

Моя профессиональная
карьера

ISSN INTERNATIONAL
STANDARD
SERIAL
NUMBER

ISSN
2782-4365

Проверить
номер:



Научно-образовательный электронный журнал

ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА В XXI ВЕКЕ

Выпуск №67-4 (том 2)
(октябрь, 2025)



Google
Scholar



Периодичность выпуска: 1 раз в неделю

Сайт: mrcareer.ru/oinv21veke. Почта: obrmpcareer@mail.ru



Международный научно-образовательный
электронный журнал
«ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА В XXI ВЕКЕ»

ISSN 2782-4365

УДК 37

ББК 94

**Международный научно-образовательный электронный журнал
«ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА В XXI ВЕКЕ». Выпуск №67-4 (том 2) (октябрь,
2025). Дата выхода в свет: 27.10.2025.**

Журнал объединяет авторов на территории стран СНГ и помогает обмениваться передовыми научно-образовательными исследованиями.

Содержит научные статьи отечественных и зарубежных авторов по экономическим, техническим, философским, юридическим и другим наукам.

Миссия научно-образовательного электронного журнала «ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА В XXI ВЕКЕ» состоит в поддержке интереса читателей к оригинальным исследованиям и инновационным подходам в различных тематических направлениях, которые способствуют распространению лучшей отечественной и зарубежной практики в интернет пространстве.

Целевая аудитория журнала охватывает работников сферы науки и образования (педагоги, учителя, ученые, преподаватели, научные сотрудники, бакалавры, магистранты, аспиранты).

Материалы публикуются в авторской редакции. За соблюдение законов об интеллектуальной собственности и за содержание статей ответственность несут авторы статей. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов статей. При использовании и заимствовании материалов ссылка на издание обязательна.

© ООО «МОЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ КАРЬЕРА»

© Коллектив авторов

<p>Шаимов Хусеин</p> <p>ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ВОСПИТАНИЕ И ПЕРЕВОСПИТАНИЕ ПОДРОСТКОВОГО ПОКОЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОСТИ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ПРАКТИЧЕСКАЯ МЕТОДИКА В КОНТЕКСТЕ МЕНТАЛИТЕТА ТУРКМЕНСКОГО НАРОДА</p>	62
<p>Ahmetjanova Shohle, Altyyewa Leyli, Ekayev Mukam, Amangeldiyev Shatlyk</p> <p>АНАЛИЗ ИННОВАЦИОННОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА CONCRETE CANVAS: СТРУКТУРА, СВОЙСТВА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ В ГРАЖДАНСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ</p>	74
<p>Хоммадова Гулялек Сейитмырадовна</p> <p>ПРАВОВАЯ ПОЛИТИКА В СФЕРЕ ЦИФРОВИЗАЦИИ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА</p>	81
<p>Ahmetjanova Shohle, Altyyewa Leyli, Ekayev Mukam, Amangeldiyev Shatlyk</p> <p>НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫЕ ЦЕМЕНТНЫЕ КОМПОЗИТЫ КАК ГИБКИЕ И УСТОЙЧИВЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ</p>	86
<p>Нобатова Ниязсолтан Оразмухаммедовна, Байлыева Чынар</p> <p>ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ТУРИСТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ</p>	89
<p>Джумабаева О.</p> <p>ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В МЕНЕДЖМЕНТЕ: УГРОЗЫ И ВОЗМОЖНОСТИ</p>	94
<p>Ahmetjanova Shohle, Altyyewa Leyli, Ekayev Mukam, Amangeldiyev Shatlyk</p> <p>ОТРАЖАЮЩИЕ И ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ БЕТОНЫ: ИННОВАЦИИ В МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ И АРХИТЕКТУРЕ</p>	104
<p>Одаева Г.</p> <p>ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И УПРАВЛЕНИЕ РЕСУРСАМИ В ПРОИЗВОДСТВЕ</p>	109
<p>Ahmetjanova Shohle, Altyyewa Leyli, Ekayev Mukam, Amangeldiyev Shatlyk</p> <p>УТИЛИЗАЦИЯ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ОСТАТКОВ: НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА КОКС И ПОЛУЧЕНИЕ ГРАФЕНА</p>	118
<p>Шадрин А.В., Галявиев Э.М., Смелик А.А.</p> <p>АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ СЕКТОРЕ</p>	123
<p>Смелик Анатолий, Нафиков Алмаз, Кузнецов Дмитрий</p> <p>НАЗНАЧЕНИЕ ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ</p>	137

УДК 004.942: 621.311

ФИО автора(-ов): *Шадрин А.В., Галявиев Э.М. Операторы.*

Смелик А.А. к.т.н., начальник лаборатории испытательной «Военный инновационный технополис ЭРА» город Анапа, Краснодарский край

Название публикации: «АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ СЕКТОРЕ»

Аннотация: В статье рассматриваются основные определения и классификация цифровых двойников. Особое внимание уделяется примерам использования цифровых двойников в энергетике, как на международном уровне, так и в Российской Федерации. Также рассматривается программное обеспечение, необходимое для создания цифровых двойников, анализируются режимы функционирования цифровых двойников и основные характеристики этой концепции в энергетическом секторе.

Ключевые слова: цифровой двойник, энергетика, программная платформа, энергетические объекты, моделирование

Введение

Проектирование любой электрической станции всегда вызывает массу трудностей и начинается это от проектирования вручную до использования различных средств автоматизированного проектирования. Из-за усложнения проблем с обеспечением эксплуатационной надёжности и управления электроэнергетическим оборудованием, с которыми сталкиваются специалисты на всех этапах жизненного цикла, разработка и внедрение цифровых двойников является необходимой и актуальной задачей [1].

Их использование даёт возможность разработать более точные и полные модели физических объектов, помогающих в решении различных задач, в том числе задач управления, прогнозирования поведения и диагностики этих

объектов. Технология цифровых двойников (ЦД) является одним из методов создания таких моделей.

Сочетание математического моделирования физических объектов и моделей, основанных на экспериментальных данных, дает больше возможностей для решения различных задач, возникающих в процессе эксплуатации.

Использование технологии ЦД в энергетическом секторе позволит решить следующие задачи:

- оптимальное управление энергетическими объектами (ЭО) в различных режимах работы;
- прогнозирование поведения ЭО;
- диагностика ЭО;
- оптимальное размещение ЭО;
- определение сроков ремонтов ЭО;
- прогнозирование режима ЭО работы при различных возмущениях.

Целями создания ЦД в первую очередь являются: обеспечение требуемой надежности и снижение эксплуатационных затрат на оборудование. Выполнение этих целей осуществляется за счет принятия оперативных, обоснованных, оптимальных и долгосрочных решений, основанных на использовании, определенных с помощью ЦД, прогнозируемых и текущих значений диагностических критериев работы отдельных компонентов и оборудования в целом на всех этапах его жизненного цикла.

В общем случае необходимо предусмотреть следующие режимы функционирования ЦД:

- основной режим – режим, в котором все компоненты ЦД работают в нормальном режиме
- аварийный режим – режим, при котором доступность цифрового двойника снижена до окончания аварийной ситуации.

- режим тестирования – режим, при котором допускается проведение технологических работ на отдельных компонентах при обеспечении полной доступности цифрового двойника;

Определения ЦД, их типы и цели

Развитие цифровых технологий, таких как интернет, базы данных, численное моделирование, облачные вычисления, дополненная реальность, обеспечивает процесс цифровизации промышленности. Цифровая трансформация промышленности оказывает влияние на все этапы жизненного цикла продукта: от разработки и производства до эксплуатации и утилизации. Результатом такого применения цифровых технологий является ЦД.

В самом общем понимании цифровой двойник – это виртуальная копия (модель) изделия или процесса, нацеленная на снижение временных и денежных затрат на различных этапах жизненного цикла. Цель достигается в основном за счет высокоточного компьютерного моделирования и применения современных цифровых технологий [2].

Первоначально понятие «цифровой двойник» появилось применительно к промышленным изделиям, когда виртуальная копия реального объекта связана с ним на всех стадиях проектирования, создания и эксплуатации [4]. В рамках этой концепции ЦД определяют, как технологию, позволяющую упростить и усовершенствовать работу физических прототипов изделий или оборудования, снизить затраты на обслуживание и эксплуатацию [3].

Цифровой двойник – это набор виртуальных информационных конструкций, которые полностью описывают потенциальный (задуманный) или реальный производимый продукт от микроатомного до макрогеометрического уровня. В идеальном варианте любая информация, которая может быть получена при обследовании изготовленного изделия, может быть получена из его ЦД [2].

В последнее время значительное внимание уделяется созданию цифровых двойников реальных физических устройств, группы устройств или процессов, которые позволяют эффективно осуществлять сбор, обработку и повторное

использование цифровой информации об объекте на протяжении всего его жизненного цикла. На этапе проектирования изделия его ЦД позволяет выбрать оптимальную конструкцию отдельных элементов и наилучшую конфигурацию объекта в целом.

В процессе эксплуатации ЦД должен предсказывать изменения в параметрах работы объекта, ухудшение технического состояния объекта, развитие дефектов и возникновение незапланированных аварий, а также вырабатывать рекомендации по оптимизации режимов работы оборудования. Всё это в совокупности позволяет снизить затраты на проектирование и обслуживание объекта, повысить эффективность и надежность его эксплуатации.

ЦД позволяет отследить различные моменты, связанные с вариантами эксплуатации, в разы быстрее, чем это произошло бы с физическим образцом в реальном времени. При этом к тому же не требует затрат на изготовление опытных образцов и испытательных стендов.

ЦД позволяет подобрать наиболее реальные и безопасные сценарии проведения технологических процессов, чтобы избежать сбоев. Благодаря тому, что специалист в искусственно созданных условиях находит ту или иную неисправность и анализирует, как поведет себя реальный объект, подобные эксперименты не требуют значительных финансовых затрат. С помощью цифрового моделирования процессов можно не только избежать поломки или сбоя, но и предсказать их. Система самостоятельно тестирует повреждения, используя показания датчиков, сама принимает решение о переключении режимов для обеспечения стабильной работы.

Однако, создание полностью идеальных программ практически невозможно, поэтому необходимо проверять созданное программное обеспечение (ПО) на корректность реализации поставленной задачи путем сравнения с требуемыми свойствами, т.е. проводить верификации цифровых двойников. Проверка корректности работы созданной цифровой модели является актуальной и важной задачей цифровизации производства. Так как

реальные испытания при наличии ЦД фактически не проводятся, ошибка в программе может привести к серьезным последствиям.

Ценность любого цифрового двойника можно выразить в следующих пунктах [2]:

1. Наглядное представление. ЦД обладает высокоточными трехмерными моделями, которые обновляются в реальном времени, чтобы соответствовать своим физическим аналогам. Это позволяет персоналу управлять устройством или системой более прямым и понятным образом. Хорошая наглядность управления изделием или процессом позволяет снизить влияние человеческого фактора.

2. Оптимальное управление. Виртуальные модели в ЦД остаются подключенными к физическим аналогам в физическом мире. Такая связь между физическим и виртуальным объектом дает возможность проводить анализ работы физического объекта в различных условиях в режиме реального времени и своевременно корректировать его режим работы таким образом, чтобы гарантировать оптимальную работу, которая может выражаться в соответствии характеристик изделия требуемым значениям.

3. Снижение затрат на обслуживание. Современные производственные агрегаты генерируют массу данных, которые можно изучить и оценить, чтобы определить, когда в будущем может возникнуть поломка. ЦД может использовать данные, поступающие как от физического объекта, так и от виртуальной модели, чтобы заранее спрогнозировать поломку или запланировать необходимое техническое обслуживание агрегата для значительного сокращения времени простоя и затрат на обслуживание. Выгодой от ЦД по данному пункту является более редкое обслуживание объекта на основании его технического состояния, за счет чего снижаются суммарное время простоя и затраты на обслуживание.

4. Снижение потребления топлива. В ЦД за счет возможности анализа состояния физического объекта в реальном времени, вышедшие из строя детали и узлы можно своевременно заменять, чтобы избежать дополнительного

потребления энергии. Кроме того, можно создать согласованную сеть цифровых двойников нескольких объектов. Такая система двойников будет управлять режимом работы всех агрегатов в системе и запускать или выключать конкретные единицы техники с целью снизить общее потребление энергии или топлива.

5. Объединение информационных технологий (ИТ). ЦД может объединять различные информационные технологии, включая машинное обучение, расчеты, физическое моделирование, облачные вычисления, базы данных, что особенно важно для выполнения сложных задач. Например, ЦД обладает способностью предсказывать события, путем объединенной обработки данных с датчиков, результатов моделирования, алгоритмов машинного обучения либо может выполнять физическое моделирование в реальном времени с помощью сочетания с технологией облачных вычислений для решения больших, сложных задач.

6. Повышение степени взаимодействия с эксплуатацией. При разработке нового изделия эксплуатационный персонал может взаимодействовать с высокоточными виртуальными моделями и оставлять комментарии для оптимизации изделия. Для существующих объектов ЦД может записывать и анализировать поведение продукта в режиме реального времени, что в некоторой степени может отражать привычки пользователей. Основываясь на этих данных, можно улучшить изделие таким образом, чтобы оно еще более точно отвечало на запросы эксплуатационного персонала.

7. Сокращение времени выхода на рынок. Данное преимущество в первую очередь актуально для ЦД в производстве изделий. Поскольку рынок быстро меняется, эксплуатационные компании всегда желают пользоваться современными изделиями. Чтобы удовлетворить спрос, с одной стороны, ЦД может предоставить возможность конструкторам проводить тесты и виртуальные эксперименты с разрабатываемым объектом еще до того, как он будет создан. Это позволяет устранить возможные проблемы реального изделия и, таким образом, сократить время вывода изделия на рынок. С другой стороны,

ЦД может стать очень реалистичной виртуальной копией объекта, что позволит пользователю заранее испытать его.

Поскольку ЦД представляет собой развивающуюся технологию для бесшовного объединения физического и виртуального пространств, в XXI веке она привлекает все большее внимание в различных сферах человеческой деятельности.

Также можно отметить основные характеристики концепции цифрового двойника [2]:

- индивидуализация конкретного физического двойника;
- высокая точность моделирования физического поведения объекта в реальности;
- скорость коммуникации в реальном времени с минимальной задержкой;
- управляемость, выраженная в физико-цифровом соответствии цифрового двойника.

Применение ЦД

Технологии ЦД сегодня активно применяются в различных технических областях, в том числе и в энергетике, как в России, так и за рубежом. Основными компонентами создаваемого ЦД являются сбор с физического объекта данных для управления и наблюдения за этим объектом, а также хранилища этих данных.

В данной работе [4] рассмотрены вопросы применения технологии Edge Analytics при создании цифровых двойников объектов единой энергетической системе России. В качестве такого объекта рассматривалась современная цифровая подстанция. Системы сбора и передачи данных современных подстанций дают возможность обрабатывать данные измерений непосредственно в локальном концентраторе данных, что позволяет получить математическую модель объекта, необходимую для создания его ЦД.

В источнике [5] приведён анализ существующих программных платформ цифровых двойников и их использование на этапах жизненного цикла энергетических объектов. Большинство существующих на рынке решений по

разработке программных решений для цифровых двойников направлены на промышленные предприятия.

ЦД применяются при проектировании оборудования. В работе [6] рассматривается применение ЦД вместо существующих математических моделей комплектования деталей роторных пакетов в интегрированных системах автоматизированного проектирования, для разработки роторов газотурбинных двигателей, что позволяет преодолеть высокие требования к вычислительным ресурсам и эффект комбинаторного взрыва при увеличении числа деталей в пакете.

В статье [7] предлагается осуществлять автоматизированный анализ данных с использованием ЦД, позволяющих оперативно оценивать и предсказывать техническое состояние оборудования тепловой электростанции путем сопоставления индивидуальных данных оценки технического состояния и вероятности аварийного отказа основного технологического оборудования с разработанными цифровыми моделями технологических процессов, физических систем, объектов и элементов. Предлагаемый подход, а также соответствующее алгоритмическое и программное обеспечение позволяют выполнять динамический анализ данных оценки технического состояния основного технологического оборудования объектов тепловой электростанции с выявлением изменения технического состояния каждой единицы оборудования. Осуществляется автоматизированный анализ данных с использованием ЦД технологических процессов, физических систем, объектов и элементов для внедрения комплексной риск-ориентированной системы управления производственными активами.

Систему создания ЦД, направленную на оценку технического состояния оборудования, также внедряет IBM [8]. Платформа «PREDIX», созданная компанией General Electric, позволяет определять текущее состояние газовой турбины и прогнозировать показатели её функционирования на базе ЦД, состоящих из цифровой модели базы знаний и блока аналитики [9].

На Уральском турбинном заводе компанией «Продуктивные технологические системы» (ПТС) внедрена система создания и использования ЦД изделия на базе программного обеспечения Creo и Windchill. В ней полностью разработана и подготовлена к производству турбина Кп-77-6,8 (рис.1). Это позволило сократить срок изготовления от проектирования до ввода в производство турбины с 2,5 лет до 8 месяцев за счёт того, что весь цикл управления жизненным циклом реализуется с помощью единой централизованной платформы, в которой каждый участник процесса получает необходимые данные, при этом сами данные вводятся в систему только один раз. [10]

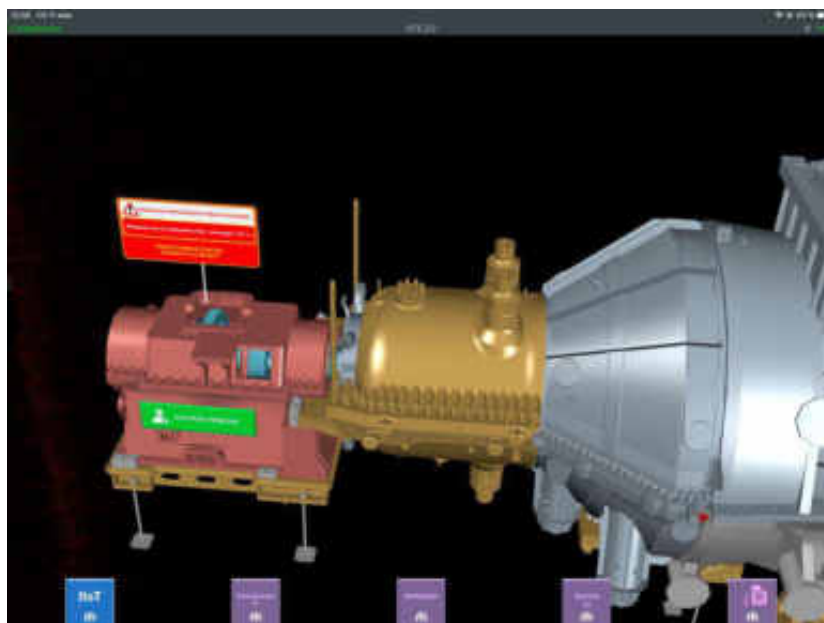


Рисунок 1 – Цифровой двойник турбин на УТЗ [9]

При решении задач эффективности бизнес-операций ЦД также могут быть эффективны. В источнике [11] показано, что ЦД атомных и тепловых электростанций формируют условия для оптимизации цифровой связи между услугами, техническими и природными системами, ресурсами, а также организационными структурами для повышения адаптивности и эффективности бизнес-операций. В статье авторы предлагают сформировать квази-единый

наблюдательный объектно-ресурсный комплекс для интеграции информационных потоков в рамках глобальных цифровых агломераций в энергетической суперсистеме.

Авторами работы [12] с помощью Ansys Electronics Desktop создана цифровая модель гидрогенератора (рис.2) которая не только позволяет рассчитать магнитные характеристики агрегата, но и учесть влияние электронной системы управления на её работу. В результате, при создании физического объекта установлено, что созданная цифровая модель достаточно точно воссоздаёт реальную электрическую машину и может быть использована для анализа при проектировании генераторов данного типа.

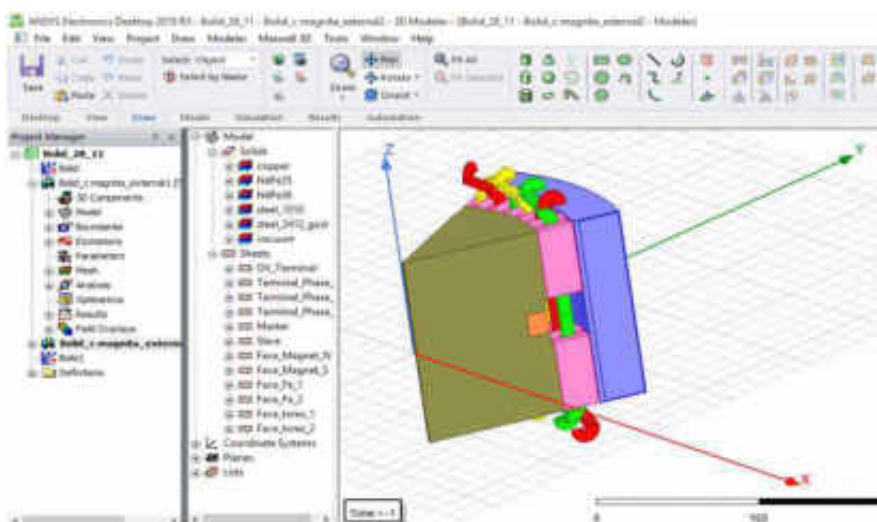


Рисунок 2 – Модель генератора Ansys Electronics Desktop [11]

В исследовании [13] предложен подход к оценке и прогнозированию остаточного ресурса преобразователей ветряной турбины, где также применялась технология ЦД. Платформа цифрового двойника для эксплуатации технического обслуживания морской ветроэлектростанции (ВЭС) представлена на рисунке 3.



Рисунок 3 – Простая принципиальная схема архитектуры ЦД для виртуальной стационарной и плавучей ВЭС NREL мощностью 5 МВт О&М

[12]

Цель цифрового двойника от Siemens – это получение более глубокого понимания и предсказание характеристик производительности изделия. Цифровой двойник необходим на протяжении всего жизненного цикла продукта, чтобы моделировать, прогнозировать и оптимизировать изделие и систему его изготовления до момента вложения ресурсов в физический прототип изделия. Основываясь на междисциплинарных расчетах, анализе экспериментальных данных и машинном обучении, цифровой двойник определяет влияние изменений конструкции, режима работы, условий окружающей среды и других переменных, что позволяет избежать многочисленного физического прототипирования (почти до его отсутствия), ускоряет процесс разработки изделия и улучшает качество итогового продукта.

Заключение

Анализ имеющихся работ, связанных с ЦД, а также потенциала использования технологии в области энергетики, показал, что данный вопрос является актуальным.

Использование корпорациями цифровых двойников в промышленности обуславливает ряд следующих преимуществ:

- максимальная общая эффективность оборудования;
- минимизация времени производства;
- возможность запускать тесты на виртуальной копии без риска для реального оборудования;
- оптимизация системы перед развёртыванием;
- управление активами в реальном времени;
- сокращение времени обслуживания посредством прогнозного анализа.
- получение новых сведений об устройстве для повышения производительности.

Основные цели цифрового двойника направлены на эксплуатацию изделий и систем:

- повышение эффективности эксплуатации;
- снижение затрат на ремонт и тех. обслуживание, операционных расходов, а также на гарантийную поддержку;
- введение современных подходов к бизнес-процессам (предиктивное техническое обслуживание и ремонт и другие).

Дальнейшее изучение темы позволит достичь значительных результатов и является одним из наиболее перспективных направлений исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смелик А.А., Степанов В.В., Виноградов Е.А. Обеспечение стабильной работы энергетической системы в России и за рубежом // Технологии энергообеспечения. Аппараты и машины жизнеобеспечения. Сборник статей II Всероссийской научно-технической конференции. Анапа, 2020. С. 233-237.
2. Цифровые двойники турбомашин: учебное пособие / В.Л. Блинов, С.В. Богданец; М-во науки и высш. образования РФ.– Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2022.– 162 с.
3. Булатов Ю.Н., Короткова К.Е. Применение технологий цифровых двойников в энергетике // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2021. Т. 1. С. 103-112.
4. Колосок И.Н., Коркина Е.С. Применение технологии граничной аналитики (Edge Analytics) при создании цифровых двойников объектов ЕЭС России // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2021. № 3 (23). С. 28-39.
5. Мозохин А.Е., Черкасова Н.В. Анализ применения программных платформ по созданию цифровых двойников для энергетических объектов и систем на этапах их жизненного цикла // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2020. № 6 (58). С. 322-334.
6. Тимофеева Е.В., Тимофеев М.В., Гусарова Н.И. Математическое обеспечение сапр виртуальной сборки роторов газотурбинных двигателей // Вестник РГАТА имени П. А. Соловьева. 2019. № 3 (50). С. 67-73.
7. Акулич Н.С., Бойко Е.А. Риск-ориентированное управление техническим состоянием технологического оборудования тепловых электростанций // Энергоэксперт. 2020. № 4 (76). С. 72-76.
8. IBM, IBM Engineering Lifecycle Optimization [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ibm.com/us-en/marketplace/lifecycle-integration-adapted> (дата обращения 07.10.2025)

9. GE, PREDIX [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ge.com/digital/applications/digital-twin> (дата обращения 07.10.2025)
10. Мотовилов Д. Уральский Турбинный Завод использует цифровой двойник турбин на базе Creo и Windchill // ПТС [Электронный ресурс]. URL: https://pts-russia.com/solutions/tsifrovoy_dvoynik_turbin_na_utz/ (дата обращения 07.10.2025).
11. Грабчак Е.П., Логинов Е.Л. «Цифровые двойники» АЭС и ТЭС как элементы цифровых агломераций в энергетической суперсистеме // Сборник: Современные проблемы электроэнергетики и пути их решения. Материалы V Всероссийской научно-технической конференции. 2019. С. 155-159.
12. Аминов Д.С. Применение программного комплекса Ansys electronics desktop для анализа водопогружного гидрогенератора комбинированного возбуждения // Электротехнические системы и комплексы. 2020. № 1 (46). С. 13-18.
13. K. Sivalingam A Review and Methodology Development for Remaining Useful Life Prediction of Offshore Fixed and Floating Wind turbine Power Converter with Digital Twin Technology Perspective // 2018 2nd International Conference on Green Energy and Applications, Singapore, 2018, pp. 197-204.