3.4. Стандарты взаимодействия

Цифровая система должна опираться на открытые стандарты, обеспечивающие интероперабельность и масштабируемость:

OPC UA (IEC 62541) – основной протокол обмена в промышленных системах автоматизации [2].

MQTT – лёгкий протокол передачи данных для IoT-устройств.

European Catalogue of ICT Water Standards – задаёт рамки по архитектурам, интерфейсам и спецификациям для водного сектора в ЕС.

ISO 9241-210:2019 – требования к эргономике интерфейсов и проектированию систем, ориентированных на пользователя [1].

ISA-101 – правила построения HMI, которые должны применяться для SCADA-экранов диспетчерских центров [33].

Наличие единых стандартов взаимодействия гарантирует совместимость между оборудованием разных производителей, а также интеграцию с национальными и международными платформами цифрового водного учёта.



Рисунок - 4. Стандарты взаимодействия

1. DOE. Metering Best Practices: A Guide to Achieving Utility Resource Efficiency. U.S. Department of Energy, 2015.
2. PNNL. Water Metering Best Practices. Pacific Northwest National Laboratory, 2016.
3. US EPA. Advanced Metering Infrastructure and Customer Systems. U.S. Environmental Protection Agency, 2016.
4. ISO 24516:2016. Guidelines for the management of assets of water supply and wastewater systems. International Organization for Standardization, 2016.
5. ISO 24518:2015. Activities relating to drinking water and wastewater services — Crisis management of water utilities. International Organization for Standardization, 2015.
6. ISO/IEC 27001:2019. Information Security Management Systems — Requirements. International Organization for Standardization, 2019.
7. SEEA-Water. System of Environmental-Economic Accounting for Water. United Nations, 2012.
8. OGC. WaterML 2.0: Part 1 — Time Series. Open Geospatial Consortium, 2012.
9. OGC. SensorML and O&M Standards. Open Geospatial Consortium, 2012.
10. ISA-95. Enterprise-Control System Integration. International Society of Automation, 2010.
11. ISA-101. Human-Machine Interfaces for Process Automation Systems. International Society of Automation, 2015.
12. AWWA. Water Audits and Loss Control Programs (Manual M36). American Water Works Association, 2017.
13. WMO. Manual on Hydrology: From Measurement to Hydrological Information. World Meteorological Organization, 2012.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УЗЛОВЫХ ТОЧЕК ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Проведённый анализ и обоснование выбора узловых точек цифровизации процессов водоучёта и водораспределения показали, что эффективность внедрения современных

технологий напрямую зависит от последовательного и системного подхода. В условиях ограниченных ресурсов цифровизация всей инфраструктуры одновременно невозможна, поэтому ключевым методическим приёмом становится выделение приоритетных объектов, где внедрение даёт наибольший эффект.

Цифровизация процессов водоучёта и водораспределения предполагает внедрение систем автоматизации, датчиков и телеметрии не по всем участкам водохозяйственных объектов одновременно, а поэтапно, начиная с наиболее значимых объектов. Такой подход обусловлен как экономическими соображениями (ограниченность финансирования и высокая стоимость оборудования), так и организационными факторами (необходимость обучения персонала, адаптации нормативной базы).

Для выработки приоритетов необходимо выделить узловые точки, т.е. объекты и участки, где искажения данных или ручное управление оказывают наибольшее влияние на достоверность учёта и эффективность распределения воды. Выбор этих точек позволяет выстроить сквозную цифровую архитектуру: от формирования общего водного баланса до контроля конечного потребления.

В качестве таких объектов определены: водохранилища, гидроузлы, магистральные и распределительные каналы, абонентский уровень и диспетчерские центры. Их объединяет то, что именно на этих уровнях формируются искажения водного баланса и возникают наибольшие управленческие риски. Цифровизация этих узлов позволяет:

- обеспечить точность исходных данных и водного баланса на уровне водохранилищ;
- повысить объективность и оперативность распределения стока на гидроузлах;
- сократить потери и несанкционированные отборы в каналах;
- сформировать прозрачную систему взаимодействия с конечными пользователями;
- создать единую платформу обработки и анализа данных в диспетчерских центрах.

Ниже приводится иерархия системы управления, приведенная на рисунке 1

Водохранилище — стратегический запас, управление режимами наполнения и сброса.

Гидроузел — перераспределение стока, поддержка уровней, контроль лимитов.

Каналы — доставка воды до потребителей, учёт фактического расхода.

Абоненты — конечные пользователи (фермеры, хозяйства, предприятия).



Рисунок 5. Принцип управления идёт сверху вниз, а данные и отчётность — снизу вверх.

Таким образом, методика выделения узловых точек обеспечивает поэтапность, экономическую целесообразность и управляемость процесса цифровизации. Она позволяет сформировать сквозную систему — от контроля стратегических запасов до справедливого распределения ресурсов между абонентами. Такой подход не только решает технические задачи учёта и распределения воды, но и создаёт предпосылки для повышения доверия между участниками водопользования, устойчивого развития аграрного сектора и адаптации

водохозяйственной системы к изменяющимся климатическим и социально-экономическим условиям.

4.1. ЦИФРОВАЯ ИНФРАСТРУКТУРА (SCADA/IOT)

Цифровая инфраструктура в современном водохозяйственном комплексе играет ключевую роль, обеспечивая интеграцию разрозненных объектов в единую информационно-управляющую систему. Если ранее контроль за водоучётом и распределением осуществлялся вручную, с применением разрозненных приборов и бумажной отчётности, то в условиях цифровизации переход осуществляется к системам SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) и IoT (Internet of Things), позволяющим в режиме реального времени собирать данные, анализировать их и принимать управленческие решения.

Главная цель внедрения цифровой инфраструктуры заключается в обеспечении непрерывного мониторинга водных ресурсов, формировании достоверного водохозяйственного баланса и оперативном управлении подачей воды в каналы и абонентам.

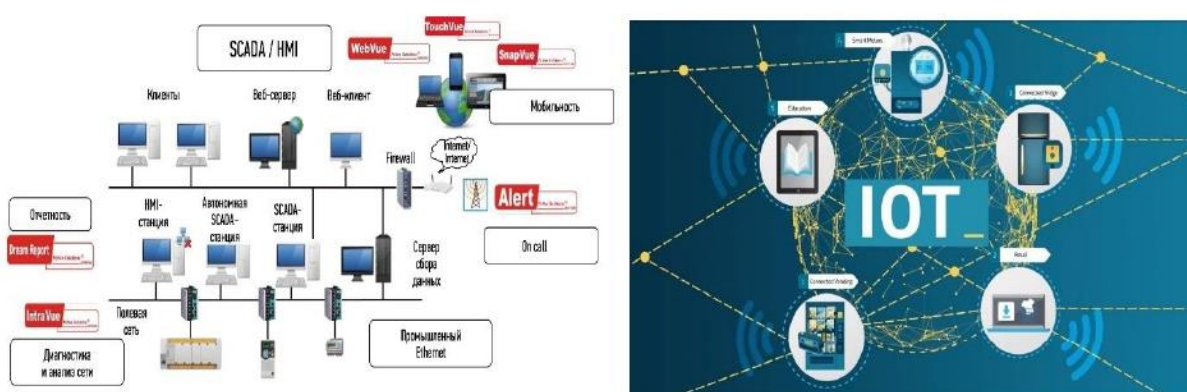


Рисунок -6. Структурные схемы современной SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) и IoT (Internet of Things)

При проектировании подобной системы необходимо учитывать несколько аспектов:

- территориальную распределённость объектов (водохранилища, гидроузлы, каналы, насосные станции, фермерские хозяйства);
- надёжность передачи данных в условиях сложного рельефа и неравномерного покрытия сетями связи;
- требования к метрологической точности и юридической значимости данных учёта воды;

вопросы кибербезопасности и защиты от несанкционированного доступа.

Таким образом, цифровая инфраструктура *становится сквозным технологическим уровнем*, объединяющим датчики, контроллеры, серверы, диспетчерские центры и мобильные приложения в единую экосистему.

Первичные средства измерений и датчики

Базовым элементом цифровой инфраструктуры являются датчики и измерительные приборы, которые устанавливаются на гидротехнических сооружениях и каналах. К их числу относятся:

Датчики уровня воды

- радарные (неподверженные влиянию температуры и погодных условий, высокая точность);
- ультразвуковые (экономичные, удобные для каналов и небольших водохранилищ);
- пьезометрические (погружные, применяются для скважинных и глубинных измерений).



Рисунок - 7. Датчики уровня воды

Данные датчики позволяют вести непрерывный контроль за уровнем в верхнем и нижнем бьефах, а также в контрольных сечениях каналов.

Расходомеры

- электромагнитные и ультразвуковые — наиболее точные и надёжные приборы для учёта подаваемой воды;

- накладные ультразвуковые расходомеры — применяются для быстрой установки на действующих каналах без реконструкции.

Их использование позволяет минимизировать ошибки при определении поданных объёмов, что особенно важно при распределении лимитов между хозяйствами.

Датчики положения затворов и приводов

Эти устройства фиксируют степень открытия/закрытия затвора, что необходимо для расчёта фактического расхода и для автоматизации регулирования подачи.

Метеостанции

Устанавливаются вблизи водохранилищ и на ключевых каналах. Позволяют рассчитывать потери воды за счёт испарения, а также формировать прогнозы водопотребления с учётом погодных условий.

Таким образом, датчики формируют первичный уровень цифровой инфраструктуры, обеспечивая непрерывный поток информации о состоянии системы.

Контроллеры и системы телеметрии

Для обработки данных датчиков и передачи их в центр управления применяются программируемые логические контроллеры (ПЛК) и телеметрические модули.

Современные системы используют гибридные каналы связи:

- GSM/GPRS/LTE — оптимально для населённых пунктов и территорий с устойчивым покрытием;

- LoRaWAN — низкоэнергетическая радиосеть, позволяющая собирать данные с распределённых каналов и абонентских постов на расстоянии до 15–20 км без ретрансляторов;

- спутниковая связь — применяется в горных районах и удалённых степных массивах, где отсутствует мобильное покрытие.

Контроллеры выполняют не только функцию передачи данных, но и управляющую функцию: они позволяют дистанционно открывать и закрывать затворы, включать насосные агрегаты и выполнять аварийные сценарии (например, при угрозе перелива через гребень плотины).

Серверная часть и база данных

Все данные поступают в центральный вычислительный комплекс. Его архитектура включает:

1. Сервер реального времени — принимает телеметрию, осуществляет верификацию и фильтрацию данных, а также хранит историю измерений.

2. База данных — структурированное хранилище, обеспечивающее доступность данных для анализа и отчётности. Важным условием является метрологическая прослеживаемость, то есть хранение неизменных первичных записей.

3. Аналитический модуль — позволяет рассчитывать балансы, строить прогнозы водоподачи и выявлять аномалии (например, скрытые утечки).

4. GIS-интеграцию — геоинформационные сервисы, отображающие на карте в реальном времени состояние всех гидротехнических сооружений и каналов.

Важным направлением является интеграция с системами гидрологических прогнозов и метеослужб, что позволяет учитывать сценарии маловодья и паводков.

Диспетчерский центр

Центральным узлом управления выступает диспетчерский центр, где информация поступает в режиме реального времени. Основные возможности:

- дашборды для наглядного отображения уровней воды, расходов и состояния оборудования;
- система тревог — автоматическая сигнализация при достижении критических уровней, отказах связи или выходе датчиков из строя;
- модели оптимизации — расчёт рекомендуемых сбросов и распределения воды с учётом фактических лимитов и заявок абонентов;
- отчётность — формирование суточных, декадных и сезонных водохозяйственных балансов.

Таким образом, диспетчерский центр становится ядром управленческой деятельности, обеспечивая как мониторинг, так и контроль водопользования.

Мобильные приложения и работа в полевых условиях

Особое внимание уделяется цифровой поддержке операторов и инспекторов на местах. Для этого создаются мобильные приложения, синхронизированные с центральной системой. Их функции включают:

- отображение текущих данных по ближайшему объекту (уровень, расход, состояние оборудования);
- возможность ввода ручных измерений и фотографий для сопоставления с автоматическими данными;
- офлайн-режим с последующей синхронизацией;
- получение оперативных задач от диспетчера (например, осмотреть затвор №3 или провести контрольное измерение).

Таким образом, мобильные решения обеспечивают полный цикл: от автоматизированного учёта до подтверждения корректности данных человеком.

Кибербезопасность и надёжность

Поскольку система SCADA/IoT является критически важной инфраструктурой, особое внимание уделяется вопросам защиты:

- разграничение прав доступа по уровням пользователей (оператор, инженер, администратор);
- регистрация всех действий персонала в электронных журналах;
- резервные каналы связи и автономные источники питания на ключевых узлах;
- криптографическая защита телеметрии и данных в базе.

Это позволяет гарантировать не только точность и полноту данных, но и их юридическую значимость при распределении водных ресурсов.

Цифровая инфраструктура SCADA/IoT формирует технологическую основу для интеллектуального управления водными ресурсами. Она объединяет датчики, каналы связи, серверные комплексы, аналитические модули, диспетчерские центры и мобильные приложения в единую систему. Это обеспечивает:

- достоверность учёта;
- прозрачность распределения воды;
- оперативность принятия решений;
- повышение надёжности водохозяйственного комплекса в целом.

Таким образом, цифровизация инфраструктуры становится необходимым условием устойчивого развития систем орошения и управления водными ресурсами.

4.2. ОСОБЕННОСТИ ЦИФРОВОГО ВОДОУЧЁТА И ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ВОДОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ НА ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЯХ

Водохранилище является ключевым элементом водохозяйственной системы, аккумулирующим приточный сток и перераспределяющим его во времени. Для обеспечения надёжного водоучёта и управления необходимо контролировать следующие параметры:

Уровень воды основными контрольными отметками являются:

- НПУ (нормальный подпёртый уровень) — верхний эксплуатационный уровень;
- мёртвый объём — нижний предел полезного использования;
- полезный объём — разница между НПУ и мёртвым объёмом, формирующая ресурс для водоподачи.

Приток включает расходы рек, впадающих в водохранилище, а также поверхностный и подземный сток.

Изъятие. Объём сброса в реки или подачи в оросительные каналы.

Потери. Представлены фильтрацией в тело плотины или грунтовое основание, а также испарением с зеркала водохранилища.

Задача водоучёта — поддержание точного водного баланса, что позволяет гарантировать плановую подачу воды в каналы и предотвращать критические ситуации (паводок, обмеление).

Технические средства

Для реализации цифрового учёта применяются следующие измерительные и управляющие устройства:

Датчики уровня.

- Радарные или ультразвуковые уровнемеры, устанавливаемые на плотине, обеспечивают непрерывный мониторинг уровня воды.
- Автоматические уровнемеры фиксируют данные с высокой точностью и передают их в систему SCADA.

Метеостанции используются для определения метеорологических параметров (температура воздуха, скорость ветра, влажность), необходимых для расчёта испарения.

Датчики притока. На реках, впадающих в водохранилище, устанавливаются расходомеры или гидропосты с автоматической телеметрией.

Автоматизированные узлы управления.

- Затворы водосбросных сооружений.
- Насосные станции (в случаях перекачки воды).

Передача данных организуется через GSM-сети, спутниковую телеметрию или IoT-протоколы (LoRaWAN, NB-IoT), с обязательной интеграцией в общую систему каналов.

Методика цифрового учёта

Основой является ежечасная регистрация уровня воды с последующим расчётом объёмов по зависимости «уровень – объём».

Формула водного баланса:

$$\Delta V = Q_{\text{приток}} - Q_{\text{сброс}} - Q_{\text{испарение}} - Q_{\text{фильтрация}}$$

где:

- ΔV — изменение объёма в водохранилище;
- $Q_{\text{приток}}$ — суммарный приток;
- $Q_{\text{сброс}}$ — расход в каналы и реки;
- $Q_{\text{испарение}}$ — потери на испарение;
- $Q_{\text{фильтрация}}$ — фильтрационные потери.

Система автоматически сверяет расчётный объём (ΔV) с фактическим уровнем. Это позволяет выявлять расхождения, сигнализирующие о некорректных данных или аномальных потерях.

Отчётность ведётся в автоматическом режиме:

- суточные балансы (оперативное планирование);
- месячные и сезонные балансы (стратегическое управление).

Методика водораспределения

Водораспределение строится на алгоритмах, которые учитывают как фактический приток, так и лимиты водопотребления.

Алгоритм:

1. Определение полезного объёма на начало вегетационного сезона.
2. Формирование графика подачи воды (декадные и месячные лимиты).
3. Автоматизированный расчёт допустимых сбросов в канал на основе текущего запаса.
4. Управление затворами в режиме SCADA, с учётом притока и фактического уровня.
5. Корректировка графика подачи при маловодье.
6. В условиях дефицита применяется принцип **справедливости**: пропорциональное распределение воды между хозяйствами и каналами.

Интеграция «водохранилище ↔ каналы»

В цифровой системе водохранилище является «источником», а каналы — «потребителями».

Уровень и запас воды в водохранилище автоматически определяют лимит подачи в главный канал.

Данные по сбросам и подаче синхронизируются с показаниями учётных постов на каналах.

В единой SCADA/IoT-платформе формируются три взаимосвязанных модуля:

Модуль водохранилища (уровень, приток, сбросы).

Модуль каналов (уровни, расходы, водопользователи).

Балансовый модуль (распределение воды по лимитам).

Такая интеграция обеспечивает прозрачность и контроль выполнения графиков.

Контроль и безопасность

Для надёжности цифрового водоучёта необходимо предусмотреть систему защиты и аварийного реагирования:

Сигнализация по критическим уровням при достижении отметки НПУ или мёртвого объёма система формирует предупреждение.

Прогнозирование паводков при использовании сценарных моделей и гидрометеопрогнозов позволяет заранее корректировать сбросы.

Резервное управление при потере связи возможен ручной или локальный автоматический режим управления затворами.



Рисунок -8. Водохранилище

Гидроузел, как ключевое звено в управлении речным стоком, обеспечивает перераспределение воды между рекой, водохранилищем и оросительными каналами. Именно на уровне гидроузла формируется баланс между хозяйственными потребностями, интересами энергетики, сельского хозяйства, коммунального сектора и требованиями экологической устойчивости. Цифровизация эксплуатации гидроузлов открывает возможности для более точного водоучёта, гибкого регулирования и снижения риска аварийных ситуаций.

Данная методика описывает принципы цифрового водораспределения и водоучёта, а также этапы внедрения интеллектуальных технологий в управление гидроузлами.

Роль гидроузла в системе управления водными ресурсами

Гидроузел представляет собой комплекс гидротехнических сооружений, включающих плотину, водосбросные и водовыпускные устройства, водоприёмники и каналы, предназначенные для перераспределения речного стока.

Основные задачи гидроузла заключаются в следующем:

- аккумуляция и хранение водных ресурсов в водохранилище;
- регулирование межгодового и внутригодового стока;
- обеспечение водоснабжения населения, сельского хозяйства и промышленности;
- поддержание минимально допустимого экологического стока в реке;
- защита территорий от паводков;
- обеспечение безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений.

В условиях цифровизации роль гидроузла существенно расширяется: он становится узловой точкой сбора, обработки и передачи информации о состоянии водохранилища, рек и каналов.

Контролируемые параметры и их цифровизация

Для эффективного регулирования и учёта необходимо вести непрерывный мониторинг следующих параметров:

1. *Уровень верхнего бьефа* — основной индикатор запасов воды в водохранилище, измеряемый автоматическими уровнемерами.
2. *Уровень нижнего бьефа* — важен для безопасности сооружений и оценки воздействия на нижележащие территории.

3. *Расходы воды по каналам и сбросам* — определяют объём фактического водопотребления и подлежат автоматизированному учёту.

4. *Положение затворов и водовыпусков* — контролируется с помощью датчиков и передаётся в SCADA.

5. *Метеорологические данные* — прогноз осадков, температура, испаряемость, которые напрямую влияют на режим эксплуатации.

В традиционных системах данные собирались вручную и заносились в журналы наблюдений. Цифровизация переводит этот процесс в автоматический режим: датчики и расходомеры передают информацию в единую диспетчерскую систему, где она архивируется и визуализируется.

Регулирование стока и водораспределение

В условиях цифровизации регулирование стока на гидроузле осуществляется по заранее заданным алгоритмам, учитывающим как гидрологическую обстановку, так и лимиты водопользования.

Основные функции регулирования включают:

- поддержание уровней в водохранилище с учётом сезонных кривых наполнения и сработки;
- выполнение лимитов водоподачи в соответствии с планами водопользования и межотраслевыми балансами;
- предотвращение паводков посредством автоматического увеличения сбросов при достижении критических уровней;
- адаптивное перераспределение воды между каналами в зависимости от текущих потребностей и фактического водопотребления;
- аварийные сценарии, предусматривающие мгновенный переход в режим безопасного сброса при угрозе разрушения плотины.

Таким образом, цифровая система управления гидроузлом позволяет перейти от реактивного к проактивному управлению, когда решения принимаются на основе прогноза, а не только фактической информации.

Цифровой учёт воды

Одной из ключевых задач является обеспечение достоверного и прозрачного водоучёта. Цифровая система предусматривает:

- установку автоматических расходомеров на всех выпускных устройствах и каналах;
- передачу данных в режиме реального времени в центральный диспетчерский пункт;
- автоматическое формирование электронных журналов водоподачи;
- расчёт фактических водных потерь при транспортировке;
- сравнение плановых лимитов с фактическим потреблением;
- предоставление доступа водопользователям к их данным через веб-платформы или мобильные приложения.

Это позволяет исключить субъективность и ошибки при учёте воды, а также повысить прозрачность в отношениях между государством, эксплуатационными организациями и водопользователями.

Внедрение цифровых технологий в управление гидроузлом позволяет повысить точность водоучёта, обеспечить более справедливое и прозрачное распределение водных ресурсов, а также снизить риск чрезвычайных ситуаций. Методика, основанная на интеграции автоматических средств измерения, SCADA-систем и интеллектуальных алгоритмов регулирования, обеспечивает переход от традиционной эксплуатации гидротехнических сооружений к интеллектуальному управлению водными ресурсами.

Цифровизация становится необходимым условием устойчивого водопользования, позволяя согласовать интересы государства, водопользователей и экосистем.

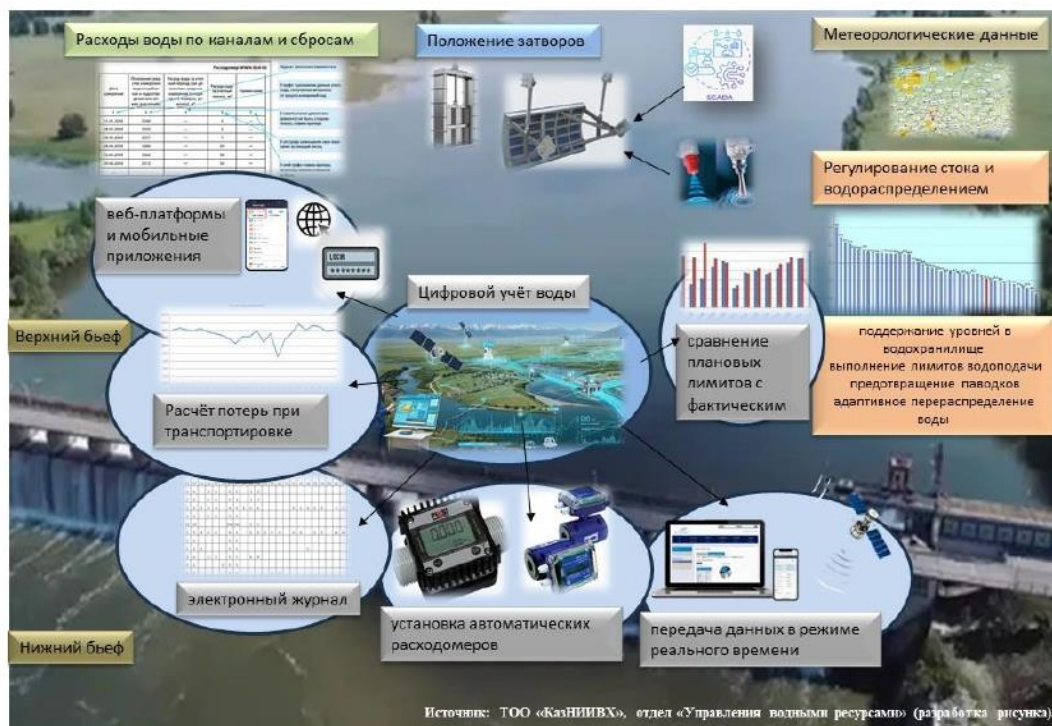


Рисунок -9. Гидроузел

Оросительные каналы являются основным звеном в системе водораспределения, обеспечивая транспортировку воды от гидроузлов и магистральных водопроводящих сооружений к конечным потребителям: сельскохозяйственным предприятиям, населенным пунктам и промышленным объектам. Традиционно подача воды по каналам контролировалась вручную — через визуальные наблюдения за расходами и уровнями, периодические замеры на контрольных гидропостах и отчёты эксплуатационного персонала. Однако подобный подход имеет существенные недостатки: высокая погрешность учёта, невозможность круглосуточного мониторинга, задержки в передаче информации и трудности в контроле фактического водопотребления.

Цифровизация оросительных систем позволяет существенно повысить эффективность водопользования. Она основана на применении автоматизированных средств измерения, систем дистанционного мониторинга и интеллектуальных алгоритмов управления. В условиях ограниченности водных ресурсов и необходимости строгого соблюдения лимитов водопотребления цифровой контроль каналов становится ключевым инструментом рационального водопользования.

Учёт подачи воды

Автоматические расходомеры для обеспечения достоверного учёта подачи воды на магистральных и распределительных каналах устанавливаются автоматические расходомеры различных типов: ультразвуковые, электромагнитные, либо специальные гидравлические измерительные сооружения (водосливы, лотки Паршалла). Эти устройства позволяют:

- вести непрерывные замеры расхода воды;
- передавать данные в реальном времени в диспетчерский центр;
- формировать электронные журналы учёта воды.

Контрольные посты на протяжённых оросительных системах предусматривается создание сети контрольных постов, оснащённых уровнемерами, датчиками скорости и телеметрическими устройствами. Такая система позволяет контролировать расход и уровень воды не только в головной части канала, но и на его промежуточных участках, что даёт возможность выявлять аномалии и распределять воду более точно.

Сравнение подачи с лимитами

Нормативное обеспечение для каждого водопользователя ежегодно устанавливаются лимиты водопотребления, утверждаемые государственными органами водного хозяйства. Цифровая система позволяет автоматически сопоставлять фактический отбор воды с плановыми значениями.

Допустимые отклонения в методике предусматривается, что допустимые отклонения от утверждённых лимитов не должны превышать 5–10 %.

Если отклонение находится в пределах допустимого, система фиксирует это как штатный режим.

Если превышение лимитов устойчивое, формируются сигналы для диспетчера и уведомления водопользователя.

Если фактический отбор ниже лимита, это также регистрируется, и при необходимости вода перераспределяется в пользу других потребителей.

Автоматическая отчётность по результатам сравнения система формирует ежесуточные и ежемесячные отчёты, в которых отражается:

- плановый лимит и фактический расход;
- отклонение в абсолютных и относительных величинах;
- причины перерасхода или недоотпуска (аварии, несанкционированные отборы, изменение режима подачи).

Распределение воды

Принцип заявочного регулирования Цифровой системе управления каналами учитывает поданные водопользователями заявки на подачу воды, сопоставляет их с утверждёнными лимитами и распределяет ресурс в соответствии с приоритетами и доступным стоком.

Алгоритмы распределения в рамках цифровизации применяются алгоритмы, позволяющие:

- автоматически корректировать режим подачи в зависимости от заявок и лимитов;
- адаптировать распределение воды в реальном времени при изменении притока или аварийных ситуациях;
- учитывать метеорологические прогнозы (ожидаемые осадки или высокая испаряемость);
- перераспределять воду между каналами при недоиспользовании лимита одним водопользователем и высокой потребности у другого.

Поддержание баланса системе не только распределяет воду, но и обеспечивает соблюдение межотраслевого и межрегионального баланса водопользования, что особенно важно в условиях дефицита ресурсов.

Контроль потерь воды

Природные и технические потери воды в каналах могут быть связаны с фильтрацией в грунт, испарением, а также с техническими неисправностями (разрушение облицовки, зарастание русла, повреждения затворов). Цифровая система позволяет вести постоянный баланс воды и определять места, где фактический расход не соответствует расчётным значениям.

Выявление аномалий с помощью аналитических модулей система фиксирует аномалии, указывающие на:

- утечки и просачивание воды в грунт;
- аварийные размывы и обрушения каналов;
- несанкционированные водоотборы (самовольные врезки, перекачка воды);
- ошибки персонала при управлении задвижками и затворами.

Реакция системы при выявлении аномалий система формирует тревожные сигналы для диспетчеров и может автоматически корректировать режим подачи воды, чтобы минимизировать потери. Например, при фиксации резкого падения расхода в нижнем створе система может снизить подачу воды в головной части канала до выяснения обстоятельств.

Интеграция с SCADA и ГИС

Для комплексного управления каналы интегрируются в общую SCADA-систему, которая обеспечивает:

- визуализацию гидравлических параметров (уровни, расходы, положения затворов);
- дистанционное управление распределительными сооружениями;
- архивирование данных и их последующую аналитику;
- формирование электронных паспортов участков каналов.

Дополнительно используется геоинформационная система (ГИС), которая позволяет:

- отображать сеть каналов на цифровой карте;
- визуализировать точки измерений и контроля;
- оперативно выявлять проблемные участки;
- планировать ремонты и реконструкцию каналов.



Рисунок -10 Каналы.

Абоненты — это конечные пользователи оросительной воды, к которым относятся фермерские хозяйства, аграрные предприятия, коммунальные организации и промышленные потребители. Именно на уровне абонентов формируется фактическая эффективность всей системы водораспределения: даже при точном учёте на гидроузлах и каналах общий результат может быть искажён при отсутствии прозрачного и достоверного учёта у конечных пользователей.

Традиционно контроль за использованием воды на уровне абонентов был фрагментарным. Измерения производились вручную, а отчёты предоставлялись в бумажной форме. Это создавало условия для неточностей, ошибок и конфликтных ситуаций. Цифровизация данного уровня позволяет обеспечить точный и справедливый учёт, автоматизировать контроль лимитов и повысить доверие между государственными органами, эксплуатационными организациями и пользователями.

Уровень учёта в условиях цифровизации система водоучёта строится по многоуровневому принципу:

- *фермерские хозяйства* — мелкие водопользователи, для которых учёт ведётся по каждому полю или фермерскому участку;
- *сельскохозяйственные предприятия* — крупные пользователи воды, где контроль осуществляется по разветвлённой внутренней сети каналов и насосных станций;
- *коммунальные и промышленные потребители* — абоненты, потребляющие воду для технологических нужд или водоснабжения населения.

Каждая категория абонентов должна быть интегрирована в единую цифровую систему учёта, что позволяет контролировать использование воды на всех уровнях — от главного канала до конечного пользователя.

Инструменты учёта

Индивидуальные счётчики на водозаборных сооружениях абонентов устанавливаются современные расходомеры (ультразвуковые, электромагнитные или механические с автоматическим съёмом данных). Они обеспечивают:

- непрерывный учёт фактического водопотребления;
- передачу информации в автоматизированную систему;
- исключение субъективных ошибок при ручном замере.

Контрольные посты в случаях, когда установка индивидуальных счётчиков затруднена (например, при заборе воды из мелких распределительных каналов), предусматривается создание контрольных постов, оснащённых датчиками уровня и расхода. Данные таких постов автоматически сопоставляются с лимитами водопотребителей.

Централизованная интеграция приборами учёта подключаются к единой системе мониторинга (SCADA или облачная платформа), что обеспечивает синхронизацию данных и единый стандарт их обработки.

Прозрачность системы

Одним из ключевых преимуществ цифровизации является создание прозрачных механизмов взаимодействия с абонентами.

В онлайн-портале абоненты получают доступ к личному кабинету в системе водоучёта, где отражаются:

- их утверждённые лимиты;
- фактическое водопотребление в текущем и прошедших периодах;
- прогноз использования до конца сезона;
- отклонения от лимитов и уведомления о возможных нарушениях.

Мобильное приложение для фермеров и небольших хозяйств разрабатываются мобильные приложения, позволяющие:

- отслеживать подачу воды в режиме реального времени;
- получать уведомления о начале или завершении подачи;
- подавать заявки на корректировку водоподачи;
- взаимодействовать с диспетчерскими службами напрямую.

Открытые данные в перспективе возможно внедрение системы открытых данных, где агрегированная информация по водопользованию в регионе будет доступна в обобщённой форме для общественного контроля и научных исследований.

Справедливость распределения ресурсов

Одной из главных проблем при дефиците воды является её справедливое распределение. Цифровая система позволяет автоматизировать данный процесс.

Принцип пропорциональности в условиях дефицита система автоматически сокращает водоподачу пропорционально утверждённым лимитам. Например, если общий объём воды снижен на 20 %, то все абоненты получают на 20 % меньше от своих лимитов. Это исключает субъективность и конфликты.

Приоритетные категории в случае чрезвычайных ситуаций система может учитывать приоритетные категории водопользователей (питьевое водоснабжение, социально значимые объекты) и обеспечивать их водой в первую очередь.

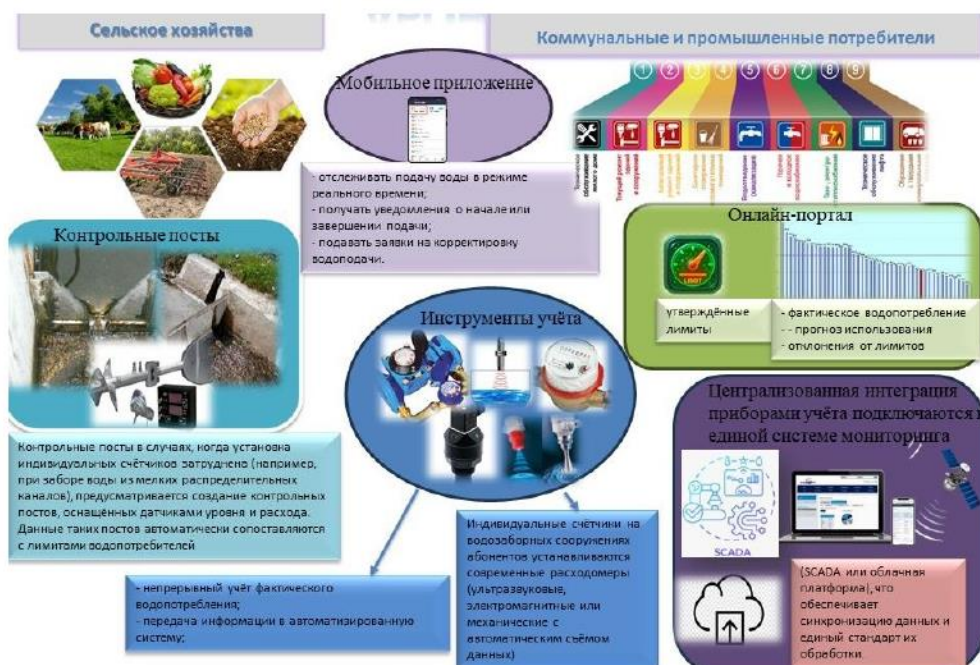
Уведомления и отчётность должен каждый абонент получает уведомления о снижении подачи и отчёты, где обосновываются причины перераспределения (недостаток притока, аварии, сезонные корректировки). Это повышает доверие к системе и снижает количество споров.

Контроль и выявление нарушений

При несанкционированные водоотборах система автоматически фиксирует аномальные превышения расхода воды и сообщает диспетчерам о возможных незаконных врезках или увеличении подачи.

Балансовый контроль будет сопоставлять данные между магистральными каналами, распределительными сооружениями и абонентами позволяет выявить несоответствия и локализовать место потерь или хищений.

Электронные протоколы при выявлении нарушений формируется электронный протокол с фиксацией даты, времени и объёма сверхлимитного водоотбора. Эти данные могут служить доказательной базой для применения административных мер.



Источник: ТОО «КазНИИХ», отдел «Управление водными ресурсами» (разработка рисунка).

Рисунок -11. Абоненты

Персонал играет ключевую роль в функционировании цифровой системы водоучёта и водораспределения. Несмотря на то, что современные SCADA-системы, автоматические датчики и алгоритмы управления значительно снижают долю ручного труда, человеческий фактор остаётся определяющим для обеспечения корректности работы оборудования, интерпретации данных и принятия управленческих решений в нестандартных ситуациях.

Целью данной методики является формирование чёткой системы ролей, обязанностей и стандартов квалификации персонала, задействованного в управлении гидротехническими сооружениями, каналами и системами водоснабжения.

1. Роли и функциональные обязанности

1.1. Оператор гидроузла

Осуществляет контроль за работой затворов, насосных станций и механизмов регулирования.

Мониторит уровни верхнего и нижнего бьефа, объёмы сбросов и подачу воды в каналы.

Работает с автоматизированной системой управления: подтверждает выполнение алгоритмов или корректирует их при аварийных ситуациях.

Обеспечивает выполнение графиков подачи воды в соответствии с установленными лимитами.

1.2. Оператор водохранилища

Отвечает за поддержание оптимального водного баланса водохранилища.

Контролирует приток, испарение, фильтрацию и объёмы водоотбора.

Участвует в регулировании паводковых режимов и предотвращении превышения форсированного подпертого уровня.

Взаимодействует с метеорологическими службами и прогнозными модулями SCADA.

1.3. Оператор канала

Контролирует фактический расход воды на различных участках канала.

Сравнивает показания расходомеров и контрольных постов с лимитами.

Фиксирует аномалии (утечки, несанкционированные водоотборы, превышение допустимых отклонений).

Организует согласование распределения воды между потребителями на основе цифровых заявок.

1.4. Инженер-гидротехник

Выполняет техническую диагностику гидротехнических сооружений.

Проверяет исправность датчиков уровня, расхода и состояния оборудования.

Планирует и проводит профилактические работы.

Анализирует данные эксплуатации для оптимизации режимов подачи воды.

1.5. ИТ-специалист

Поддерживает работу SCADA-системы, серверов и базы данных.

Настраивает алгоритмы автоматического регулирования.

Обеспечивает кибербезопасность и защиту данных.

Администрирует доступ пользователей, включая персонал и водопользователей.



Источник: ТОО «КазНИИВХ», отдел «Управления водными ресурсами» (разработка рисунка).

Рисунок - 12. Персонал

5. РЕГЛАМЕНТИРОВАНИЕ ИНТЕРФЕЙСА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ В СИСТЕМАХ ЦИФРОВОГО ВОДОУЧЁТА И ВОДОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Одним из ключевых элементов цифровой системы управления водными ресурсами является интерфейс пользователя (UI), через который осуществляется взаимодействие оператора, инженера или абонента с системой. Правильно регламентированный интерфейс обеспечивает удобство, безопасность, минимизацию ошибок и унификацию работы персонала. В условиях круглосуточного мониторинга и управления водохозяйственными объектами интерфейс становится инструментом не только отображения информации, но и управления технологическими процессами.

Цель регламента — обеспечить единообразное, безопасное, эргономичное и функционально полное взаимодействие пользователей (операторов, инженеров, диспетчеров, ИТ-персонала и абонентов) с цифровой системой, минимизировать человеческие ошибки, ускорить принятие решений и сохранить трассируемость всех операций.

Основные принципы регламентации интерфейса

Единообразие и стандартизация.

Интерфейс должен быть унифицированным для всех уровней системы (водохранилище, гидроузел, канал), чтобы персонал, переходя между объектами, использовал одинаковую логику работы. Это снижает вероятность ошибок и упрощает обучение.

Интуитивная визуализация.

Ключевые показатели (уровень воды, расход, положение затворов, приток/сброс) должны быть представлены в наглядной форме: графики, диаграммы, цветовые индикаторы. Визуальные сигналы (например, красный цвет при превышении критического уровня) должны быть стандартизированы.

Многоуровневый доступ.

Интерфейс должен предусматривать разграничение прав пользователей: оператор, инженер, администратор, абонент. Каждый вид пользователя видит только те данные и функции, которые необходимы ему по должностным обязанностям.

Протоколирование действий.

Все изменения параметров через интерфейс (например, открытие затвора на 20%, изменение графика подачи) должны автоматически фиксироваться с указанием пользователя, времени и причины.

Интеграция с мобильными приложениями.

Современный интерфейс должен быть адаптирован для мобильных устройств, что особенно важно для операторов каналов и инспекторов.

Кибербезопасность.

Интерфейс не только удобен, но и защищён: двухфакторная аутентификация, защита паролей, контроль сессий, шифрование каналов связи.

Функциональные модули интерфейса

Мониторинг: отображение текущих параметров в реальном времени (уровни, расходы, приток, сброс).

Управление: доступ к дистанционному регулированию затворов, насосов и прочего оборудования.

Аналитика: построение графиков, водных балансов, прогнозов на основе метеоданных.

Оповещения: система уведомлений о критических событиях (превышение лимита, аварийный режим).

Отчётность: автоматическое формирование отчётов и экспорт данных в регламентированные форматы.

Обучение и справка: встроенные инструкции, симулятор действий для новых сотрудников.

Международные практики

Международные стандарты (например, AWWA, EPA AMI, EU Digitalisation Guidelines) подчёркивают необходимость унифицированных пользовательских интерфейсов, которые должны быть максимально простыми, но функциональными. В ряде стран используются стандарты SCADA HMI (Human-Machine Interface), где особое внимание уделяется эргономике и снижению когнитивной нагрузки на оператора.

5.1. Ключевые принципы регламентации интерфейса пользователя

Требования и пояснения

Единый дизайн-систем (component library): набор стандартизованных компонентов (карточки KPI, графики временных рядов, таблицы, элементы управления затворами, уведомления) с едиными стилями, размерами, поведением и семантикой.

Единый словарь терминов и единиц измерения: все экраны используют одну систему обозначений (например, объём — м³, расход — м³/с, уровни — м). Формат времени — ISO 8601 UTC с локальным отображением.

Одинаковая логика взаимодействия: одинаковая последовательность действий для одинаковых операций (например, «открыть затвор на N%» — диалог подтверждения, ввод причины, логирование).

Шаблоны отчётов и экспорта: стандартные форматы CSV/JSON/XML и единый набор полей (object_id, timestamp, value, unit, quality_flag).

Документирование API и событий: единые схемы событий и API, чтобы фронтенд и бекенд могли интерпретировать данные одинаково.

Критерии приёмки

Наличие библиотеки компонентов и документации.

Минимум 90% эквивалентных задач выполняются одинаковой последовательностью на всех уровнях.

5.1.1. Ясность и минимизация когнитивной нагрузки

Снизить вероятность ошибок оператора, ускорить принятие решений и уменьшить усталость при длительном наблюдении.

Практические приёмы

Прогрессивное раскрытие информации (progressive disclosure): показывать основное — сразу; детальную информацию — по запросу или при наведении.

Приоритет визуализации: сначала KPI и тревоги; далее тренды; затем подробные журналы.

Чёткая иерархия визуальных элементов: крупные шрифты для актуальных значений, средние для трендов, мелкие для служебной информации.

Ограничение числа элементов на экране: не более 5–7 ключевых индикаторов в «обзорном» виде.

Контекстные подсказки и inline-help: короткие пояснения (tooltip) с формулой расчёта и допуском погрешности.

Предотвращение ошибок: валидация вводимых значений, диапазонные ограничения, предупреждения перед выполнением опасных операций.

Доступность для дальтоников и слабовидящих: палитра с контрастом, проверенная на дальтонизм; масштабируемые шрифты.

Метрики эффективности

Время на выполнение типовой операции (целевое < 30–60 с для операторских задач).

Количество ошибок оператора за смену (снижение после внедрения UI на ≥ 50%).

Результаты юзабилити-тестов (успешное выполнение задач ≥ 95%).

5.1.2. Доступность и адаптивность

Предоставить удобный интерфейс как для стационарного рабочего места диспетчера, так и для мобильного инспектора в полевых условиях.

Технические требования

Адаптивный дизайн: одна кодовая база — responsive UI. Диспетчерский экран (широкий монитор) и мобильный — разные представления одного и того же функционала.

Офлайн-режим для мобильных: локальное кэширование последних данных и очередь локальных действий с гарантированной доставкой и цифровой подписью при восстановлении связи.

Минимальные требования к сети: градация контента (full, reduced, emergency) — в условиях плохой связи показывать критичные показатели и блокировать тяжелые визуализации.

Кросс-платформенность: поддержка Windows/Linux (станция), Android/iOS (мобильные), веб-браузеров современного стандарта.

Интероперабельность: API с REST/GraphQL и WebSocket для реал-тайм обновлений.

Прикладные сценарии

Мобильный инспектор при отсутствии связи фиксирует фото, параметры и комментарий; запись хранится локально и подписывается ключом устройства; при появлении связи очередь синхронизируется с сервером и логируется.

5.1.3. Безопасность и аудитируемость

Обеспечить контроль за всеми критическими операциями, их авторизацию, неизменяемое логирование и возможность расследования инцидентов.

Политики и механизмы

Ролевой доступ (RBAC) и IAM: строгое разграничение прав; временные права для экстренных операций.

Многофакторная аутентификация (MFA): для всех ролей с критическими правами.

Двухфакторное/двухпользовательское подтверждение (two-person rule): для операций аварийного характера (аварийный сброс, перевод на ручной режим и т. п.).

Неизменяемые логи (WORM / digital signatures): каждое действие логируется с полями: user_id, role, action_type, object_id, prev_state, new_state, timestamp(UTC), session_id, ip, signature. Пример JSON-события:

```
{
  "event": "gate_position_change",
  "user": "operator_23",
  "role": "central_operator",
  "object_id": "hydro_05_gate_2",
  "prev_state": {"position": 10},
  "new_state": {"position": 60},
  "timestamp": "2025-09-17T06:12:45Z",
  "session_id": "sess_abc123",
  "signature": "MEUCIQ...base64..."
}
```

Хранение логов: минимум 5 лет; регулярная архивация и резервирование; целостность проверяется контрольными суммами.

Сертификация и PKI: подпись критических команд с использованием сертификатов организации.

SIEM и мониторинг аномалий: автоматическое оповещение при подозрительных действиях (массовые команды, попытки повторного входа).

Критерии безопасности

Полное покрытие всех критических операций логированием.

Наличие и тестирование процедуры расследования инцидента.

Периодические пентесты и обновления политики доступа.

5.1.4. Интерактивность и прогнозность

Дать оператору не только текущую картину, но и средства моделирования последствий решений и прогнозирования ситуации.

Функциональные элементы

Интерактивные графики и тренды: масштабируемые временные ряды, наложения показателей (уровень и расход), анимация событий.

«Что-если» симуляции: sandbox-режим для проверки последствий изменения режима (пример: «если увеличить сброс на 10% — какие будут уровни через 24, 48, 72 часа?»).

Сценарный менеджер: сохранение и сравнение нескольких сценариев с метриками риска и доверия (confidence).

Автоподсказки и рекомендации: система выдаёт расчётное влияние операции и предупреждает о нарушении лимитов или экологических требований.

Историческое воспроизведение (replay): возможность воспроизвести последовательность событий на выбранный период для разбора инцидента.

Техническая реализация

Модуль моделирования интегрирован с гидрологическими моделями (предсказание притока) и прогнозом погоды; расчёты выполняются на сервере с асинхронной визуализацией.

У каждой прогнозной оценки указывается метрика доверия (например, вероятность в %).

Проверка и приёмка

Набор тест-сценариев «что-если» с верификацией моделей по историческим данным.

Пользовательский контроль над изменением параметров модели и отчёт о допущениях.

5.1.5. Локализация

Обеспечить корректную работу интерфейса на русском и казахском языках, включая юзабилити и правовую семантику.

Технические и организационные требования

Механизм i18n с ICU-форматами: поддержка множественных форм слов, чисел, дат; использование UTF-8.

Переключение языка без потери состояния: язык интерфейса можно менять «на лету» — UI не должен терять контекст (открытые диалоги, формы).

Единый словарь и терминология: перевод терминов согласовывается с отраслевой терминологией; для спорных терминов — показывать параллельно оригинал и перевод.

Юридические и регуляторные тексты: важные уведомления доступны на обоих языках; хранится версия, использованная при операциях (для аудита).

Тестирование качества перевода: лингвистический контроль и проверка на предмет двусмысленности; в интерфейсе избегать длинных фраз, которые ломают верстку.

Форматы чисел и дат: учитываются региональные установки (дробные разделители, порядок дня/месяца).

Приёмка

Покрываемость перевода не менее 100% ключевых UI-строк.

Пользовательские тесты с носителями языка обеих групп.

5.2. Роли пользователей и разграничение прав в цифровых системах водоучёта и водораспределения

Правильное определение ролей пользователей позволяет:

- минимизировать влияние человеческого фактора;
- повысить надёжность функционирования системы;
- обеспечить гибкость управления на разных уровнях (от локального объекта до центрального диспетчерского пункта);

- защитить критическую инфраструктуру от киберугроз.

Ниже представлены ключевые роли пользователей, их полномочия и особенности разграничения доступа.

5.2.1. Оператор объекта (field operator)

Назначение роли: обеспечение контроля за состоянием конкретного гидротехнического сооружения (водохранилище, насосная станция, шлюз, канал) непосредственно на месте.

Полномочия:

Просмотр текущих параметров (уровень воды, расход, положение затворов, давление в трубопроводах и т.п.);

Выполнение ограниченного локального управления — например, при необходимости перевести оборудование в ручной режим или выполнить мелкие корректировки, утверждённые регламентом;

Подтверждение факта обходов и осмотров объекта через мобильное приложение или терминал;

Создание заявок на техническое обслуживание при выявлении неисправностей (с фотофиксацией и комментариями).

Ограничения: оператор не имеет права изменять глобальные настройки системы и лимиты водоподачи. Все его действия фиксируются в журнале событий.

5.2.2. Диспетчер/оператор центра (central operator)

Назначение роли: управление объектами в масштабе бассейна или региона из центрального диспетчерского пункта.

Полномочия:

- полный мониторинг всех объектов в режиме реального времени;

- дистанционное управление гидроузлами, насосными станциями и каналами;

- подтверждение и выполнение критических операций (например, открытие аварийного водосброса, изменение положения затворов на ключевых сооружениях);

- управление тревогами: принятие решений по реакциям на аварийные и предупредительные сигналы, распределение задач между операторами;

- ведение отчётности о действиях, выполненных в его смену.

Ограничения: диспетчер не имеет права изменять алгоритмы распределения воды или вносить изменения в базовые настройки системы — это прерогатива инженеров.

5.2.3. Инженер-гидротехник

Назначение роли: обеспечение корректной работы системы на уровне анализа и прогнозирования.

Полномочия:

Доступ к аналитическим модулям, историческим данным, моделям прогнозирования;

Настройка алгоритмов распределения воды (например, в зависимости от сезонных графиков, лимитов, погодных условий);

Утверждение корректировок в графике подачи и распределения воды;

Проведение анализа эффективности работы системы и подготовка отчётов для руководства.

Ограничения: инженер не имеет прямого доступа к дистанционному управлению затворами и насосами без подтверждения со стороны диспетчера.

5.2.4. ИТ-администратор

Назначение роли: обеспечение бесперебойной работы программной и аппаратной инфраструктуры системы.

Полномочия:

Управление сервисами и базами данных, настройка серверов, каналов связи и облачных хранилищ;

Ведение журналов событий и настройка резервного копирования;
Администрирование пользователей, выдача и отзыв прав доступа через централизованную систему IAM (Identity and Access Management);

Настройка защиты информации и мониторинг киберугроз.

Ограничения: ИТ-администратор не должен иметь возможности выполнять технологические операции (например, открывать затворы или менять лимиты подачи воды). Если по техническим причинам доступ необходим, такие действия допускаются только при применении принципа двух участников (two-person rule).

5.2.5. Абонент/водопользователь

Назначение роли: взаимодействие конечных потребителей воды (фермеров, предприятий, коммунальных служб) с системой в части учёта и планирования водоподачи.

Полномочия:

Просмотр фактических показаний по расходу воды, выполнению лимитов и графикам подачи;

Подача электронных заявок на изменение лимита или времени подачи;

Получение уведомлений о плановых и внеплановых изменениях в работе системы (например, аварийные отключения, корректировка графика).

Ограничения: абонент не имеет доступа к управлению объектами или аналитическим инструментам системы.

5.2.6. Аудиторы и руководство

Назначение роли: обеспечение контроля, прозрачности и подотчётности системы на стратегическом уровне.

Полномочия:

Доступ к агрегированным отчётам по лимитам, балансовым данным, эффективности распределения;

Просмотр журналов событий и логов для проверки правильности работы персонала;

Оценка KPI (ключевых показателей эффективности) системы;

Анализ тенденций и формирование рекомендаций для органов государственного управления.

Ограничения: аудиторы не имеют права вносить изменения в параметры работы системы и выполнять управляющие операции.

Правила разграничения прав

Назначение ролей. Роли и права доступа назначаются уполномоченным лицом (обычно администратором или руководителем подразделения). Используется централизованная система IAM, которая обеспечивает учёт, контроль и аудит всех операций.

Критические действия. Для выполнения критических действий (например, аварийный сброс воды, перевод оборудования в ручной режим) используется принцип двухфакторной аутентификации и двух участников (two-person rule). Это исключает риск ошибочных или преднамеренных действий одного пользователя.

Ограничение сессий. Каждая пользовательская сессия ограничена по времени. При длительной неактивности выполняется автоматический выход из системы, что снижает вероятность несанкционированного доступа при оставленном без присмотра терминале.

Логирование и аудит. Все действия пользователей фиксируются в защищённых журналах событий с указанием даты, времени, имени пользователя, его роли и параметров операции. Логи являются неизменяемыми и используются для аудита.

5.3. Архитектура пользовательского интерфейса: основные экраны и модули

Архитектура пользовательского интерфейса (UI) цифровой системы водоучёта и водораспределения должна обеспечивать многоуровневый доступ, удобство восприятия информации, устойчивость к ошибкам оператора и прозрачность принимаемых решений.

Интерфейс проектируется по принципу модульности: каждый модуль выполняет определённую функцию, но при этом интегрирован в единую систему.

Ключевыми требованиями являются:

- унифицированный дизайн для всех уровней пользователей;
- возможность масштабирования (от локального объекта до всей бассейновой системы);
- наличие адаптированных режимов (десктоп, мобильное приложение, инспекторский режим);
- регламентированная структура экранов, позволяющая избежать информационной перегрузки.

5.3.1. Обзорный (ситуационный) дашборд

Данный экран является точкой входа в систему для операторов центра, инженеров и руководства.

Функциональные элементы:

Карта GIS с объектами — визуализация водохранилищ, гидроузлов, каналов, насосных станций и абонентов. Цветовая кодировка (зелёный — норма, жёлтый — предупреждение, красный — авария) обеспечивает мгновенное восприятие состояния системы.

Индикаторы KPI — агрегированные показатели: объём в водохранилище, суммарный приток и сброс, процент выполнения лимитов.

Блок быстрых действий — подтверждение тревог (acknowledgement), переход в детальный экран объекта, активация уведомлений.

Роль: обеспечивает ситуационную осведомлённость и поддержку принятия решений на стратегическом уровне.

5.3.2. Детальный экран объекта (водохранилище / гидроузел / канал)

Предназначен для оперативного управления и анализа состояния конкретного объекта.

Функции:

Временные ряды данных — уровень воды, объём, расход, позиция затвора, представленные в динамике.

Текущие значения и прогноз — автоматическое отображение значений с горизонтами прогноза 24–72 часа, основанными на гидрологических моделях и метеоданных.

История команд — журнал действий (кто, что и когда изменял), что обеспечивает прозрачность и аудит.

Управление — дистанционное позиционирование затворов и насосов (только для авторизованных ролей), с обязательным подтверждением и ограничениями по диапазону.

Роль: обеспечивает оперативный контроль и вмешательство на уровне конкретного гидротехнического узла.

5.3.3. Управление тревогами и инцидентами

Отдельный модуль, ориентированный на работу с нештатными ситуациями.

Особенности:

Сортировка событий по приоритету — позволяет концентрировать внимание на критических инцидентах.

Контекст инцидента — отображение связанных объектов (например, авария на канале, влияющая на уровень в водохранилище).

Журнал действий — фиксация последовательности реакций оператора.

Шаблоны реагирования — встроенные сценарии действий при типовых авариях.

Оповещение — аудиосигналы, цветовые индикаторы, мобильные push-уведомления.

Роль: обеспечивает устойчивость системы к кризисным ситуациям, минимизируя задержки в принятии решений.

5.3.4. Отчёты и аналитика

Данный модуль служит инструментом анализа и планирования.

Функции:

- автоматическая генерация суточных, декадных и месячных балансов;
- формирование отчётов «план/факт», включая выявление расхождений и несанкционированных отборов;
- проведение водных аудитов на уровне системы и отдельных абонентов;
- экспорт данных в стандартизированные форматы (CSV, JSON, XML) для интеграции с внешними информационными системами.

Роль: обеспечивает прозрачность водопользования и возможность принятия стратегических решений руководством.

5.3.5. Модуль заявок и планирования подачи

Основной канал взаимодействия с абонентами.

Функции:

- подача электронных заявок на забор воды;
- согласование и утверждение лимитов;
- построение графика подачи с привязкой к календарю и карте;
- контроль выполнения заявок и корректировка планов.

Роль: обеспечивает прямую интеграцию водопользователей в цифровой процесс, снижая бумажный документооборот и ускоряя согласования.

5.3.6. Мобильное приложение / инспекторский режим

Адаптированный интерфейс для персонала на местах.

Функции:

- обзор ближайших объектов с актуальным состоянием;
- проведение обходов и осмотров с загрузкой фотографий;
- заполнение контрольных чек-листов;
- работа в офлайн-режиме с последующей синхронизацией.

Роль: обеспечивает непрерывный сбор данных с полей и сокращает время реакции на локальные проблемы.

5.3.7. Режим тренажёра / симуляции

Модуль предназначен для обучения операторов и отработки аварийных сценариев.

Функции:

- симуляция стандартных и нештатных ситуаций в «песочнице»;
- возможность имитации внешних факторов (паводок, засуха, аварийный сброс);
- поддержка AR/VR-режимов (по необходимости) для визуализации сложных процессов.

Роль: обеспечивает повышение квалификации персонала и готовность к чрезвычайным ситуациям.

5.4. Правила визуализации и эргономика

Эффективность интерфейса пользователя в цифровых системах водоучёта и водораспределения во многом определяется тем, насколько грамотно реализованы принципы визуализации и эргономики. Интерфейс должен быть не только функциональным, но и интуитивно понятным, обеспечивать высокую скорость восприятия информации, снижать вероятность ошибок и учитывать физиологические особенности восприятия человека.

5.4.1. Цветовая система и индикация

Цвета являются главным средством быстрой идентификации состояния объекта или параметра. Однако использование цветовой палитры должно быть строго регламентировано, чтобы избежать перегрузки интерфейса и противоречивого восприятия.

Нормальный режим (зелёный). Все показатели в пределах допустимых значений подсвечиваются зелёным цветом. Он должен использоваться как «базовый» индикатор нормального состояния, не требующего вмешательства.

Предупреждение (жёлтый). Жёлтый цвет используется при отклонениях, которые ещё не критичны, но требуют внимания оператора (например, уровень воды близок к предельно допустимому значению или расход отклоняется от плана на 5–10%).

Авария (красный). Красный цвет применяется исключительно для отображения аварийных и критических ситуаций, когда требуется немедленное вмешательство персонала (например, превышение предельного уровня, отказ датчика, несанкционированное открытие затвора). Использование красного для менее значимых событий запрещается, чтобы исключить «замыливание» внимания.

Информация/инструмент (синий). Синий цвет используется для второстепенной информации, справочных данных и элементов управления (например, кнопки вызова отчётов, включение фильтров, переход к архиву данных).

Для повышения доступности интерфейса необходимо использовать палитру, учитывающую особенности восприятия у людей с дальтонизмом. Это достигается комбинацией цветов с различной яркостью, фактурой и дополнительной текстовой/графической маркировкой (например, сочетание цветового фона с пиктограммой).

5.4.2. Шрифты и читаемость

Читаемость текста и числовых значений играет ключевую роль в условиях работы диспетчера или оператора, особенно в ситуациях, требующих мгновенного реагирования.

Минимальный размер шрифта для числовых значений: на стационарных дисплеях — не менее 16 px, на мобильных устройствах — не менее 14 px. Это позволяет различать данные без дополнительного напряжения зрения.

Использование моноширинных шрифтов для временных рядов, журналов событий и логов необходимо, так как выравненные по вертикали символы упрощают анализ последовательностей и обнаружение аномалий.

Ограничение количества гарнитур. В интерфейсе допускается не более двух типов шрифтов: основной (для текстов и чисел) и вспомогательный (для заголовков, индикаторов). Это обеспечивает единообразие и снижает когнитивную нагрузку.

Контрастность. Цвет текста должен контрастировать с фоном (например, чёрный текст на белом фоне или белый текст на тёмно-сером фоне), при этом недопустимо использование сочетаний с низкой читаемостью (жёлтый на белом, серый на сером).

5.4.3. Компоненты интерфейса

Функциональные элементы интерфейса должны быть организованы так, чтобы пользователь мог быстро находить и интерпретировать ключевую информацию.

KPI-карты (Key Performance Indicators). На дашборде должны отображаться карты с ключевыми показателями: уровень воды, расход, приток/сброс, степень выполнения лимита. Каждая карта обязана содержать обозначение единиц измерения (м³/с, млн м³ и т.п.), а также всплывающую подсказку с методикой расчёта показателя.

Интерактивные графики. Графическая визуализация должна позволять пользователю:

- выбирать временной интервал (час, сутки, декада, месяц),
- накладывать несколько параметров для сравнения (например, уровень воды и расход),
- масштабировать и прокручивать данные,
- воспроизводить исторические события («режим симуляции»), что особенно важно для анализа аварийных ситуаций.

Карта (GIS). Геоинформационный модуль должен обеспечивать:

- кластеризацию точек при большом числе объектов (например, пикетаж канала),
- цветовую кодировку состояния объектов,
- возможность выбора объекта и перехода к его детальному экрану,
- интеграцию с цифровыми планами гидротехнических сооружений.

Таким образом, компоненты должны работать в комплексе: карта показывает общее состояние системы, графики позволяют проанализировать динамику, KPI-карты дают сводную информацию, а журналы событий фиксируют детали.

5.4.4. Поведение при слабой связи

В условиях эксплуатации в отдалённых районах возможны перебои связи. Интерфейс должен предусматривать механизмы, обеспечивающие корректную работу даже при ограниченной или отсутствующей передаче данных.

Отображение статуса соединения. На экране пользователя должен присутствовать явный индикатор состояния сети (online / offline). Это позволит оператору понимать, актуальны ли отображаемые данные.

Отображение времени последнего обновления. При переходе в режим offline данные должны сопровождаться меткой времени, чтобы избежать их интерпретации как «текущих».

Ограничение критических операций. При отсутствии связи интерфейс обязан блокировать выполнение дистанционных операций (например, открытие затвора), чтобы исключить риск неконтролируемого состояния.

Локальный офлайн-журнал. Все действия пользователя при отсутствии связи должны сохраняться в локальный буфер и синхронизироваться с центральной системой после восстановления соединения.

Тайм-ауты и выход из сессии. Для повышения безопасности интерфейс должен автоматически завершать сессию при неактивности пользователя в течение установленного времени (например, 15 минут), чтобы исключить несанкционированный доступ.

5.5. Управление операциями и подтверждения

5.5.1. Цель и общая постановка задачи

Целью регламента управления операциями и подтверждений является обеспечение безопасного, трассируемого и отказоустойчивого исполнения дистанционных и локальных команд управления (от одиночных корректировок до аварийных операций), минимизация человеческих ошибок и обеспечение возможности быстрого восстановления допустимого состояния системы при ошибочных или нежелательных действиях. Политика охватывает: классификацию операций по критичности, механизмы подтверждения, алгоритмы исполнения и отката, а также поведение при отказах связи и аппаратуры.

5.5.2. Классификация операций по уровню критичности

Для корректного применения подтверждений операции делятся на классы:

Критические (P1): аварийный сброс, принудительное изменение лимитов на крупные объёмы (> заранее заданного порога), перевод насосного агрегата в аварийный режим, перевод гидроузла в ручное/аварийное управление. Требуют строгой схемы подтверждений и расширенного аудита.

Высокие (P2): изменение параметров, влияющих на устойчивость режима (существенное изменение положения затвора, долгосрочная корректировка подачи). Могут требовать двухподписи в зависимости от масштаба.

Стандартные (P3): рутинные операции (регулировка в пределах заранее установленных шагов, подтверждённые дневные графики).

Информационные (P4): только чтение данных, запуск отчётов, справочные операции.

Классификацию и пороговые значения следует задавать в регламенте предприятия и настраивать в системе.

5.5.3. Политика подтверждений (authorization workflow)

5.5.3.1. Правила подтверждений

Критические операции (P1): двухэтапное подтверждение (two-person rule):

Инициатор — формирует команду, указывает обязательные параметры: причина (из списка кодов причин), ожидаемый эффект, оценка рисков и желаемое время исполнения.

Подтверждающий — инженер/старший диспетчер подтверждает причину и даёт вторую подпись. Подтверждать может только сотрудник другой роли/уровня (чтобы обеспечить разделение обязанностей).

Обычные операции (P3): одноступенчатое подтверждение инициатором с обязательной фиксацией причины и логированием.

Экстренный/аварийный режим: допускается оперативный единоразовый выполняющий переход в ручной режим на объекте (локальное вмешательство) без дистанционного двухподписи; при этом система должна немедленно требовать постфактум регистрации операции и инициировать обязательный инцидент-репорт и последующий разбор.

5.5.3.2. Реализация подписей

Подписи должны быть некоррелируемыми и криптографически подтверждёнными (PKI): каждое подтверждение подписывается сертификатом пользователя или HSM, либо применяется цифровая подпись/токен MFA. Система хранит подписи вместе с логом операции.

Для мобильных приложений и веб-интерфейсов — обязательна многокомпонентная аутентификация (пароль + OTP or hardware token).

5.5.3.3. Стандартизованные причины и формы

Причина команды заполняется по каталогу (код причины) — это уменьшает неоднозначность и облегчает последующий анализ. Допускается краткое текстовое пояснение (до N символов) и загрузка подтверждающих материалов (фото, расчёты).

5.5.4. Процесс исполнения команды (sequence of events)

Стандартная последовательность:

Инициирование (UI): пользователь формирует команду, система генерирует уникальный идентификатор команды (command_id) и сохраняет pre-state snapshot (параметры до выполнения).

Подтверждение (если требуется): второй пользователь подписывает команду. Обе подписи фиксируются в журнале.

Верификация условий: система проверяет предусловия исполнения (состояние связи, состояние устройства, отсутствие блокировок безопасности, согласованность лимитов).

Отправка на исполнитель: команда отправляется контроллеру/PLC/RTU с номером последовательности и требованием подтверждения получения.

Acknowledgement (ACK): контроллер возвращает ACK в регламентированный срок (ack_timeout). Если ACK не получено — политика повторов.

Исполнение: контроллер выполняет операцию, отправляет промежуточный статус и окончательный результат; система записывает post-state snapshot.

Мониторинг пост-эффекта: в течение наблюдаемого окна система контролирует изменения сенсоров (устойчивость значений в границах ожидания).

Финализация: операция помечается как успешная/частично успешная/неудачная; уведомления отправлены ответственным лицам; лог неизменяемо сохранён.

5.5.5. Откат (rollback): концепция и реализация

5.5.5.1. Понятие и назначение

Rollback — механизм возврата системы в предшествующее состояние после ошибочной или нежелательной операции. Откат допустим только тогда, когда физическое состояние объекта и гидродинамические условия позволяют безопасно и технически осуществить возврат.

5.5.5.2. Условия и пред-проверки отката

Откат возможен только при соблюдении всех условий:

Наличие pre-state snapshot (полный снимок параметров и позиций исполнительных устройств) и идентификатор команды.

Изменения по сенсорам с момента операции не превысили допустимые пороги (например, объём протока через шлюз < V_threshold, изменение уровня < h_threshold).

Отсутствие сопутствующих операций, нарушающих консистентность (например, если после открытия затвора началось электрическое отключение насосов в соседнем секторе).

Команда на откат должна подпадать под соответствующую политику подтверждений (для критического отката — двухподпись).

5.5.5.3. Техническая реализация

Снимки состояния (snapshots): до выполнения критичной команды система автоматически сохраняет pre-state, включающий: позиции исполнителей, текущие значения уровня/расхода/давления, конфигурационные параметры, timestamp и цифровую подпись снимка.

Механизм отката: контроллер должен поддерживать обратимые команды (т.е. исполнительное устройство может быть возвращено в исходное положение партиями и контролируемо). Для этого PLC/актуатор реализует команды «выполнить обратную траекторию» с проверкой позитивности.

Окно отката: по умолчанию 5–15 минут (конфигурируемое), в течение которого система разрешает автоматический откат при выполнении условий. По истечении окна откат допускается только через ручной инцидент-процесс и более жёсткую процедуру подтверждения.

Алгоритм отката:

- Проверка предусловий (см. выше).
- Инициирование обратной команды с новым command_id и ссылкой на исходную операцию.
- Контроллер выполняет обратную операцию; мониторинг пост-эффекта и сравнение с pre-state.
- Фиксация результата отката, уведомление и хранение в журнале.

5.5.5.4. Ограничения отката

Если после операции прошло время, достаточное для существенного перемещения воды или изменения других системных параметров (например, поток перешёл в соседний бассейн), автоматический откат запрещён — только ручное восстановление с инженерным анализом.

Откат не должен нарушать экологические требования (автоматический возврат, который приведёт к снижению экологического стока ниже допустимого уровня — запрещён).

При физических повреждениях оборудования (например, при застревании затвора) откат запрещён и иницируется аварийная процедура.

5.5.6. Тайм-ауты, повторы и поведение при отказах (failure modes)

5.5.6.1. Параметры тайм-аутов (рекомендуемые значения)

ack_timeout (подтверждение получения команды контроллером): 5–30 с в зависимости от категории оборудования и канала связи. Рекомендуется 10 с как базовое значение.

exec_timeout (время на исполнение команды): зависит от типа исполнительного аппарата; типично от 10 с (малые приводы) до 300 с (большие задвижки). В системе задаются per-device значения.

rollback_window (окно отката): 5–15 мин (конфигурируемое).

retry_count (число автоматических повторов при отсутствии ACK): 2–3 с экспоненциальной задержкой.

5.5.6.2. Поведение при превышении тайм-аутов

Не получен ACK: система помечает команду как UNACKED, иницирует повтор. После исчерпания retry_count — переводит команду в FAILED_TO_SEND, уведомляет оператора и блокирует дальнейшие дистанционные попытки, предлагая локальную проверку.

Не выполнена команда в exec_timeout: команда считается EXECUTION_TIMEOUT; запускается процедура проверок (связь, питание, состояние исполнительного устройства). При невозможности завершить — принудительное переключение в локальный/ручной режим и эскалация к ответственным.

Потеря связи в процессе выполнения: если связь ломается во время исполнения, контроллер продолжает по встроенной логике и ретранслирует состояние при восстановлении связи. Сервер регистрирует последний известный статус и требует сверки при восстановлении.

5.5.6.3. *Fallback в локальный режим*

При отсутствии связи либо при критических ошибках система автоматически переключает контроль на локальный режим объекта (местное управление). Информация об этом событии немедленно логируется и уведомляется центральному диспетчеру. Локальные операторы должны иметь инструкции и полномочия на дальнейшие действия.

5.5.7. *Требования к журналированию (auditing) и непреложности записей*

Каждая операция и каждое подтверждение фиксируются в журнале с обязательными полями:

command_id (UUID)
initiator_id, initiator_role
confirmator_id (при двухподписи)
timestamp (ISO8601 + tz)
target_device_id
command_type, parameters
pre_state_snapshot_id, post_state_snapshot_id
reason_code, reason_text
ack_status, exec_status, result_code
digital_signatures (PEM/base64)
hash_chain (хеш предыдущ записи для целостности, опция — append-only storage / WORM)

Журнал хранится в защищённом хранилище не менее 5 лет, с резервным копированием и возможностью криптографической проверки целостности (HMAC/PKI).

Пример JSON-записи события (упрощённо):

```
{
  "command_id": "a1b2c3d4-e5f6-...",
  "initiator": {"id": "operator_07", "role": "field_operator"},
  "confirmator": {"id": "engineer_02", "role": "senior_engineer"},
  "timestamp": "2025-09-18T11:25:10+05:00",
  "target_device": "sluice_gate_12",
  "command": {"type": "SET_POSITION", "params": {"position_pct": 35}},
  "pre_state": {"position_pct": 10, "flow_m3_s": 2.14, "level_m": 519.62},
  "post_state": {"position_pct": 35, "flow_m3_s": 5.41, "level_m": 519.48},
  "reason_code": "EMERG_FLOOD_MGMT",
  "signatures": ["MIIBIjANBgkq..."],
  "ack_status": "ACK_RECEIVED",
  "exec_status": "SUCCESS",
  "hash": "sha256:..."
}
```

5.5.8. *Организационные и кадровые меры*

Регламенты и инструкции: инструкции по действиям при неудачных командах, процедурам отката, обязанностям при переключении в локальный режим.

Двухфакторность и смены: политика смен, проверки подлинности и периодическая ротация паролей/ключей.

Тренировки: регулярные учения по сценариям отказов и отката, анализ инцидентов и корректирующие мероприятия.

5.5.9. Тестирование и приемка

Набор тестовых сценариев: АСК отказ, exes timeout, потеря связи во время операции, попытка отката после превышения порога, тест двухподписи.

Критерии приёмки: корректность логирования, соответствие тайм-аутов, успешность rollback в пределах окна, корректное переключение на локальный режим.

5.6. Тревоги, приоритеты и SLA реагирования

Эффективная эксплуатация цифровых систем водоучёта и водораспределения невозможна без чётко регламентированного механизма обработки тревожных событий. Тревоги являются ключевым элементом системы, обеспечивающим своевременное выявление отклонений, классификацию их по критичности и организацию управляемого реагирования. Внедрение системы приоритетов и соглашений об уровне обслуживания (Service Level Agreement, SLA) позволяет минимизировать последствия аварий, повысить дисциплину персонала и обеспечить прозрачность работы.

5.6.1. Классификация тревог

Для стандартизации работы операторов тревоги делятся на четыре категории (P1–P4), каждая из которых имеет собственные правила визуализации, реагирования и подтверждения.

5.6.1.1. Критические тревоги (P1)

- превышение уровня в верхнем бьефе выше фпу, создающее угрозу безопасности сооружения.
- неуправляемый сброс или заклинивание затвора.
- резкий приток воды, приводящий к риску затопления нижнего бьефа.
- отказ основного оборудования, влияющий на безопасность гидротехнического объекта.

Регламент реагирования:

- время реакции: немедленно (0–5 минут).
- уведомление: автоматическая генерация индивидуальных звонков ответственным, рассылка sms и push-уведомлений.
- интерфейс: выделение тревоги красным цветом, постоянный звуковой сигнал, блокировка выполнения второстепенных операций до подтверждения.
- действия: диспетчер инициирует аварийный протокол; система требует подтверждения действий двумя пользователями (правило «двух ключей»).

5.6.1.2. Высокие тревоги (P2)

- отклонение фактического водоподачи от плановых лимитов более чем на 15 %.
- существенная утечка воды на канале (обвал, аварийный перелив).
- сбой в работе измерительных приборов, ведущий к потере данных.

Регламент реагирования:

- время реакции: в течение 30–60 минут.
- уведомление: push-уведомления на рабочее место диспетчера и дежурного инженера, sms ответственным.
- интерфейс: индикация тревоги оранжевым цветом, звуковой сигнал средней интенсивности.
- действия: диспетчер фиксирует тревогу, организует проверку, корректирует режим подачи воды или направляет аварийную бригаду.

5.6.1.3. Средние тревоги (P3)

- незначительное отклонение от лимита (до 15 %).
- прогнозное предупреждение о возможном превышении уровня в ближайшие 24 часа.
- недоступность датчика или канала связи менее 30 минут.

Регламент реагирования:

- время реакции: до 24 часов.
- уведомление: отображение в списке уведомлений, push на диспетчерский экран без звукового сигнала.
- интерфейс: жёлтая индикация, возможность сортировки и фильтрации событий.
- действия: диспетчер анализирует ситуацию, планирует корректирующие действия, формирует отчёт о принятых мерах.

5.6.1.4. Информационные тревоги (P4)

- события отчётного характера (смена лимитов, завершение цикла подачи воды, плановое отключение оборудования).
- технические сообщения системы (обновления, тестовые сигналы).

Регламент реагирования:

- время реакции: не требуется (события фиксируются для архива).
- уведомление: запись в журнал и отображение в интерфейсе без активации сигнализации.
- интерфейс: синяя или серая индикация, доступ к фильтрации по дате и типу.
- действия: просмотр и архивирование данных, использование при формировании отчётности.

5.6.2. SLA и подтверждение тревог

Для каждой категории тревог устанавливаются целевые значения SLA, которые определяют допустимое время реагирования и порядок действий персонала.

SLA по категориям:

- *P1 (критические)*: $SLA \leq 5$ минут. Нарушение приводит к немедленной эскалации руководству и фиксации инцидента в отдельном отчёте.
- *P2 (высокие)*: $SLA \leq 1$ час. При превышении срока система автоматически уведомляет старшего инженера и ответственного за объект.
- *P3 (средние)*: $SLA \leq 24$ часов. При невыполнении реагирования тревога эскалируется на уровень руководителя подразделения.
- *P4 (информационные)*: не регламентируются, но фиксируются в журнале событий.

Механизмы подтверждения тревог:

1. *Фиксация получения тревоги*: оператор обязан подтвердить факт ознакомления с тревогой в интерфейсе в течение установленного времени. Подтверждение включает идентификатор пользователя, время и комментарий.
2. *Запись в журнал аудита*: все подтверждения сохраняются в неизменяемой базе данных.
3. *Краткий комментарий*: при подтверждении оператор обязан внести краткую запись (например, «Превышение уровня, затвор 2 открыт на 10 %»). Это обеспечивает трассируемость и прозрачность.
4. *Эскалация при отсутствии подтверждения*: если тревога не подтверждается в пределах SLA, система автоматически переводит событие на более высокий уровень ответственности и дублирует уведомления.

6.6.3. Организационные и технические пояснения

- *приоритет отображения*: критические тревоги имеют высший приоритет и всегда видны на экране независимо от количества менее значимых событий.
- *фильтрация и поиск*: интерфейс должен предоставлять возможность фильтрации тревог по объектам, категориям и времени для упрощения анализа.
- *исторический анализ*: система должна сохранять историю всех тревог для последующего анализа причинно-следственных связей и разработки профилактических мер.
- *обучение персонала*: операторы обязаны проходить регулярное обучение по действиям при возникновении тревог разных категорий, включая отработку сценариев на тренажёре.

5.7. Протоколирование и аудит — развёрнутая спецификация

Надёжное протоколирование и аудит — не вспомогательная, а базовая функциональная потребность любой цифровой SCADA/IoT-платформы водоучёта и водораспределения. Этот раздел содержит технические и организационные требования к журналам событий (audit trail), их структуре, целостности, хранению, обмену, а также процедурам подтверждения и SLA. Описанные положения обеспечивают оперативную трассируемость действий, форензическую пригодность данных, соответствие регуляторным требованиям и кибербезопасность.

5.7.1. Основные требования (обзор)

- *полнота*: каждое взаимодействие с системой (чтение/ запись/ управление/ автоматические события) фиксируется.
- *достоверность*: логи должны быть защищены от модификации (tamper-evident), храниться в неизменяемом виде (write-once / worm или с цифровой подписью).
- *стандартизованный формат*: унифицированные схемы событий (json) с обязательными полями для последующей автоматизированной обработки.
- *длительное хранение*: журналы событий — минимум 5 лет (локально + резервное облачное хранилище); возможность продления при юридическом требовании (legal hold).
- *доступность и поиск*: индексация и быстрый поиск по ключевым полям (event_id, user_id, source_id, timestamp, event_type).
- *интеграция*: передача логов в siem/edr/лог-хранилище по безопасным каналам; возможность экспорта в форматы csv/json/cef.
- *аудит и мониторинг целостности*: периодическая проверка целостности хэшей/подписей, ежедневные отчёты о целостности.

5.7.2. Структура журнала действий (audit trail)

5.7.2.1. Обязательные поля записи

Каждая запись должна содержать минимум следующие поля:

event_id — UUID v4 уникальный идентификатор события.

timestamp — время события в формате ISO-8601 с указанием часового пояса, например: 2025-09-18T13:45:30+05:00.

source_id — идентификатор источника события (идентификатор датчика, контроллера, объект-id).

user_id — идентификатор пользователя/сервиса, инициировавшего событие (если событие автоматическое — указывается system или service account).

role — роль пользователя (operator, dispatcher, engineer, admin, inspector, subscriber).

event_type — тип события (command, read, alert, ack, config_change, login, logout, system_health и т.д.).

action — краткое текстовое описание действия (например: open_gate, set_limit, manual_override, upload_reading).

parameters — объект с параметрами операции (например: { "gate_position": 35, "units": "%" }).

result — результат выполнения (success, failure, pending) и код ошибки при наличии.

value и unit — измеряемое значение, если применимо (например при записи расхода).

confidence — доверительная метрика источника данных (0–100%) или уровень достоверности измерения; для ручных измерений указывается lower confidence.

correlation_id — опционально, для связывания связанных событий (транзакция, инцидент).

prev_hash — хеш предыдущей записи журнала в цепочке (см. 7.3).

operation_hash — хеш содержимого текущего события (SHA-256).

signature — цифровая подпись записи (см. 7.3), формат Base64.

5.7.2.2. Пример минимальной записи (JSON)

```
{
  "event_id": "3f7b2f94-8c4d-4b4a-9f1b-0a1e2b3c4d5e",
  "timestamp": "2025-09-18T13:45:30+05:00",
  "source_id": "gate_hydro_12",
  "user_id": "dispatcher_01",
  "role": "dispatcher",
  "event_type": "command",
  "action": "open_gate",
  "parameters": { "target_position": 35, "units": "%"},
  "result": "success",
  "value": null,
  "unit": null,
  "confidence": 98,
  "correlation_id": "incident_20250918_001",
  "prev_hash": "a3f5...9b2c",
  "operation_hash": "d2b4...7e9a",
  "signature": "MEUCIQDj..."
}
```

5.7.3. Целостность и неизменяемость логов

5.7.3.1. Хеширование и цепочка целостности

- каждая запись содержит operation_hash = sha-256(canonicalized_event_body).
- для формирования цепочки добавляется prev_hash = operation_hash(previous_event). Это создаёт tamper-evident цепочку (аналог блок-цепочки) внутри файлового контейнера журнала.
- периодически (например, каждые 5 минут или N-записей) формируется контрольный меркл-хеш и публикуется (см. 7.3.3).

5.7.3.2. Цифровая подпись и PKI

- operation_hash подписывается приватным ключом сервиса/узла (RSA-2048/3072 или ECDSA P-256) — формируется поле signature.
- публичный ключ и сертификат хранится в rki; ключи хранятся в hsm или защищённом ключевом хранилище.
- Подпись обеспечивает не только целостность, но и аутентичность источника события.

5.7.3.3. Временная метка (trusted timestamping)

- для форензической пригодности рекомендуется использование надёжного сервиса временных меток (rfc-3161) либо локального tsa с синхронизацией по gps/ntp с защищённым источником времени.
- временные метки служат подтверждением того, что запись сформирована в указанный момент, и необходимы при разрешении диспутов/судебных споров.

5.7.3.4. WORM / write-once хранение

- для неизменяемости реестр может храниться в worm-совместимом хранилище (append-only) либо в объектном хранилище с политикой «object lock» (immutability).
- альтернативно — хранение с цифровыми подписями и регулярным резервным копированием в независимый архив (cold storage).

5.7.4. Хранение, репликация и резервное копирование

5.7.4.1. Уровни хранения

Hot storage (оперативный): индексированные логи для быстрых запросов (1 мес–6 мес).

Warm storage: сжатые и индексированные записи для отчётов (6 мес–2 года).

Cold/Archive storage: зашифрованные архивы (≥5 лет, индикация legal hold).

5.7.4.2. Репликация и геораспределение

- не менее двух независимых реплик: локальная (на объекте или в цод региона) + облачная (регионы/зоны доступности).
- репликация по модели «write-through» для оперативных записей; контроль целостности после репликации.

5.7.4.3. Резервное копирование и проверка целостности

- регулярные бэкапы (ежедневные инкрементальные, еженедельные полные); тесты восстановления не реже 1 раза в квартал.
- автоматическая проверка контрольных сумм (sha-256) при каждом архивировании; отчёт о проверке доступен аудиторам.

5.7.4.4. Сроки хранения и юридические требования

- минимум 5 лет по методике; при юридическом запросе — перевод соответствующих наборов данных в режим legal hold (блокировка удаления).
- сроки могут быть продлены локальными нормативами/законами (налоги, экология, водное законодательство).

5.7.5. Формат логов и обмен данными

5.7.5.1. Унифицированная JSON-схема (рекомендуемая)

Базовая схема (псевдо-JSON-schema упрощённо):

```
{
  "$schema": "http://json-schema.org/draft-07/schema#",
  "type": "object",
  "required":
  ["event_id", "timestamp", "source_id", "event_type", "operation_hash", "signature"
  ],
  "properties": {
    "event_id": { "type": "string", "format": "uuid" },
    "timestamp": { "type": "string", "format": "date-time" },
    "source_id": { "type": "string" },
    "user_id": { "type": "string" },
    "role": { "type": "string" },
    "event_type": { "type": "string" },
    "action": { "type": "string" },
    "parameters": { "type": "object" },
    "value": {},
    "unit": { "type": "string" },
    "confidence": { "type": "number", "minimum": 0, "maximum": 100 },
    "correlation_id": { "type": "string" },
    "prev_hash": { "type": "string" },
    "operation_hash": { "type": "string" },
    "signature": { "type": "string" }
  }
}
```

5.7.5.2. Обмен и интеграция

Логи экспортируются и шифруются TLS 1.2+/mutual TLS при передаче в SIEM.

Поддержка push (secure HTTP/S, syslog over TLS) и pull (API с пагинацией).

Для больших объёмов — батч-передача в сжатом виде (gzip) с подписью и контрольными суммами.

5.7.6. Классификация событий и SLA

5.7.6.1. Категории событий

- *P1 — Критические:* угроза целостности сооружения, аварии, риск человеческих жертв. Немедленная реакция.
- *P2 — Высокие:* крупные отклонения расходов/уровней (>15–20%), большие утечки. Резервная реакция в течение 30–60 минут.
- *P3 — Средние:* прогнозные предупреждения, мелкие отклонения. Обработка в рабочее время/в пределах 24 часов.
- *P4 — Информационные:* отчёты, системные логи, периодические записи (подлежат архивированию).

5.7.6.2. SLA и интерфейс

Для каждой категории задаются SLA (MTTA/MTTR). Интерфейс диспетчера обязан:

- отображать оставшееся время до нарушения SLA (countdown) рядом с каждой активной тревогой;
- показывать ответственных и их контактные данные;

- автоматически эскалировать событие при отсутствии подтверждения по тайм-ауту (наследуемый список контактов).

В журнале фиксируется время уведомления, время подтверждения (acknowledge), время начала решения и время разрешения.

5.7.7. Подтверждение получения тревоги и рабочий процесс (acknowledgement)

5.7.7.1. Механика подтверждения

- при возникновении тревоги ответственному(ым) отправляются уведомления (dash, sms, push, голосовой звонок).

- ответственный подтверждает получение через интерфейс: ack(user_id, timestamp, comment). Эта запись также логируется, подписывается и включается в цепочку.

5.7.7.2. Обязательные данные подтверждения

- ack_id, event_id, ack_timestamp, user_id, role, comment (причина/оценка), next_actions (кратко).

- если подтверждение отсутствует в пределах SLA → автоматическая эскалация и запись об этом.

5.7.7.3. Комментарии и скриншоты

Все комментарии и загруженные артефакты (фото, видео) хранятся как часть события с own_hash и подписываются.

5.7.8. Логирование доступа и конфиденциальность

- помимо технологических событий необходимо логировать все попытки доступа к журналам (read access), экспорт данных и копирование.

- поля с персональными данными (если присутствуют) должны храниться с шифрованием и иметь маскирование в ui (data minimization).

- доступ к полным логам — только для ролей аудита и администраторов; для обычных пользователей — агрегированные отчёты/сводки.

5.7.9. Инструменты и интеграция (рекомендации)

- Интегрировать логи с SIEM (Splunk/ELK/QRadar) для корреляции событий и обнаружения аномалий.

- Использовать HSM для хранения приватных ключей; PKI для управления сертификатами.

- Для долгосрочного архива — объектное хранилище с поддержкой immutability (WORM), версиями и geo-replication.

5.7.10. Аудит и проверка соответствия

- Плановые независимые аудиты (внутренние и внешние) не реже 1 раза в год.

- Ежемесячные отчёты о целостности логов (количество записей, результаты хеш-проверок, инциденты модификации).

- Тестовые сценарии восстановления и проверки цепочки подписи (должны выполняться минимум ежеквартально).

5.7.11. Forensics и инцидент-респонс

- при инциденте: сохраняется read-only копия текущих логов, фиксируется цепь доступа (who, when, how), назначается ответственный по расследованию.

- для судебно-правовой значимости: timestamped signed logs + отдельное архивирование, контроль доступа, и сохранение копий на независимых носителях.

5.7.12. Примеры практических таблиц (сводка)

Таблица: SLA и действия

Категория	Пример события	SLA подтверждение	SLA реагирования	Эскалация
-----------	----------------	-------------------	------------------	-----------

P1	<i>Угроза перелива дамбы</i>	<i>2 мин</i>	<i>немедленно</i>	<i>диспетчер → главный инженер → аварийные службы</i>
P2	<i>Утечка > 15%</i>	<i>10 мин</i>	<i>30–60 мин</i>	<i>диспетчер → инженер</i>
P3	<i>Отклонение 5–15%</i>	<i>60 мин</i>	<i>24 ч</i>	<i>инженер</i>
P4	<i>Отчёт/лог</i>	<i>—</i>	<i>—</i>	<i>архив/аналитика</i>

5.8. Интерфейс мобильного инспектора — требования

5.8.1. Общие положения

Мобильный интерфейс инспектора является ключевым инструментом для полевых работников, осуществляющих мониторинг гидротехнических сооружений, каналов и водохозяйственных объектов. Основная задача интерфейса — обеспечить удобное и надёжное средство внесения информации «на месте», интегрированное с центральной системой водоучёта и водораспределения.

В отличие от стационарных интерфейсов диспетчера или инженера, интерфейс инспектора должен быть предельно простым, интуитивным и устойчивым к нестабильным условиям эксплуатации (отсутствие связи, высокая освещённость, работа при отрицательных температурах).

5.8.2. Функциональные требования

5.8.2.1 Автоматический список обходов по геолокации.

Приложение должно определять местоположение инспектора с помощью GPS/ГЛОНАСС и автоматически формировать список ближайших объектов для осмотра.

Список обновляется динамически: при приближении к объекту система предлагает его проверку и фиксирует посещение.

В случае отсутствия сигнала GPS должна использоваться кэшированная карта с отметками объектов.

5.8.2.2. Подтверждение обхода с фотофиксацией.

Для подтверждения факта обхода инспектор должен сделать фото объекта.

Приложение должно автоматически проставлять метаданные: дата, время, геопозиция, ФИО инспектора.

Фото хранится локально и синхронизируется с сервером при появлении сети.

5.8.2.3. Внесение наблюдений и параметров.

Встроенные формы для записи состояния затворов, наличия течей, повреждений, заилиения и прочих параметров.

Возможность добавления текстовых комментариев, голосовых заметок и фото/видео.

Использование предустановленных справочников (например: «затвор открыт/закрыт/частично», «утечка: нет/незначительная/сильная»). Это сокращает время ввода и исключает разночтения.

5.8.2.4. Работа офлайн и синхронизация.

Все данные должны сохраняться в локальной базе приложения.

При восстановлении интернет-соединения данные автоматически синхронизируются с центральной системой.

В интерфейсе должен быть индикатор состояния синхронизации (например: зелёный — все данные переданы; жёлтый — ожидает синхронизации).

5.8.2.5. Уведомления о ближайших тревогах.

При приближении к объекту с активной тревогой система должна автоматически уведомлять инспектора.

Уведомления должны быть мультимодальными: push, звуковой сигнал, вибрация.

В уведомлении указывается тип тревоги (например, «перелив», «отказ датчика»), время её возникновения и требуемое действие.

5.8.2.6. Простая форма подачи заявок на техобслуживание.

Инспектор может создать заявку на ремонт прямо с объекта.

Форма должна включать: описание неисправности, фото, приоритет, объект.

При отправке заявка автоматически маршрутизируется диспетчеру и фиксируется в системе.

5.8.3. Требования к пользовательскому интерфейсу (UI)

5.8.3.1. Простые и крупные элементы управления.

Кнопки и поля ввода должны быть адаптированы для работы в перчатках и на солнце.

Минимальный размер кнопки — 12–15 мм на экране.

5.8.3.2. Минимизация текстового ввода.

Основные формы должны использовать выпадающие списки, чек-боксы и радиокнопки.

Текстовые поля применяются только для комментариев.

Для ускорения работы рекомендуется поддержка голосового ввода.

5.8.3.3. Формы с предзаполнением.

При выборе объекта форма автоматически заполняется базовыми параметрами (название, код, координаты).

Инспектору остаётся отметить только изменения или отклонения.

5.8.3.4. Цветовая и иконографическая система.

Состояние объектов отображается цветами: зелёный — норма, жёлтый — предупреждение, красный — авария.

Для повышения доступности цвета должны дублироваться пиктограммами.

5.8.3.5. Устойчивость к условиям эксплуатации.

Интерфейс должен быть читаем при ярком солнце и работать при слабом сигнале.

Вся информация должна сохраняться локально даже при внезапном завершении работы приложения или отключении питания устройства.

5.8.4. Организационные пояснения

- *Роль в системе:* интерфейс инспектора является связующим звеном между полевым уровнем и диспетчерским центром, обеспечивая достоверность данных «с земли».

- *Обеспечение контроля:* фиксация геолокации и фото подтверждает реальное выполнение обхода и дисциплинирует персонал.

- *Снижение времени реакции:* наличие уведомлений и возможности подачи заявок напрямую из поля ускоряет устранение неисправностей.

- *Повышение прозрачности:* данные от инспекторов синхронизируются с центральной системой и доступны руководству, что исключает субъективность и искажения.

5.9. Тестирование, внедрение и обучение

5.9.1. Общий подход

Цель раздела — обеспечить, чтобы пользовательский интерфейс (UI/HMI), интеграционная логика SCADA/IoT-платформы и сопутствующие сервисы были надёжны, эргономичны и безопасны в условиях реальной эксплуатации гидротехнических объектов. Достичь этого можно через многоуровневое тестирование (функциональное, нагрузочное, отказоустойчивое, безопасность), поэтапное внедрение и систему подготовки персонала с последующей сертификацией и регулярной практикой.

Подход — «shift left» + «stage gated»: тестирование начинается в лаборатории разработчика и на ранних этапах проекта (unit/integration), продолжается в стенде (system), затем — в пилоте на реальном объекте (UAT/SAT), и только после успешного выполнения критериев принимается к промышленной эксплуатации.

5.9.2. Архитектура тестовой среды и уровни тестирования

Лабораторная среда (Dev/Test)

- Используется для unit- и integration-тестирования модулей UI, API, контроллеров.
- Имитируются каналы телеметрии (симуляторы датчиков), эмуляция ошибок.

Стейджинг (pre-production/staging)

- Полный стек: контроллеры → телеметрия → серверы → SCADA → UI.

- Используется для system testing, регрессионного тестирования и нагрузочного тестирования.

Пилотная площадка (Site pilot / sandbox на объекте)

- Ограниченный реальный участок (1–3 гидроузла / участок канала).
- Проводятся UAT (User Acceptance Testing), failover-тесты в условиях реального канала связи.

Производственная среда (production)

- Поэтапный ввод в эксплуатацию после успешной приёмки и обучения персонала.

5.9.3. Комплекс тестов — методика и примеры

5.9.3.1. Функциональное тестирование

Цель — проверить корректность бизнес-логики UI и API.

Примеры тест-кейсов:

- Отображение текущих значений уровня/расхода при поступлении новых данных.

Управление затвором: отправка команды → подтверждение исполнения → отражение положения в интерфейсе и журнале.

Создание, обработка и закрытие инцидента (тревоги): от появления сигнала до закрытия с детальной записью действий.

Экспорт отчётов (CSV/JSON/XML) и проверка корректности полей.

Критерии успешности: все заявленные сценарии выполняются без ошибок; данные в UI совпадают с источником (контроллер/симулятор).

5.9.3.2. Юзабилити-тестирование (usability testing)

Цель — минимизация ошибок оператора, проверка эргономики и логики экранов.

- Набор реальных операторов (3–6 человек) выполняет заранее подготовленные сценарии: авария, смена режима, обход, отключение связи.

- Проводится «think aloud» — оператор озвучивает действия; фиксируются точки замешательства, задержки, ошибки.

- Сбор метрик: время на выполнение задачи, число кликов, количество возвратов на предыдущие шаги, субъективная оценка удобства (по шкале 1–5).

Примеры сценариев:

- Сценарий «Авария»: подать искусственную P1-тревогу, оценить, как быстро оператор её видит, подтверждает и инициирует ответную команду.

- Сценарий «Отключение связи»: проверить, как интерфейс информирует об offline-данных и как оператор действует далее.

KPI: время обнаружения тревоги (MTTA), время принятия решения, количество ошибок ввода.

5.9.3.3. Нагрузочное (load & stress) тестирование

Цель — определить поведение UI и серверной части при ожидаемых и пиковых нагрузках.

Подготовка:

- Определить целевые сценарии: число одновременных операторских сессий, число внешних пользователей/абонентов, частота запросов API на исторические данные, нагрузка на базу данных (запись телеметрии).

- Рекомендация: тестировать при нагрузке 1×, 1.5× и 2× ожидаемого пикового уровня.

Пороги:

- Время отклика UI на основные операции (открыть детальный экран) — < 2 с при нормальной нагрузке; < 5 с при пиковом.

- Время обработки критического события (от поступления сигнала до отображения) — < 5 с для Class A (критических) сигналов; < 60 с для регулярных показателей.

- Уровень ошибок API — <0.1% при нормальной, <1% при пиковом тесте.

Инструменты: JMeter/Locust (для симуляции HTTP/API), сценарии пользовательских взаимодействий. (Примечание: выбрать инструмент исходя из ИТ-политики заказчика).

5.9.3.4. Тестирование отказоустойчивости (failover / resilience)

Цель — проверить поведение системы при отказах: потеря связи, выключение узлов, отказ БД.

Сценарии:

- Потеря соединения между контроллером и сервером: проверить, как UI показывает stale-данные, как ведётся лог офлайн-команд, синхронизация после восстановления.

- Отказ основной БД → переключение на реплику: проверка RTO/RPO.

- Обрыв канала связи диспетчерского центра: переключение на резервный канал (GSM ↔ спутник).

Критерии:

- Время переключения (RTO) для критических сервисов — ≤ 5 мин (целевой показатель, согласовать с SLA).

- Потеря данных (RPO) — не более допустимого окна (например, ≤ 1 мин для Class A сигналов, ≤ 15 мин для регулярных пакетов).

- Корректная обработка конфликтов при синхронизации (без дублирования команд).

5.9.3.5. Безопасность (security) и совместимость (compatibility)

- Penetration testing (внешний аудит, включая тесты на XSS, CSRF, SQL-инъекции для веб-части).

- Тестирование аутентификации (MFA), разграничения прав и устойчивости к брут-форсу.

- Проверка совместимости браузеров и мобильных ОС, работа в разных разрешениях и при слабой связи.

5.9.4. Критерии приёмки (Acceptance criteria)

Ключевые критерии для перехода от пилота к промышленной эксплуатации:

- *Функциональность*: 100% базовых сценариев UI успешно пройдены; высокие-приоритетные баги устранены.

- *Корректность данных*: расхождение значений показаний в UI и источнике ≤ погрешности измерительного прибора (например, ≤ ±5% для расходомеров); целостность исторических записей подтверждена.

- *Латентность*: требования по latency выполнены для всех классов сигналов (Class A/B/C).

- *Нагрузочная устойчивость*: система выдерживает целевую пиковую нагрузку (1.5–2×) с допустимыми отклонениями KPI.

- *Отказоустойчивость*: RTO и RPO в пределах согласованных SLA; успешное прохождение failover-сценариев.

- *Юзабилити*: среднее время выполнения типовой операции и количество ошибок не больше порога, утверждённого заказчиком; положительная оценка от ≥ 80% тестировавших операторов.

- *Безопасность*: устранён критический findings от pentest; политики аутентификации и логирования реализованы.

- *Документация*: полные эксплуатационные и руководящие материалы, инструкции и чек-листы доступны и приняты.

Документ приёмки подписывается представителями сторон: заказчиком (оперативное руководство), ИТ-службой, инженером проекта и поставщиком.

5.9.5. План внедрения и поэтапный roll-out

Рекомендуемый цикл ввода в эксплуатацию:

- *Разработка и внутреннее тестирование (FAT — Factory Acceptance Test)*

Программная проверка, внутренние тесты производителя, демонстрация функционала.

- *Инсталляция и стейджинг (SAT — Site Acceptance Test)*

Развёртывание на пилотном участке, интеграция с реальными контроллерами.

- *Пилот (Pilot operation, 3–6 месяцев)*

Наблюдение за KPI, доработка под реальные процессы, обучение пользователей.

Критерии перехода: стабильность 30 суток по ключевым показателям.

- *Фазовый масштабируемый развёртывание*

По заранее утверждённому плану зон/участков (фаза 1, фаза 2 ...). После каждой фазы — приёмка и обучение.

- *Полная эксплуатация и поддержка*

Передача в эксплуатацию, SLA на ПО/оборудование, план обслуживания.

Для каждого этапа оформляется протокол с результатами тестов, списком замечаний и планом устранения (backlog).

5.9.6. Обучение персонала: программа, формы и сертификация

5.9.6.1. Общие принципы обучения

Обучение должно обеспечивать, чтобы персонал мог: корректно интерпретировать данные, безопасно выполнять операции, реагировать на аварии и вести необходимые записи. Обучение делится на теоретическую (концепция, методика, регламенты) и практическую (работа с UI, тренажёры, полевые обходы).

5.9.6.2. Целевая аудитория и рекомендованная программа

Операторы смены (field / central operators)

Длительность: 40 ч (теория 16 ч, практика 24 ч).

Темы: основы SCADA/HMI, оперативные регламенты, работа с тревогами, подтверждения/журналы, основы кибергигиены, чек-листы обходов, практика в тренажёре.

Оценка: практический экзамен в тренажёре + тест (порог 80%).

Инженеры-гидротехники / технологи

Длительность: 80 ч (теория 40 ч, практика 40 ч).

Темы: аналитика данных, корректировка алгоритмов распределения, гидравлическое моделирование, анализ отклонений, приёмка данных, участие в UAT.

Оценка: защита кейса + тест.

ИТ-персонал / администраторы

Длительность: 40–60 ч.

Темы: администрирование SCADA/IoT, бэкапы, восстановление, безопасность, обновления, мониторинг.

Оценка: практические задания по восстановлению/обновлению.

Руководство и аудиторы

Длительность: 8–16 ч (кратко о KPI, отчётности, регламентах).

5.9.6.3. Тренажёры, симуляторы и практические занятия

Sandbox / симулятор: обязательная составляющая — тренажёрный стенд, имитирующий аварии, потерю связи, ложные сигналы, работу по регламенту.

Field practice: выездные занятия на объекте: проверка датчиков, визуальная инспекция, отработка ручных операций и процедур аварийного перехода.

AR/VR (опционально): для отработки сценариев в безопасной среде — эффективен для процедур с высоким риском.

5.9.6.4. Чек-листы и методические материалы

Чек-лист предсменной проверки (пример): проверка связи, состояние датчиков, заряд АКБ, актуальность карт, последние тревоги.

Чек-лист обхода: визуальная оценка створа, фотофиксация, отметка в приложении.

Инцидент-репорт: шаблон с полями: время, тип, действия, ответственные, причины, корректирующие мероприятия.

5.9.6.5. Сертификация и поддержание квалификации

- Первичная сертификация: после курса и практики — выдача сертификата действителен 3 года.

- Поддержание квалификации: ежегодные курсы повышения (16 ч) + разбор инцидентов.

- Реквалификация при существенных изменениях системы или после инцидента.

5.9.7. Регулярные учения, разбор инцидентов и улучшение компетенций

План регулярных учений

Малые тренировки (tabletop exercises) — ежеквартально.

Полноценные учения с переключением в резерв/аварийное управление — 1–2 раза в год.

Разбор инцидентов (post-mortem)

После каждого значимого инцидента проводится формализованный разбор: собрать логи, стенограммы действий операторов, временные метки, причины и корректирующие меры.

Результаты оформляются в отчёт и вносятся в программу обучения.

Метрики эффективности обучения

- Процент успешно пройденных практических экзаменов.

- Снижение числа ошибок оператора по журналам.

- Время реакции на P1 события (MTTA, MTTR) до/после тренингов.

5.9.8. Роли и ответственность при тестировании и внедрении

- *Поставщик/разработчик:* отвечает за unit, integration, предоставление тестовых стендов, сопровождение на этапе SAT/Pilot.

- *IT-служба заказчика:* разворачивание стейджинга, выполнение нагрузочных тестов с участием инфраструктуры заказчика, мониторинг логов.

- *Оперативное подразделение:* проведение юзабилити-тестов, UAT, обучение операторов.

- *Комиссия по приёмке:* представители заказчика, инженеры, ИТ и внешняя экспертиза (при необходимости).

5.9.9. Документация по результатам тестирования и приёмке

- *Test Plan:* перечень тестов, критерии, сценарии, ожидаемые результаты.

- *Test Report:* итоги проведения тестов, обнаруженные дефекты, приоритеты и статус исправления.

- *Acceptance Protocol:* формализованный акт приёмки с подписями сторон.

- *Training Records:* списки обученных, результаты экзаменов, сертификаты.

- *Incident Logs:* журналы инцидентов с анализом и корректирующими действиями.

5.9.10. Контроль качества в эксплуатации (post-deployment monitoring)

После приёмки должна быть организована непрерывная система мониторинга:

- авто-отчёты KPI (ежедневно/еженедельно);

- мониторинг логов безопасности (SIEM);

- план регулярных регрессионных тестов при обновлениях (каждый релиз);

- периодические аудиты интерфейса и обучения (раз в год).

5.10. Безопасность интерфейса (кибергигиена)

Цифровые системы водоучёта и водораспределения функционируют в условиях высокой критичности — любые сбои или несанкционированные вмешательства могут привести к потере контроля над гидротехническими сооружениями, угрозе безопасности населения и экологическим последствиям. Поэтому кибербезопасность пользовательского интерфейса (UI/HMI) должна рассматриваться как часть технологической надёжности.

Основной задачей является защита данных, действий и каналов связи при обеспечении удобства и предсказуемости работы для пользователей.

5.10.1. Защищённые коммуникации и управление сертификатами

Передача данных между сенсорами, серверами и интерфейсом пользователя должна выполняться исключительно по защищённым каналам. Применение протокола TLS (Transport Layer Security) обеспечивает шифрование трафика и предотвращает перехват или подмену информации. Для каждого узла системы формируются уникальные сертификаты, которые подлежат регулярной ротации и централизованному управлению.

Регламент должен предусматривать:

- минимальный срок действия сертификата (например, 12 месяцев),
- процедуры автоматического продления и замены,
- мониторинг действительности сертификатов с уведомлением при приближении срока окончания.

Это гарантирует, что данные об уровнях воды, командах управления затворами и отчётах не могут быть перехвачены или искажены.

5.10.2. Регламенты обновления ПО и патчей

Своевременное обновление операционных систем, SCADA-платформ, мобильных приложений и библиотек безопасности является важным условием защиты. Отсутствие патчей делает систему уязвимой для известных эксплойтов.

Рекомендуется внедрить:

- централизованную систему управления обновлениями,
- плановые окна обновлений (например, ежемесячно для офисных систем и ежеквартально для критических узлов),
- предварительное тестирование патчей на стенде перед установкой в продуктивную среду,
- обязательный отчёт об актуальности версий для каждой подсистемы.

5.10.3. Многофакторная аутентификация (MFA) и контроль устройств

Для критических ролей (диспетчер, инженер, администратор) необходимо использовать многофакторную аутентификацию (MFA) — сочетание пароля, токена (SMS/мобильное приложение) и биометрии. Это существенно снижает риск компрометации учётной записи.

Для мобильных приложений должна использоваться система MDM (Mobile Device Management), которая обеспечивает:

- регистрацию и контроль используемых устройств,
- возможность удалённой блокировки и стирания данных при утере,
- проверку на соответствие политике безопасности (например, запрет работы на взломанных устройствах).

5.10.4. Мониторинг аномалий доступа и пентесты

Постоянный контроль событий безопасности достигается через систему SIEM (Security Information and Event Management). Она собирает логи с серверов, сетевых устройств и интерфейсов, анализирует их и выявляет аномалии:

- необычные IP-адреса,
- массовые неудачные попытки входа,
- доступ в нерабочее время,
- попытки запуска неподдерживаемых команд.

Для проверки защищённости необходимо проводить периодические тесты на проникновение (пентесты). Такие испытания позволяют обнаружить уязвимости интерфейса и инфраструктуры до того, как ими воспользуются злоумышленники.

5.10.5. Сегментация сетей (OT и IT)

Водохозяйственная система сочетает операционные технологии (OT) и информационные технологии (IT). Для снижения риска проникновения в технологическую среду извне интерфейс должен работать через чётко разграниченные сегменты сети:

- ОТ-сегмент — датчики, исполнительные механизмы, контроллеры, SCADA;
- IT-сегмент — офисные сети, базы данных, аналитические системы.

Между сегментами настраиваются межсетевые экраны, шлюзы и DMZ-зоны. Таким образом, взлом корпоративной почты или офисного компьютера не приведёт к прямому управлению затворами.

5.10.6. Критерии приёмки системы безопасности

Внедрённая система считается соответствующей требованиям только при выполнении следующих критериев:

Корректность данных — исключение искажений при передаче.

Время обновления (латентность) — данные в интерфейсе поступают в пределах установленного регламента (например, ≤15 секунд для SCADA).

Полнота аудита — все действия пользователей фиксируются в неизменяемом журнале.

Сценарии аварийного реагирования — проверенные на практике через тренировки и симуляции.

5.10.7. Обучение и повышение культуры кибербезопасности

Даже самая надёжная архитектура неэффективна без грамотного персонала. Поэтому обучение сотрудников должно быть встроено в эксплуатацию системы.

Формы подготовки:

Сертифицированные курсы по информационной безопасности и работе в SCADA/HMI.

Практика в тренажёре — моделирование аварийных сценариев (например, имитация кибератаки на шлюз).

Чек-листы для смен — алгоритмы проверки защищённости перед дежурством.

Регулярные учения (1–2 раза в год) — совместная отработка действий операторов, инженеров и ИТ-персонала.

Разбор инцидентов — анализ ошибок и формирование «уроков безопасности».

Таким образом, безопасность интерфейса — это не только технические средства, но и организационная культура, обеспечивающая устойчивость всей системы

5.11. Метрики эффективности интерфейса (KPI)

Эффективность интерфейса пользователя (UI/HMI) в системах цифрового водоучёта и водораспределения определяется не только эргономикой и удобством работы, но и его влиянием на ключевые процессы: мониторинг, реагирование на инциденты, принятие решений и контроль лимитов. Для объективной оценки используются ключевые показатели эффективности (KPI), которые позволяют измерять результативность интерфейса и корректировать его развитие.

5.11.1. Среднее время обнаружения и подтверждения тревоги (МТТА, Mean Time to Acknowledge)

Определение:

Время от момента появления тревожного события (например, превышение уровня воды, авария затвора) до момента его обнаружения и подтверждения оператором в интерфейсе.

Формула:

$$МТТА = \frac{\sum(t_{\text{подв}} - t_{\text{события}})}{N} \quad (1)$$

где:

$t_{\text{события}}$ — время регистрации тревоги системой,

$t_{\text{подв}}$ — время подтверждения тревоги оператором,

N — количество тревог за анализируемый период.

Значение:

Низкий МТТА (несколько минут) означает, что интерфейс обеспечивает быструю доставку информации до пользователя (звуковые сигналы, push-уведомления, цветные индикаторы).

Высокий МТТА указывает на перегруженность интерфейса, слабую видимость тревог или проблемы в каналах уведомлений.

Целевое значение: Для критических событий — не более 3–5 минут, для средних — до 30 минут.

5.11.2. Среднее время восстановления/реагирования на критическое событие (MTTR, Mean Time to Recovery/Respond)

Определение: время от возникновения критического события до его устранения или стабилизации ситуации.

Формула:

$$MTTR = \frac{\sum(t_{\text{устранения}} - t_{\text{события}})}{N} \quad (2)$$

где:

$t_{\text{устранения}}$ — время фактического устранения или перевода объекта в безопасный режим.

Значение: MTTR напрямую отражает не только работу персонала, но и функциональность интерфейса: удобство управления оборудованием, наличие быстрых команд, понятность логики.

Целевое значение: для гидроузлов и водохранилищ — устранение критической ситуации не более чем за 15–30 минут.

Для каналов и распределительных сооружений — до 1–2 часов.

5.11.3. Процент автоматических операций от общего числа операций

Определение:

Доля действий, которые система выполняет автоматически (по алгоритмам и сценариям), без вмешательства оператора.

Формула:

$$P_{\text{auto}} = \frac{N_{\text{auto}}}{N_{\text{total}}} \times 100\% \quad (3)$$

где:

N_{auto} — количество автоматических операций,

N_{total} — общее количество операций за период.

Значение:

Высокий процент автоматизации свидетельствует о зрелости цифровой системы и снижении нагрузки на операторов.

Слишком низкий показатель указывает, что интерфейс используется для ручного ввода вместо интеллектуальной поддержки.

Целевое значение: не менее 40–60% операций должны выполняться автоматически (например, регулировка сбросов по графику, распределение лимитов, формирование отчётов).

5.11.4. Количество ошибок оператора (зафиксированных в логах) в месяц

Определение: число некорректных действий, совершённых пользователями через интерфейс, и зафиксированных системой (например, неверный ввод параметра, попытка открыть затвор без подтверждения, ошибочный выбор канала).

Формула:

$$Error = \frac{N_{\text{ошибок}}}{N_{\text{операций}}} \times 100\% \quad (4)$$

Значение:

Рост количества ошибок может означать недостатки дизайна интерфейса, отсутствие подсказок или неудобную навигацию.

Снижение ошибок после обновлений интерфейса подтверждает эффективность доработок.

Целевое значение: не более 1–2% от числа операций, при этом критические ошибки должны стремиться к нулю.

5.11.5. Уровень соответствия план/факт (в %, уменьшение расхождений)

Определение: степень совпадения планового водораспределения (графики подачи и лимиты) с фактическими данными, собранными через интерфейс и датчики.

Формула:

$$C_{\frac{plan}{fact}} = 100\% - \frac{|V_{\text{план}} - V_{\text{факт}}|}{V_{\text{план}}} \times 100\% \quad (5)$$

где:

$V_{\text{план}}$ — плановый объём подачи,

$V_{\text{факт}}$ — фактический объём.

Значение:

Чем выше показатель, тем лучше система обеспечивает исполнение лимитов и прозрачность.

Интерфейс влияет на показатель за счёт своевременной визуализации и удобства корректировки графиков.

Целевое значение: Не менее 90–95% совпадения план/факт.

5.11.6. Уровень принятия мобильного приложения среди инспекторов

Определение:

Доля активных пользователей мобильного приложения среди назначенных сотрудников (инспекторов, операторов каналов).

Формула:

$$Adopt_{mob} = \frac{N_{\text{активных}}}{N_{\text{назначенных}}} \times 100\% \quad (6)$$

Значение:

Высокая доля активных пользователей подтверждает удобство мобильного интерфейса, его полезность и доверие к системе.

Низкий показатель указывает на необходимость улучшения юзабилити, оффлайн-режима или обучения персонала.

Целевое значение: не менее 80% инспекторов должны активно использовать приложение.

5.1.7. Итоговое значение KPI

Комплексное применение перечисленных метрик позволяет:

- выявлять узкие места интерфейса,
- корректировать дизайн и логику,
- оценивать эффективность обучения персонала,

- доказательно показывать заказчикам и государственным органам рост прозрачности и надёжности цифровой системы.

5.12. Примеры рабочих сценариев (пояснения)

Сценарий А — аварийный сброс на гидроузле

Аварийный сброс является одной из наиболее ответственных операций в системе управления гидротехническими сооружениями, так как напрямую влияет на безопасность водохранилища, сохранность сооружений и предотвращение затопления прилегающих территорий. Ниже описана последовательность действий с пояснениями.

Этап 1. Фиксация превышения уровня датчиками

Система непрерывного мониторинга фиксирует превышение уровня воды в верхнем бьефе относительно допустимого порога (например, $> \text{НПУ} + 0,5 \text{ м}$).

На основе заранее установленных алгоритмов автоматически формируется тревога класса Р1 (критическая).

В интерфейсе диспетчера индикатор состояния водохранилища меняет цвет на красный, сопровождаясь звуковым сигналом и всплывающим сообщением.

Пояснение: автоматическая генерация тревоги исключает задержку, связанную с ручной фиксацией параметров, и позволяет мгновенно привлечь внимание к критической ситуации.

Этап 2. Уведомление персонала

Одновременно с отображением тревоги на дашборде система рассылает SMS и push-уведомления ответственным инженерам и дежурным специалистам.

Уведомления содержат ключевые параметры: текущий уровень воды, скорость прироста уровня, прогноз времени достижения критической отметки.

Пояснение: многоканальная система оповещений (звук, SMS, push) повышает вероятность своевременного реагирования даже при отсутствии персонала за рабочим местом.

Этап 3. Инициирование аварийного сброса

Диспетчер переходит на детальный экран гидроузла и инициирует команду «аварийный сброс».

Интерфейс требует обязательного ввода причины (например: «превышение уровня $> \text{НПУ}$ на 0,6 м, прогноз роста в течение 2 ч») и подтверждения со стороны второго специалиста (инженера).

После двойного подтверждения система формирует управляющий сигнал на исполнительные механизмы затворов.

Пояснение: двухфакторное подтверждение критической операции минимизирует риск ошибочных действий оператора и обеспечивает ответственность.

Этап 4. Выполнение и протоколирование

Команда выполняется: затворы открываются на заданный угол/процент, начинается регулируемый сброс.

Вся операция фиксируется в журнале аудита с отметкой времени, ФИО операторов, параметрами команды и цифровой подписью.

Одновременно система запускает алгоритм прогнозного расчёта последствий: оценка изменения уровня в верхнем и нижнем бьефах, возможные риски для населённых пунктов и объектов ниже по течению.

Пояснение: протоколирование и прогноз позволяют документировать действия и заранее готовить сценарий реагирования downstream-абонентов.

Этап 5. Обработка отказа

Если исполнительный механизм не выполнил команду (например, затвор не открылся), система автоматически переключает управление на локальный режим.

Диспетчер получает уведомление об отказе, а ответственным на объекте отправляется эскалационное сообщение с требованием немедленного вмешательства.

Локальный оператор обязан подтвердить выполнение сброса вручную через мобильное приложение.

Пояснение: встроенный алгоритм обработки отказов обеспечивает непрерывность управления даже при сбое дистанционных систем.

Сценарий В — инспектор на обходе обнаружил перелив

Инспекторские обходы — важный элемент оперативного контроля состояния каналов и гидротехнических сооружений. Цифровая система позволяет существенно повысить эффективность фиксирования и устранения выявленных нарушений.

Этап 1. Обнаружение и фиксация

Инспектор в ходе планового обхода обнаруживает перелив воды через тело канала.

Через мобильное приложение он фиксирует геопозицию (GPS), делает фотографию проблемного участка и вносит предварительную оценку величины перелива (например, ~30–40 л/с).

Пояснение: использование мобильного интерфейса исключает необходимость ручных записей и ускоряет передачу информации в центр.

Этап 2. Передача данных в систему

При наличии связи данные автоматически синхронизируются с центральным сервером.

Если связь отсутствует, данные сохраняются в приложении и отправляются при первой возможности (режим офлайн-синхронизации).

Пояснение: офлайн-режим особенно важен для сельских районов, где связь может быть нестабильной.

Этап 3. Генерация тревоги и заявки

Система автоматически формирует тревогу класса Р2 (высокий приоритет) для данного участка канала.

Одновременно создаётся заявка на ремонт, содержащая: координаты, фотофиксацию, комментарий инспектора, оценку ущерба.

Пояснение: автоматическая генерация заявок исключает потерю информации и ускоряет реакцию ремонтных служб.

Этап 4. Действия диспетчера

Диспетчер видит тревогу и связанную с ней заявку на своём интерфейсе.

При необходимости корректирует приоритет (например, повышает его в случае угрозы прорыва).

Назначает ремонтную бригаду и указывает сроки устранения.

Пояснение: централизованное распределение задач позволяет эффективно использовать ресурсы и контролировать сроки ремонта.

Этап 5. Контроль выполнения

После устранения перелива бригада подтверждает выполнение задачи через мобильное приложение, прикладывая фото «после ремонта».

Система автоматически закрывает тревогу и фиксирует информацию в журнале аудита.

Пояснение: замкнутый цикл (обнаружение → заявка → устранение → подтверждение) обеспечивает полную прозрачность и контроль.

5.13. Документация, версии и сопровождение

5.13.1. Комплект документации

Наличие полного комплекта документации является обязательным условием ввода в эксплуатацию и дальнейшей поддержки цифровой системы водоучёта и водораспределения. Документация обеспечивает единое понимание принципов работы системы всеми заинтересованными сторонами — от операторов до разработчиков и аудиторов.

В состав комплекта документации входят:

Руководство пользователя — описывает функционал интерфейса с точки зрения оператора и абонента; содержит пошаговые инструкции по выполнению типовых операций (мониторинг, ввод заявок, подтверждение тревог, просмотр отчётов).

Руководство администратора — предназначено для ИТ-персонала и инженеров; включает описание процедур настройки, разграничения прав доступа, управления базами данных, резервного копирования и восстановления системы.

API-спецификации — документируют методы интеграции цифровой платформы с внешними системами (метеоданные, ERP агрохозяйств, государственные порталы учёта воды). Описываются форматы обмена (JSON/XML), протоколы передачи (REST, MQTT), правила аутентификации и защиты данных.

Схема событий и кодов тревог — унифицированный перечень кодов аварийных, предупредительных и информационных сигналов, а также алгоритмы реагирования на них. Для каждого события указываются: уникальный код, приоритет, текстовое описание, условия срабатывания и рекомендуемые действия персонала.

Результаты тестов — отчёты по функциональному, нагрузочному, интеграционному и пользовательскому тестированию; протоколы проверки отказоустойчивости; заключения по соответствию системы заявленным требованиям.

Документация должна храниться в цифровом виде в системе управления версиями (например, Git, SVN) с разграничением прав доступа и возможностью отслеживания всех изменений.

5.13.2. Версионность интерфейса

Развитие цифровых систем сопровождается регулярным обновлением интерфейсов, устранением ошибок и внедрением новых функций. Для поддержания стабильности работы и прозрачности изменений применяется строгая политика версионности.

Номер версии формируется в формате *Major.Minor.Patch* (например, 3.2.15), где:

Major — принципиальные изменения архитектуры или логики (несовместимость с предыдущими версиями);

Minor — добавление новой функциональности при сохранении совместимости;

Patch — исправления ошибок и мелкие улучшения.

Журнал изменений (changelog) обязателен для каждой версии. В нём фиксируются: дата выпуска, список новых функций, устранённых ошибок, известных ограничений. Журнал доступен всем пользователям через интерфейс системы.

Откат к предыдущей версии (rollback) предусмотрен для случаев выявления критических ошибок, влияющих на безопасность или стабильность системы. В системе хранится не менее трёх последних стабильных версий, что позволяет быстро восстановить работоспособность при неудачном обновлении.

Совместимость с архивными данными — обязательное требование: при обновлении версии интерфейса все ранее сохранённые данные, логи и отчёты должны оставаться доступными и корректно отображаться.

5.13.3. Поддержка и SLA на программное обеспечение

Надёжная эксплуатация цифровой системы невозможна без регламентированного сопровождения и технической поддержки. Для этого устанавливается соглашение об уровне обслуживания (SLA, Service Level Agreement), которое определяет обязательства разработчика или оператора системы по времени реакции и срокам устранения инцидентов.

Ключевые параметры SLA:

Сроки исправления ошибок:

- критические ошибки (угроза безопасности, потеря данных, сбой управления оборудованием) — устранение в течение 4–8 часов;

- серьёзные ошибки (сбой интерфейса, нарушение учёта, невозможность формирования отчётов) — до 24 часов;

- незначительные ошибки (ошибки интерфейса без влияния на функциональность)
— до 5 рабочих дней.

Обновления безопасности: выпуск патчей безопасности в течение 30 дней после выявления уязвимости.

Функциональные релизы: планируются не реже одного раза в год, включают новые модули, улучшения визуализации, расширение аналитики.

Каналы поддержки: круглосуточная горячая линия, система тикетов, дистанционное подключение специалистов.

5.13.4. Метрики эффективности сопровождения

Для оценки качества сопровождения и использования интерфейса устанавливаются измеримые показатели:

Уровень соответствия план/факт (%):

- характеризует степень точности выполнения лимитов водопада относительно утверждённых планов;

- цифровая система должна обеспечивать снижение расхождений минимум на 15–20% по сравнению с ручными методами учёта.

Уровень принятия мобильного приложения среди инспекторов:

- определяется как отношение числа активных пользователей к общему количеству назначенных инспекторов;

- показатель выше 80% считается критерием успешной интеграции мобильного интерфейса в практику.

Среднее время реагирования на инцидент (MTTA) и среднее время восстановления системы (MTTR) — важные метрики SLA, демонстрирующие эффективность службы поддержки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование показало, что внедрение цифровых технологий в процессы водоучёта и водораспределения является необходимым условием повышения эффективности, прозрачности и управляемости водохозяйственных систем. Традиционные методы, основанные на ручных измерениях и фрагментарной отчётности, не отвечают современным требованиям к точности, оперативности и надёжности, что приводит к потерям воды, несогласованности планов и фактического водопотребления, а также снижает доверие между водопользователями и регулирующими органами.

Цифровизация предполагает комплексное решение, включающее:

Формирование методических основ, обеспечивающих единые подходы к измерениям, анализу данных и управлению процессами.

Регламентацию функционирования систем, включая интерфейсы пользователя, уровни доступа, протоколирование действий и правила визуализации данных.

Определение функционала цифровой платформы, охватывающего мониторинг, управление оборудованием, прогнозирование, оповещения и отчётность.

Разработку стандартов взаимодействия, обеспечивающих интеграцию с внешними источниками данных, государственными информационными системами и мобильными приложениями.

Особое значение имеет **регламентирование интерфейса пользователя (UI/НМИ)**, которое обеспечивает единообразие визуализации, эргономику, снижение когнитивной нагрузки на персонал и минимизацию ошибок при управлении гидротехническими сооружениями. Внедрение многоуровневой системы доступа, чёткой классификации тревог и модулей визуализации позволяет оперативно реагировать на изменения гидрологической обстановки и прогнозировать последствия принимаемых решений.

Неотъемлемой частью методики является **документация и сопровождение системы**. Полный комплект руководств (для пользователей и администраторов), API-спецификаций, схем событий и результатов тестирования формирует основу для надёжной эксплуатации и дальнейшего развития системы. Регламент версионности с возможностью отката к предыдущим стабильным версиям, а также наличие прозрачного журнала изменений позволяют сохранять устойчивость и предсказуемость функционирования интерфейса.

Сопровождение системы строится на основе **SLA (соглашения об уровне обслуживания)**, которое определяет сроки исправления ошибок, частоту выпусков обновлений безопасности и функциональных релизов, а также механизмы поддержки пользователей. Ключевыми метриками качества сопровождения выступают: среднее время реагирования и восстановления, уровень соответствия плановых и фактических показателей водоподачи, а также показатель принятия мобильных приложений среди инспекторского персонала.

Таким образом, методика цифровизации процессов водоучёта и водораспределения формирует целостную систему организационных, технических и нормативных решений, обеспечивающих:

- достоверность и прозрачность учёта воды;
- повышение эффективности распределения ресурсов;
- снижение потерь и аварийных рисков;
- интеграцию в национальные и международные стандарты цифрового управления водными ресурсами;
- рост доверия и вовлечённости со стороны водопользователей.

Внедрение предложенной методики позволит перейти от реактивного управления к **прогнозно-аналитическому**, где решения опираются на объективные данные в реальном времени, а процессы водообеспечения приобретают устойчивый, контролируемый и цифрово верифицированный характер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

1. ISO 9241-210:2019 – Ergonomics of human-system interaction – Human-centred design for interactive systems. (Международный стандарт, описывающий принципы проектирования интерфейсов, ориентированных на пользователя).
2. IEC 62541 (OPC UA Standard) – Industrial communication for interoperability. (Протокол взаимодействия в промышленных системах, часто используется в SCADA и системах цифрового водоучёта).
3. Nielsen, J. (1993). Usability Engineering. Academic Press. (Классическая работа по юзабилити и эргономике интерфейсов.)
4. Shneiderman, B., Plaisant, C., Cohen, M., Jacobs, S., Elmqvist, N., & Diakopoulos, N. (2016). Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction. 6th Edition. Pearson. (Фундаментальная книга по проектированию интерфейсов.)
5. Water Sector Guidance – Approved Documents. Water UK. (Руководства по проектированию и эксплуатации водных систем, включая стандарты отчётности и взаимодействия интерфейсов.)
6. “Water Metering Best Practices” – Pacific Northwest National Laboratory (PNNL). (Руководство по цифровым системам учёта воды, включая коммуникационные технологии и интерфейсы для операторов.)
7. US EPA. (2016). Advanced Metering Infrastructure (AMI) Guide. (Методические материалы по цифровым платформам AMI, включая пользовательские порталы и интерфейсы.)
8. European Research Executive Agency (2020). Digitalisation in the Water Sector: Recommendations for Policy Developments at EU Level. (Документ с акцентом на стандартизацию, интерфейсы и обмен данными в водохозяйственных системах.)
9. ANSI/ISA-101.01-2015 – Human Machine Interfaces for Process Automation Systems. (Стандарт ISA для HMI в SCADA и автоматизированных системах управления технологическими процессами.)
10. International Water Association (IWA). Smart Water Networks Forum (SWAN). Reports & White Papers. (Отчёты и исследования по цифровым водным системам и интерфейсам операторов.)
11. ISO 24518:2015 – Crisis management of water utilities. (Стандарт, содержащий требования к отображению информации в интерфейсах для управления в условиях нештатных ситуаций.)
12. Horita, F. E. A., Link, D., & Albuquerque, J. P. (2018). “Smart Governance in Smart Cities: A Framework for Managing Public Service Delivery Through User Interfaces.” Information Polity, 23(2). (Исследование, применимое для разработки интерфейсов цифрового управления водными ресурсами.)
13. Zenodo.org – репозиторий публикаций по цифровизации водного сектора (EU H2020 проекты: DWC, DigitalWater, Aqua3S и др.).
14. World Bank. (2021). “Digital Solutions for Water Management.” (Практические рекомендации по цифровым системам учёта и управления водой, включая UX/UI аспекты.)
15. Division of district metered areas (DMAs) in a part of water supply network using WaterGEMS (Bentley) software: a case study. July 2022 [Электронный ресурс] [ResearchGate+1](#) (дата обращения: 06.08.2025)
16. Rolling Plan for ICT standardization [Interoperable Europe Portal](#)
17. Water Metering Best Practices February 2022. [Электронный ресурс] [PNNL](#) (дата обращения: 15.07.2025)
18. “Advanced Metering Infrastructure and Customer Systems” Results from the smart grid investment grand program, September 2016 [Электронный ресурс] [The Department of Energy's Energy.gov+1](#) (дата обращения: 11.08.2025)

19. Using Advanced Metering Infrastructure in a Water Quality Surveillance and Response System, Office of Water (MC 140) EPA 810-F-21-005 March 2021[Электронный ресурс] [US EPA+1](#) (дата обращения: 18.08.2025)
20. SYSTEM OF ENVIRONMENTAL ECONOMIC ACCOUNTING [seea.un.org+1](#)
21. [American Water Works Association+1](#) [Электронный ресурс] 21ST CENTURY INFRASTRUCTURE Water Loss Control (дата обращения: 04.08.2025)
22. [Электронный ресурс] [The Department of Energy's Energy.gov+1](#) MI System Security Requirements V1.01 ASAP 12/17/2008 (дата обращения: 19.07.2025)
23. DOE. Metering Best Practices: A Guide to Achieving Utility Resource Efficiency. U.S. Department of Energy, 2015.
24. PNNL. Water Metering Best Practices. Pacific Northwest National Laboratory, 2016.
25. US EPA. Advanced Metering Infrastructure and Customer Systems. U.S. Environmental Protection Agency, 2016.
26. ISO 24516:2016. Guidelines for the management of assets of water supply and wastewater systems. International Organization for Standardization, 2016.
27. ISO 24518:2015. Activities relating to drinking water and wastewater services — Crisis management of water utilities. International Organization for Standardization, 2015.
28. ISO/IEC 27001:2019. Information Security Management Systems — Requirements. International Organization for Standardization, 2019.
29. SEEA-Water. System of Environmental-Economic Accounting for Water. United Nations, 2012.
30. OGC. WaterML 2.0: Part 1 — Time Series. Open Geospatial Consortium, 2012.
31. OGC. SensorML and O&M Standards. Open Geospatial Consortium, 2012.
32. ISA-95. Enterprise-Control System Integration. International Society of Automation, 2010.
33. ISA-101. Human-Machine Interfaces for Process Automation Systems. International Society of Automation, 2015.
34. AWWA. Water Audits and Loss Control Programs (Manual M36). American Water Works Association, 2017.
35. WMO. Manual on Hydrology: From Measurement to Hydrological Information. World Meteorological Organization, 2012
36. Interoperable Europe Portal+1 [Электронный ресурс] <https://interoperable-europe.ec.europa.eu/collection/portal> (дата обращения: 25.08.2025)

ДЛЯ ЗАМЕТОК