

Нурмагамбетов Медет Аманжанович

Докторант ДВА, КВТУ

Казахстан, город Алматы

**Научные консультанты: Каршалова Алма Дамеровна, PhD,
ассоциированный профессор Бизнес-школы
КБТУ.**

Тусупбеков Нурлан Махабатович,

ведущий специалист АО «Институт КазНИПИ Энергопром

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ТРАНСФОРМАЦИИ
БИЗНЕС-МОДЕЛИ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА
ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ**

Аннотация. Статья посвящена разработке методологического подхода к трансформации бизнес-модели водохозяйственного предприятия на примере РГП «Казводхоз». Рассматривается текущее состояние водохозяйственного комплекса Казахстана, характеризующееся высокими потерями воды, низким уровнем автоматизации и отсутствием прозрачного учета. Анализируются возможности технологии цифровых двойников в гидротехнике и мелиорации, а также отечественные и зарубежные примеры их внедрения. На основе выявленных проблем предприятия предлагается блок-схема последовательной трансформации, включающая диагностику, цифровое наполнение, построение двойника, смену бизнес-модели и оценку эффективности. Обосновывается необходимость перехода от реактивного управления к прогнозному как основному условию устойчивого развития отрасли.

Ключевые слова: цифровой двойник, трансформация бизнес-модели, водохозяйственное предприятие, Казводхоз, потери воды, автоматизация, прогнозное управление, цифровизация водного хозяйства.

Актуальность исследования обусловлена критическим износом инфраструктуры водохозяйственного комплекса Казахстана, где, по данным

профильных органов, «потери воды в некоторых каналах достигают 50–60%», а технологии учета безнадежно устарели [1]. Как подчеркнул Президент К.-Ж. Токаев в своем Послании народу, «вода – это стратегический ресурс, без воды нет жизни», и данная отрасль должна стать «одним из ключевых направлений национальной цифровой трансформации» [2]. Традиционные бизнес-модели предприятий не позволяют оперативно реагировать на изменения спроса, аварии и климатические факторы, что ведет к высоким потерям ресурса. Внедрение технологии цифровых двойников напрямую коррелирует с поручением Главы государства о создании единой цифровой платформы водных ресурсов на основе искусственного интеллекта, позволяя перейти к прогнозной аналитике и точному планированию. Для водохозяйственных предприятий Казахстана такой методологический подход становится необходимым условием для привлечения инвестиций и устойчивого развития отрасли [3].

Цель исследования – разработать методологический подход к трансформации бизнес-модели водохозяйственного предприятия РК на базе цифровых двойников.

Применение цифровых двойников в гидротехнической практике открывает широкий спектр возможностей, начиная от этапа проектирования сооружений и заканчивая их повседневной эксплуатацией. А. Ханан указывает, что «одним из ключевых преимуществ выступает возможность детального моделирования гидродинамических процессов, что позволяет проектировщикам анализировать воздействие различных факторов на будущие сооружения и оптимизировать их конструктивные решения еще до начала строительства» [4]. Например, виртуальная модель гидроэлектростанции, включающая турбины, генераторы и системы управления, дает возможность оценить эффективность генерации энергии, отладить рабочие процессы и заранее предсказать потенциальные неисправности.

С. А. Амашукели отмечает, что не менее значима роль цифровых двойников в прогнозировании поведения водных объектов [5]. Моделирование

рек и водохранилищ при изменении уровня воды, в период паводков или под влиянием климатических факторов помогает предотвращать наводнения и выстраивать оптимальные стратегии управления водными ресурсами. В дополнение к этому цифровые двойники обеспечивают непрерывный мониторинг состояния таких ответственных сооружений, как плотины, дамбы, каналы и трубопроводы, позволяя оперативно фиксировать отклонения, оценивать износ и прогнозировать возможные отказы. В итоге инженеры и операторы получают более полную картину работы объектов и могут принимать обоснованные решения по их обслуживанию и модернизации.

О.А. Фенева отмечает, что в области мелиорации цифровые двойники находят применение при работе с оросительными и дренажными системами [6, с.605]. Создание виртуальной модели оросительной сети дает возможность анализировать распределение воды, оценивать эффективность полива и выявлять потери как воды, так и энергии, после чего оптимизировать работу системы для повышения ее продуктивности. Параллельно цифровой двойник помогает непрерывно отслеживать состояние дренажных сооружений, своевременно обнаруживая засоры, утечки или переполнения. Наконец, моделирование поведения почвы и уровня грунтовых вод на мелиорируемых землях позволяет прогнозировать изменения влажности, корректировать режимы орошения и осушения, а также предотвращать проблемы, связанные с избыточным или недостаточным увлажнением почв.

В научной литературе сложилось несколько подходов к определению цифрового двойника. Так, Д.С. Кокорев понимает под ним интегрированное мультифизическое и многомасштабное вероятностное моделирование собранной системы. Такая модель использует лучшие из доступных физических описаний, а также данные с датчиков и накопленную историю эксплуатации [7]. Другое определение предложили Дж. Ли с соавторами. Они рассматривают цифрового двойника как объединенную модель реальной машины, функционирующую на облачной платформе. Эта модель моделирует состояние здоровья оборудования, интегрируя знания из аналитических

алгоритмов и из существующих физических представлений [8, с.18]. В свою очередь, Э. Саддик дает более общее определение. Он называет цифровым двойником цифровую копию любой физической сущности - живой или неживой [9, с.87]. Связь между физическим и виртуальным мирами здесь осуществляется незаметно. Благодаря этому виртуальная сущность существует одновременно со своим физическим прототипом.

Примеры внедрения цифровых двойников в водохозяйственной отрасли Казахстана показаны в таблице 1.

Таблица 1 – Примеры внедрения цифровых двойников в водохозяйственной отрасли Казахстана

№	Пример внедрения	Результаты	Год / статус
1	2	3	4
1	Или-Балхашский цифровой двойник в Казахстане [10]	Интегрирован в Национальную информационную систему водных ресурсов; используется для поддержки трансграничного управления	2025 (презентован)
2	Платформа NeoPro в Казахстане, Узбекистане [11]	Внедрена в 2 странах (Казахстан: Туркестанская и Жамбылская области; Узбекистан); планируется расширение на всю Центральную Азию (Кыргызстан, Таджикистан)	2025 (завершено), 2026 (масштабирование)

3	Сотрудничество Казахстана и Южной Кореи (K-Water) [12]	Запуск системы оценки водных ресурсов на национальном уровне	2026 (запуск)
Примечание – составлено автором на основании источников [10-12]			

На сегодняшний день реализуются три разноуровневых направления: научно-исследовательский проект по созданию цифрового двойника крупного трансграничного бассейна (Или-Балхаш), внедрение готовой прикладной платформы эксплуатационного уровня (NeoPro) на объектах «Казводхоза» и международное технологическое партнерство с южнокорейской компанией K-Water для создания национальной системы оценки водных ресурсов. Большинство проектов находятся на стадии презентации или планового запуска в 2026 году, их совокупность. Однако это позволяет говорить о том, что Казахстан переходит от точечных пилотных проектов к масштабированию технологии цифровых двойников на всю территорию.

Стоит также рассмотреть зарубежные примеры внедрения цифровых двойников в водохозяйственной отрасли.

Таблица 2 – Зарубежные примеры внедрения цифровых двойников в водохозяйственной отрасли

№	Пример внедрения	Ключевые показатели	Статус
1	2	3	4
1	Сингапур: цифровой двойник для обнаружения утечек (PUB, Singapore's National Water Agency) [13]	Обнаружено 2 значительные подземные утечки; локализация утечек с точностью до 1 км; мониторинг сети	с января 2024 г. (внедрен)

		протяженностью более 6 000 км трубопроводов	
2	Великобритания: отраслевой стандарт цифровых двойников (Thames Water, Ofwat) [14]	Бюджет проекта - £334 800; завершен в сентябре 2024 г.; разработаны открытые скрипты для тиражирования в отрасли	2023–2024 гг. (завершен)
Примечание – составлено автором на основании источников [13-14]			

В Сингапуре внедрение высокоточного цифрового двойника уже дало измеримые результаты на городской водораспределительной сети. Технология построена на ежедневной перекалибровке гидравлических моделей по данным с датчиков с использованием алгоритмов машинного обучения. Благодаря этому удалось обнаружить две крупные подземные утечки и одновременно сократить трудозатраты на плановые сетевые обследования.

Иной, методологический интерес представляет пример Великобритании. Компания Thames Water выступила инициатором создания общепромышленных стандартов для цифровых двойников. Итогом проекта стали открытые и настраиваемые скрипты. Любая водохозяйственная компания может адаптировать их под свои нужды, что снижает порог входа для внедрения технологии в отрасли.

Был проведен анализ открытых данных о деятельности предприятия РГП «Казводхоз», включая отчеты Высшей аудиторской палаты и публикации в отраслевых СМИ. Результаты этого анализа сведены в таблицу 3, которая наглядно демонстрирует масштаб необходимости трансформации бизнес-модели.

Таблица 3 – Ключевые проблемы РГП «Казводхоз» как объекта для цифровой трансформации

№	Проблема	Показатель
1	2	3
1	Автоматизация ГТС	Из 5 932 сооружений автоматизировано 118 (2%), фактически работает менее 1% (47 объектов) при бюджете проекта 422 млн тенге с 2009 года
2	Потери воды	На Нуринском водопроводе - 70-80%, плановые показатели потерь по филиалам составляют 40–70%
3	Незаконный водозабор	В Кызылординской области 126 хозяйств без договора использовали 52 млн м ³ воды
4	Превышение посевных площадей	В Туркестанской области план посева риса (2 800 га) превышен в 4,7 раза - фактически 13 258 га
Примечание – составлено автором на основании источников [15-16]		

Приведенные данные свидетельствуют о системном неблагополучии в деятельности РГП «Казводхоз». За четырнадцать лет реализации проекта автоматизации с бюджетом 422 млн тенге реально работающих объектов оказалось менее одного процента. Потери воды на отдельных водоводах достигают восьмидесяти процентов, что сопоставимо с полным разрушением инфраструктуры. Нарушения учета воды и превышение посевных площадей риса в несколько раз показывают отсутствие действенного контроля на местах. В совокупности эти проблемы делают предприятие непригодным для эффективной работы в современных условиях.

Такое положение дел требует не локальных улучшений, а полной смены подходов к управлению. Существующая бизнес-модель «Казводхоза» ориентирована на реактивное реагирование - ликвидацию аварий, разбирательства после нарушений, отчеты о невыполненных показателях. Цифровой двойник позволяет перейти к прогнозному управлению: заранее рассчитывать режимы подачи воды, выявлять утечки на ранней стадии,

сопоставлять фактическое водопользование с договорными объемами в реальном времени. Без такой трансформации ни увеличение финансирования, ни смена руководства не дадут устойчивого результата, поскольку корень проблем лежит в самом способе организации операционной деятельности предприятия.

С целью наглядного представления предлагаемого подхода разработана блок-схема, отражающая последовательность шагов от диагностики проблем до получения итогового эффекта. Схема построена по принципу «вход - этапы преобразования - выход» с обратной связью для корректировки (рисунок 1).

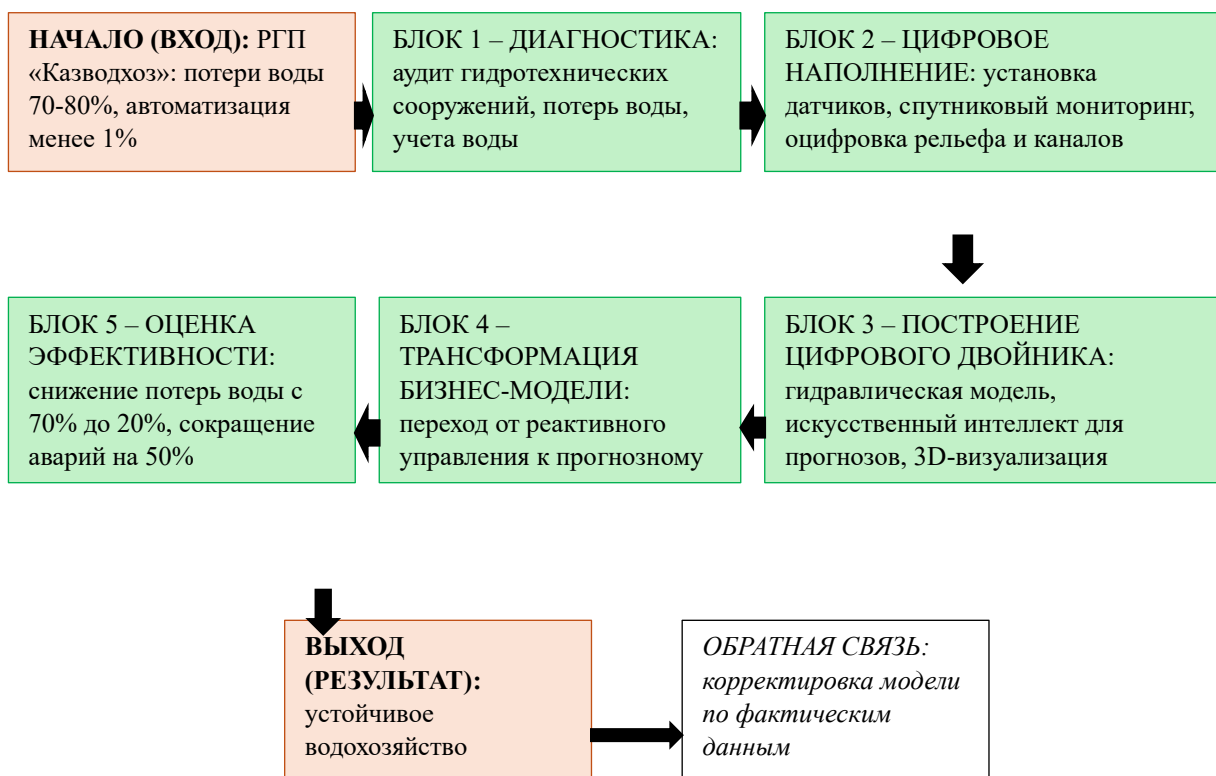


Рисунок 1 – Логика перестройки управления водохозяйственным предприятием через внедрение цифрового двойника

Примечание – составлено автором на основании проведенного исследования

Трансформация бизнес-модели - это не однократное действие, а цепочка последовательных этапов. Диагностика без цифрового наполнения остается бумажным отчетом. Цифровой двойник без смены бизнес-модели превращается в дорогую игрушку, которая не влияет на потери воды и число аварий. Только пройдя все пять блоков и замкнув обратную связь, предприятие переходит от реактивного управления (чиним порыв - снова порыв) к прогнозному (предотвращаем порыв до его возникновения). Именно в этом и заключается суть предлагаемого методологического подхода.

Проведенное исследование показало, что технология цифровых двойников сама по себе не решает накопившихся проблем водохозяйственной отрасли Казахстана. На примере РГП «Казводхоз» видно, что многолетние попытки автоматизации не дали результата именно потому, что не сопровождались сменой самой модели управления. Предлагаемый методологический подход как раз и направлен на преодоление этого разрыва. Он соединяет техническую возможность (цифровой двойник) с организационными изменениями (диагностика, перестройка процессов, оценка результатов). Без такой связки любые инвестиции в цифровые технологии останутся бесполезными, как это уже случилось с проектом за 422 млн тенге. Внедрение предложенной логики на предприятиях типа «Казводхоза» позволит постепенно снизить потери воды с нынешних семидесяти-восемидесяти процентов до целевых двадцати, сократить число аварий и наладить реальный, а не формальный учет водопользования. Дальнейшие исследования должны быть направлены на детальную проработку экономической модели окупаемости цифрового двойника и адаптацию предлагаемого подхода к разным типам водохозяйственных объектов.

Список источников

1. Единую цифровую платформу водных ресурсов создадут в Казахстане // <https://liter.kz/edinuiu-tsifrovuiu-platformu-vodnykh-resursov->

sozdadut-v-kazakhstan-

1757317142/?utm_source=target&utm_medium=post&utm_campaign=cpc

2. Без воды нет жизни. Нужно готовить специалистов в области водной дипломатии – Токаев // <https://24.kz/ru/news/social/728440-nuzhno-gotovit-spetsialistov-v-oblasti-vodnoj-diplomatii>

3. Kazakhstan to use AI for water monitoring and national water balance // <https://www.trend.az/business/4088014.html>

4. Ханан А. Цифровые двойники в гидротехнике // <https://elib.timacad.ru/dl/full/sb170325-t1-4-02.pdf/download/sb170325-t1-4-02.pdf>

5. Амашукели, С. А. Развитие цифровизации в сфере использования и охраны водных объектов / С. А. Амашукели. – Текст : электронный // Актуальные проблемы российского права. – 2022. – № 5. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-tsifrovizatsii-v-sfere-ispolzovaniya-i-ohrany-vodnyh-obektov>

6. Фенева, Ю. А. Вопросы цифровизации: использование и охрана водных объектов // Молодой ученый. - 2022. - № 20 (415). - С. 401-405. - URL: <https://moluch.ru/archive/415/91867>

7. Кокорев, Д. С. Цифровые двойники: понятие, типы и преимущества для бизнеса / Д. С. Кокорев, А. А. Юрин. – Текст : электронный // Colloquium-journal. – 2019. – № 4 (28). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovye-dvoyniki-ponyatie-tipy-i-preimuschestva-dlya-biznesa>

8. Lee J., Bagheri B., Kao H. A. A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems // Manufacturing letters. - 2015. - Т. 3. - С. 18-23.

9. El Saddik A. Digital twins: the convergence of multimedia technologies // IEEE MultiMedia. - 2018. -Т. 25. - №. 2. - С. 87-92.

10. Central Asia Water Conference 2025 (Назарбаев Университет, 10 октября 2025 г.) // <https://waterservicestech.com/central-asia-water-conference->

2025-consolidates-a-data-driven-agenda-for-water-governance-and-cooperation-in-central-asia/

11. В этом году Казахстан запустит трансграничную платформу спутникового обмена данными о водных ресурсах (哈萨克斯坦将于今年上线跨境水资源卫星数据共享平台) // <https://cn.inform.kz/news/jiangyunianshang-d1a984>

12. Kazakhstan and South Korea to cooperate in water sector digitalization // <https://qazinform.com/news/kazakhstan-and-south-korea-to-cooperate-in-water-sector-digitalization-b26f8b>

13. PUB, Singapore's National Water Agency. High Fidelity Digital Twin-enabled Anomaly Detection and Localization in Singapore / Bentley Systems. – 2025. – URL: <https://yii.bentley.com/project/high-fidelity-digital-twin-enabled-anomaly-detection-and-localization-in-singapore/>

14. Thames Water. Unlocking digital twins: Industry-wide data standards for water sector innovation / Thames Water. – 2024. – URL: <https://www.thameswater.co.uk/about-us/innovation/unlocking-digital-twins>

15. «Казводхоз» проверят после замечаний Высшей аудиторской палаты / Kazakhstan Today. – 2025. – 11 января. – URL: https://www.kt.kz/rus/state/kazvodhoz_proveryat_posle_zamechaniy_vysshey_auditorskoy_1377959843.html

16. Кого наказали за увеличение в Казахстане посева влагоемких культур и незаконный водозабор / Kapital.kz. – 2025. – 20 июля. – URL: <https://kapital.kz/gosudarstvo/139010/kogo-nakazali-za-uvelichenie-v-kazahstane-poseva-vlagoemkih-kultur-i-nezakonnyj-vodozabor.html>