

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.20>

## КОНЦЕПЦИЯ АРХИТЕКТониКИ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ

Научная статья

**Загоруйко Т.Н.<sup>1,\*</sup>**

<sup>1</sup> ORCID : 0000-0002-8867-6499;

<sup>1</sup> Институт экономических исследований, Донецк, Донецкая Народная Республика

\* Корреспондирующий автор (zagoruykotatiana[at]mail.ru)

### Аннотация

В статье на основе определения преимуществ системного подхода обосновано его использование при разработке концепции архитектоники цифрового двойника энергетической отрасли Донецкой Народной Республики, которая структурирована по «срезам». Изначально предполагается использование датчиков и систем отслеживания при выполнении физическими элементами энергетической отрасли (электростанции (генерирующие предприятия), электрические сети (линии электропередачи, подстанции, распределительные пункты), хранилища энергии, электрические системы потребителей) основных процессов (генерация, передача, распределение, хранение, потребление электроэнергии) в энергетической отрасли и данных об их состоянии. Объединение представленных технологий и интеграция их для взаимодействия между собой на всех физических элементах энергетической отрасли позволяет создать цифровой двойник энергетической отрасли Донецкой Народной Республики, который позволяет отображать в цифровом виде процессы, протекающих на электростанциях, электрических сетях, хранилищах энергии и электрических системах потребителей, в режиме реального времени и управлять ими. Использование цифрового двойника в энергетической отрасли способствует повышению эффективности, надежности и безопасности энергетических систем, а также улучшению управления энергетическими ресурсами.

**Ключевые слова:** цифровой двойник, энергетическая отрасль, энергетические системы, цифровые технологии, архитектоника.

## CONCEPT OF ARCHITECTONICS OF THE DIGITAL TWIN OF THE ENERGY SECTOR OF THE DONETSK PEOPLE'S REPUBLIC

Research article

**Zagoruyko T.N.<sup>1,\*</sup>**

<sup>1</sup> ORCID : 0000-0002-8867-6499;

<sup>1</sup> Institute of Economic Research, Donetsk, Donetsk People's Republic

\* Corresponding author (zagoruykotatiana[at]mail.ru)

### Abstract

On the basis of determining the advantages of the system approach, the article substantiates its use in the development of the concept of architectonics of the digital twin of the energy industry of the Donetsk People's Republic, which is structured by "sections". Initially, it is supposed to use sensors and tracking systems in the performance of physical elements of the energy industry (power plants (generating enterprises), electrical networks (transmission lines, substations, distribution points), energy storage, electrical systems of consumers) of the main processes (generation, transmission, distribution, storage, consumption of electricity) in the energy industry and data on their state. Combining the presented technologies and integrating them to interact with each other on all physical elements of the energy sector allows to create a digital twin of the energy sector of the Donetsk People's Republic, which makes it possible to digitally display and manage the processes occurring at power plants, power grids, energy storage facilities and electrical systems of consumers in real time. The use of the digital twin in the energy sector contributes to the efficiency, reliability and safety of energy systems, as well as improving the management of energy resources.

**Keywords:** digital twin, energy industry, energy systems, digital technologies, architectonics.

### Введение

Создание цифрового двойника энергетической отрасли представляет собой актуальную задачу для государственной энергетической политики. Виртуальный двойник позволяет моделировать и анализировать различные сценарии работы энергосистемы, что способствует оптимизации процессов и повышению эффективности. Он также позволяет проводить мониторинг состояния оборудования и предсказывать возможные неисправности, что позволяет своевременно принимать меры для предотвращения аварий и снижения простоев. Цифровой двойник может использоваться для моделирования различных аварийных ситуаций и разработки стратегий их предотвращения и ликвидации, что способствует повышению безопасности энергосистемы.

В целом, создание цифрового двойника энергетической отрасли является важным шагом в развитии и модернизации энергосистемы, который способствует повышению эффективности, безопасности и устойчивости энергетического сектора.

## Методы и принципы исследования

Методический аппарат исследования представлен общенаучными методами: индукция и дедукция, сравнение, анализ и синтез, логический подход, а также основные законы диалектики. Использование системного подхода для разработки концепции архитектуры цифрового двойника энергетической отрасли Донецкой Народной Республики.

Информационной основой исследования являются нормативные правовые акты Российской Федерации, отчеты международного аудит-консалтинговой корпораций Deloitte и других международных организаций, труды в области цифровизации энергетической отрасли зарубежных ученых С. Kofod [1], S. Pye [2], M. Cotteller [3], A. Brown [4], B. Wible [5] и отечественных В.В. Акбердина [6], В.П. Вишневого [7], А.Е. Мозохина и В.Н. Шведенко [8], А.В. Половяна и К.И. Сеницыной [9] и др.

Анализ литературных источников позволил прийти к выводу, что современные исследования в области цифровизации затрагивают отдельные элементы систем или предприятия. А.В. Половян и К.И. Сеницына акцентируют внимание на возможности цифровизации отдельных процессов на уровне государства [9]. Л.В. Массель и Т.Н. Ворожцова предлагают этапы перехода к цифровым двойникам предприятий энергетической отрасли, включающие онтологический инжиниринг предметной области и построение соответствующих онтологических моделей [10]. Аналогично исследования зарубежных авторов затрагивает вопросы цифровизации отдельных элементов энергетической системы [11], [12]. Однако, цифровизация всей энергетической отрасли в целом слабо отражена в научной литературе.

## Основные результаты

Для развития цифровой экономики Правительством Российской Федерации разработаны и реализуются государственные программы «Информационное общество», «Цифровая экономика Российской Федерации» и указы [13], [14], [15], которые подтверждают заинтересованность государства в разработке и внедрении информационно-коммуникационных технологий в отрасли и жизнь населения. Однако, среди предложенных мероприятий и направлений реализации программ, отсутствуют мероприятия по созданию цифрового двойника отрасли, в частности энергетической. Что обуславливает необходимость разработки концепция архитектуры цифрового двойника энергетической отрасли на примере Донецкой Народной Республики, которая в последствии может быть масштабирована на другие субъекты Российской Федерации, тем самым сформировав цифровой двойник энергетической отрасли всей Российской Федерации.

По данным Министерства угля и энергетики Донецкой Народной Республики электроэнергетика представлена следующими предприятиями, имеющими лицензию: Зуевская тепло-электростанция (ТЭС) – 4 энергоблока с суммарной установленной электрической мощностью 1270 МВт; Старобешевская ТЭС – 10 энергоблоков суммарной установленной мощностью 2010 МВт; ГУП ДНР «Шахта имени А.Ф. Засядько»; СПП «Зуевская ЭТЭЦ» (ГУП ДНР «Донбасстеплоэнерго»); филиалы ООО «ЮГМК»: №4 «Макеевкокс» и №5 «Ясиновский коксохимический завод» [16].

Динамика объема производства электрической энергии Зуевской и Старобешевской ТЭС представлена на рис. 1.

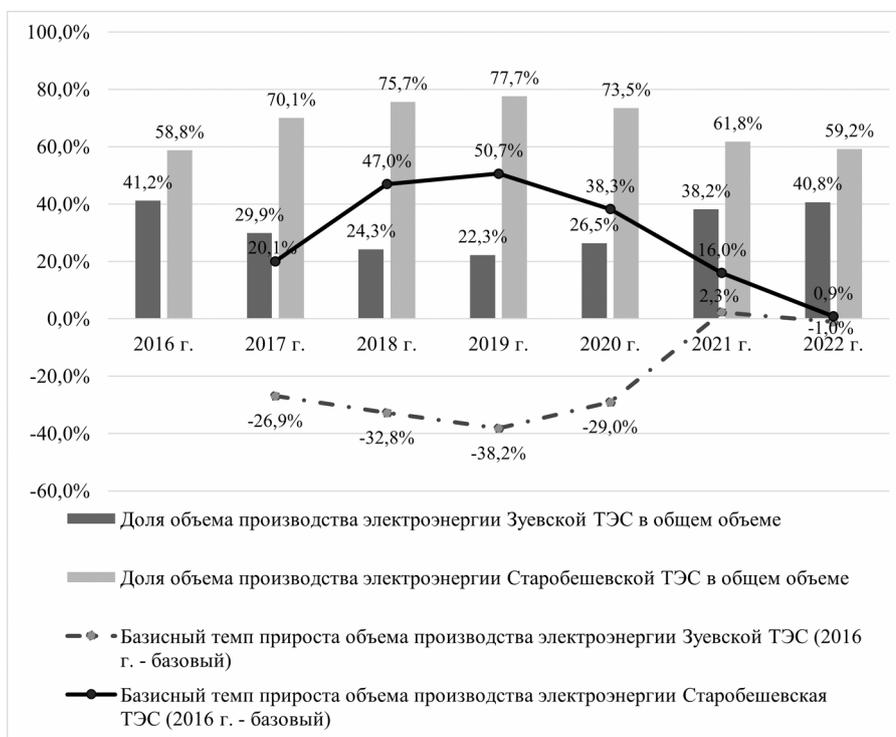


Рисунок 1 - Динамика объема производства электрической энергии Зуевской и Старобешевской ТЭС за 2016-2022 гг.

*Примечание: составлено по [16]*

Объем реализации электрической энергии в ДНР всеми предприятиями отрасли в 2022 г. по сравнению с 2021 г. увеличился на 5,2%. В общем объеме производства электрической энергии преобладает доля Старобешевской ТЭС, особенно это заметно в период с 2017 г. по 2021 г. В 2022 г. Ситуация стабилизировалась и вернулась на уровень 2016 г.

Снижение объемов производства электроэнергии на Зуевской ТЭС относительно 2016 г. вызвано неэффективным управлением руководства. В 2018 г. руководством Республики было взято под внешнее государственное управление ряд предприятий, среди которых была и Зуевская ТЭС [17]. С учетом временного лага, данное политическое решение привело к стабилизации работы предприятия и наращиванию его объемов производства, о чем свидетельствует динамика показателей с 2019 г.

В контексте продолжающейся интеграции Донецкой Народной Республики в социально-экономическое пространство Российской Федерации цифровизация энергетической отрасли становится приоритетным направлением для государственной политики благодаря тому, что цифровые технологии помогают повысить надежность и устойчивость энергетических систем, а также оптимизировать процессы; цифровые решения позволяют более эффективно управлять ресурсами и сокращать вредные выбросы, обеспечивают более качественное и доступное энергоснабжение для населения.

Одним из основных нормативных актов должна стать стратегия цифровизации энергетической отрасли Донецкой Народной Республики. На сегодняшний день разработана только стратегия в области цифровой трансформации экономики, социальной сферы и государственного управления, принятая Указом Главы № 644 от 29.12.2023 г. [18], и энергетическая отрасль в ней отсутствует. Можно констатировать, что на данный момент отсутствуют нормативные акты, регулирующие вопросы цифровизации энергетической отрасли Донецкой Народной Республики.

Энергетическая отрасль, как и любая другая отрасль, содержит значительное количество элементов взаимосвязанных и взаимодействующих между собой, поэтому при формировании концепции архитектуры цифрового двойника энергетической отрасли Донецкой Народной Республики целесообразным является использование системного подхода, который обладает рядом преимуществ по сравнению с другими подходами:

- 1) целостное видение (системный подход позволяет рассматривать проблему или задачу в целом, учитывая все её компоненты и их взаимосвязи, что помогает избежать узкого взгляда и упущения важных аспектов);
- 2) повышение эффективности (благодаря системному подходу можно выявить и устранить дублирующие или неэффективные процессы, что способствует повышению общей эффективности системы);
- 3) управление сложностью (системный подход помогает структурировать и упорядочить сложные проблемы, делая их более управляемыми и понятными);
- 4) прогнозирование и планирование (системный подход позволяет моделировать различные сценарии развития событий и оценивать их последствия, что способствует более точному прогнозированию и планированию);
- 5) оптимизация ресурсов (системный подход помогает оптимально распределять ресурсы, учитывая их ограниченность и необходимость максимальной отдачи);
- 6) инновации и развитие (системный подход способствует выявлению новых возможностей и путей развития, стимулируя инновации и улучшения);
- 7) устойчивость и адаптивность (системный подход позволяет создавать более устойчивые и адаптивные системы, способные эффективно реагировать на изменения и вызовы внешней среды);
- 8) повышение качества решений (системный подход обеспечивает более глубокий анализ и обоснование принимаемых решений, что способствует их качеству и надежности) [19], [20], [21].

Данные преимущества определяют использование системного подхода при разработке концепции архитектуры цифрового двойника энергетической отрасли Донецкой Народной Республики (рис. 2).

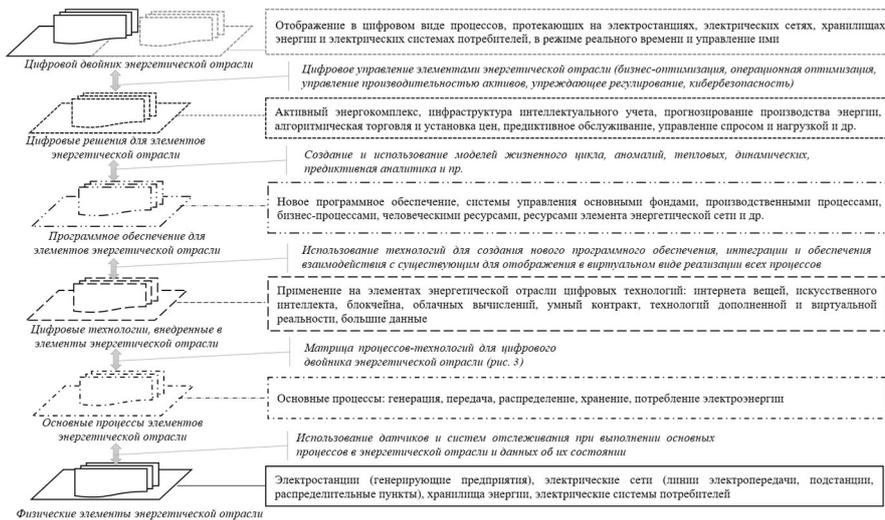


Рисунок 2 - Концепция архитектуры цифрового двойника энергетической отрасли Донецкой Народной Республики

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.20.2>

Примечание: разработано автором на основе [1–12]

Концепция архитектуры цифрового двойника энергетической отрасли Донецкой Народной Республики структурирована по «срезам». Изначально предполагается использование датчиков и систем отслеживания при выполнении физическими элементами энергетической отрасли (электростанции (генерирующие предприятия), электрические сети (линии электропередачи, подстанции, распределительные пункты), хранилища энергии, электрические системы потребителей) основных процессов (генерация, передача, распределение, хранение, потребление электроэнергии) в энергетической отрасли и данных об их состоянии.

Применение цифровых технологий в основных процессах элементов энергетической сети, позволяет получить эффекты, представленные в матрице процессов-технологий для цифрового двойника энергетической отрасли (табл. 1).

Таблица 1 - Матрица процессов-технологий для цифрового двойника энергетической отрасли

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.146.20.3>

		Процессы в энергетической отрасли				
		Генерация электроэнергии	Передача электроэнергии	Распределение электроэнергии	Хранение электроэнергии	Потребление электроэнергии
Цифровые технологии	Интернет вещей	мониторинг и управление оборудованием; предиктивное обслуживание; оптимизация потребления энергии; управление распределенными энергоресурсами; повышение безопасности; анализ данных и принятие решений			мониторинг и управление потреблением энергии; умные счетчики; оптимизация потребления энергии; повышение безопасности; анализ данных и принятие решений	
	Блокчейн	децентрализованное управление энергией; прозрачность и отслеживаемость; пиринговые энергетические сети; кибербезопасность; анализ данных и принятие решений			прозрачность и отслеживаемость; пиринговые энергетические сети; кибербезопасность; анализ данных и принятие решений	
	Искусственный интеллект	оптимизация процессов; предсказание спроса и предложения; диагностика и обслуживание; снижение выбросов			умные дома и здания; энергетический менеджмент; оптимизация потребления энергии в промышленных процессах	
	Облачные вычисления	анализ данных и прогнозирование; оптимизация работы энергетических установок; масштабируемость и гибкость				
	Умный контракт	автоматизация процессов; прозрачность и отслеживаемость; управление гибкостью и масштабируемостью			спросом и предложением; кибербезопасность;	
	Технологии дополненной и виртуальной реальности	удаленный мониторинг и управление; обучение и подготовка персонала; диагностика и ремонт; проектирование и планирование; оптимизация процессов; интерактивные панели управления			мониторинг и управление потреблением энергии; визуализация данных; стимулирование энергосбережения; интерактивные панели управления	
	Большие данные	анализ и прогнозирование спроса; оптимизация генерации энергии; управление распределением энергии; мониторинг и диагностика оборудования; оптимизация хранения энергии; кибербезопасность			анализ потребления энергии; оптимизация использования энергии; умные счетчики и устройства; управление спросом; персонализированные рекомендации	

Примечание: разработано автором по [1–12]

Использование Интернета вещей в генерации, передаче, распределении и хранении энергии открывает множество возможностей для повышения эффективности, безопасности и устойчивости энергетической отрасли:

- позволяет в реальном времени отслеживать состояние и работу компонентов энергетической системы, что позволяет оперативно выявлять и устранять неисправности, а также оптимизировать работу оборудования;
- анализировать данные о потреблении энергии и предлагать способы его оптимизации, что позволяет снизить затраты на энергию и уменьшить нагрузку на генерационные мощности;
- координировать работу различных источников энергии, включая традиционные и возобновляемые, а также системы хранения энергии;

– отслеживать параметры безопасности на энергетических объектах, что позволяет своевременно реагировать на потенциальные угрозы и предотвращать аварии.

Для потребления электроэнергии Интернет вещей позволяет: получать точные данные о потреблении энергии, снизить потери энергии и повысить эффективность ее использования и др.

Использование блокчейна в генерации, передаче, распределении и хранении энергии позволяет:

– создать децентрализованную систему управления энергией, где участники могут напрямую взаимодействовать друг с другом без посредников;

– обеспечить прозрачность всех операций, связанных с генерацией и распределением энергии. Все данные о производстве, потреблении и передаче энергии записываются в неизменяемый реестр, что позволяет отслеживать каждый этап процесса;

– создавать пиринговые энергетические сети, где участники могут напрямую обмениваться энергией. Это способствует более гибкому и устойчивому энергоснабжению;

– обеспечить высокий уровень безопасности данных, что особенно важно для энергетической отрасли. Все данные шифруются и хранятся в распределенном реестре, что снижает риск кибератак и несанкционированного доступа;

– сбор и хранение больших объемов данных, которые могут быть использованы для анализа и принятия обоснованных решений.

Аналогичные преимущества возникают при потреблении электроэнергии от использования блокчейна в цифровом двойнике энергетической отрасли.

Использование искусственного интеллекта для генерации, передачи, распределении и хранении электроэнергии позволяет:

– анализировать большие объемы данных и предсказывать оптимальные условия для генерации энергии;

– прогнозировать спрос на энергию и соответствующим образом регулировать генерацию;

– проводить диагностику энергетических установок и предсказывать возможные поломки.

Для потребления электроэнергии искусственный интеллект позволяет: управлять системами отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, освещением и другими системами, чтобы минимизировать потребление энергии; анализировать данные о потреблении энергии и предлагать способы его оптимизации; оптимизировать потребление энергии в промышленных процессах, таких как производство и транспортировка, что может включать в себя предсказание потребностей в энергии и регулирование работы оборудования для минимизации затрат.

Использование облачных вычислений для генерации, передачи, распределения и хранения электроэнергии, также как и для потребителей, открывает возможности для повышения эффективности и устойчивости энергетической отрасли:

– позволяют обрабатывать большие объемы данных, собранных с различных источников, таких как датчики и интеллектуальные сети, что позволяет предсказывать спрос на энергию, оптимизировать процессы генерации и минимизировать потери;

– используются для мониторинга и управления энергетическими установками в реальном времени;

– позволяют быстро масштабировать ресурсы в зависимости от потребностей, что особенно полезно для управления пиковыми нагрузками и обеспечения надежности энергоснабжения.

Использование умных контрактов для генерации, передачи, распределения и хранения электроэнергии позволяет: автоматизировать данные процессы, что включает в себя автоматическое выполнение условий контракта при наступлении определенных событий, таких как достижение определенного уровня потребления или генерации энергии; обеспечить прозрачность и отслеживаемость всех операций, связанных с энергией, что позволяет участникам рынка видеть все транзакции и быть уверенными в их подлинности; управлять спросом и предложением на электроэнергию в реальном времени; обеспечить высокий уровень безопасности данных и защиты от кибератак; быстро адаптироваться к изменениям на рынке и масштабировать ресурсы в зависимости от потребностей.

Технологии дополненной и виртуальной реальности значительно улучшают процессы генерации, передачи, распределения и хранения энергии:

– используются для создания интерактивных учебных программ, которые позволяют сотрудникам энергетических компаний обучаться в безопасной и контролируемой среде;

– можно создавать системы удаленного мониторинга и управления энергетическими объектами, что позволяет операторам контролировать состояние оборудования и управлять процессами в реальном времени, находясь на большом расстоянии от объекта;

– используются для диагностики и ремонта оборудования. Техники могут использовать очки дополненной реальности для получения пошаговых инструкций и визуализации внутренних компонентов оборудования, что упрощает процесс ремонта и снижает вероятность ошибок;

– проводить симуляции различных процессов генерации, передачи, распределения и хранения электроэнергии;

– используются для создания интерактивных панелей управления, которые позволяют операторам более эффективно управлять энергетическими системами.

Также технологии дополненной и виртуальной реальности улучшают процесс потребления электроэнергии: создание систем, которые позволяют пользователям в реальном времени отслеживать и управлять своим потреблением энергии; визуализация данных о потреблении энергии в реальном времени; создание игровых элементов (геймификации), которые стимулируют пользователей к энергосбережению.

Использование больших данных в энергетической отрасли может значительно повысить эффективность и надежность процессов генерации, передачи, распределения и хранения энергии:

– позволяют анализировать исторические данные о потреблении энергии и прогнозировать будущий спрос;

- позволяют анализировать различные факторы, влияющие на генерацию энергии, такие как состояние оборудования и спрос на энергию;
- позволяют в реальном времени отслеживать состояние энергетических сетей и оптимизировать маршруты передачи энергии;
- позволяют проводить мониторинг состояния оборудования и выявлять потенциальные проблемы до их возникновения;
- позволяют анализировать процессы хранения энергии и оптимизировать их, учитывая различные факторы, такие как уровень заряда батарей, прогнозируемый спрос на энергию и состояние оборудования;
- разрабатывать и тестировать системы кибербезопасности для энергетических объектов.

Использование больших данных для управления потреблением электроэнергии позволяет: анализировать исторические данные о потреблении энергии, выявлять тенденции и аномалии; разрабатывать и внедрять системы управления энергопотреблением, которые автоматически регулируют использование энергии в зависимости от текущих условий и потребностей; интегрировать умные счетчики и устройства, которые собирают и анализируют данные о потреблении энергии в реальном времени; разрабатывать персонализированные рекомендации для потребителей, основанные на их индивидуальных привычках и потребностях; разрабатывать и внедрять программы управления спросом, которые стимулируют потребителей снижать потребление энергии в периоды пикового спроса.

Использование цифровых технологий позволяет создать новое программное обеспечение, осуществить интеграцию и обеспечить взаимодействие с существующим для отображения в виртуальном виде реализации всех процессов. Это включает в себя применение на уровне отрасли систем управления основными фондами, производственными процессами, бизнес-процессами, человеческими ресурсами, ресурсами элемента энергетической сети и др. Формируя таким образом активный энергокомплекс, инфраструктуру интеллектуального учета, прогнозирование производства энергии, алгоритмическую торговлю и установку цен, предиктивное обслуживание, управление спросом и нагрузкой, сегментацию и анализ поведения потребителей, автоматизацию и стандартизацию процессов, повышение производительности персонала.

На основе представленных срезов цифрового двойника энергетической отрасли становится возможным цифровое управление элементами энергетической отрасли (бизнес-оптимизация, операционная оптимизация, управление производительностью активов, упреждающее регулирование, кибербезопасность).

Цифровой двойник в энергетической отрасли Донецкой Народной Республики представляет собой виртуальную модель физического объекта и системы, которая позволяет анализировать и оптимизировать процессы в реальном времени. Использование цифрового двойника в энергетической отрасли, основанного на представленных технологиях, способствует повышению эффективности, надежности и безопасности энергетических систем, а также улучшению управления энергетическими ресурсами.

#### **Заключение**

Таким образом, объединение представленных технологий и интеграция их для взаимодействия между собой на всех физических элементах энергетической отрасли позволяет создать цифровой двойник энергетической отрасли Донецкой Народной Республики, который позволяет отображать в цифровом виде процессы, протекающих на электростанциях, электрических сетях, хранилищах энергии и электрических системах потребителей, в режиме реального времени и управлять ими.

#### **Конфликт интересов**

Не указан.

#### **Рецензия**

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

#### **Conflict of Interest**

None declared.

#### **Review**

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

#### **Список литературы / References**

1. Kofod C. Smart Lighting – New Features Impacting Energy Consumption First Status Report / C. Kofod. — 2016 — URL: [http://ssl.iea4e.org/files/otherfiles/0000/0085/SSL\\_Annex\\_Task\\_7\\_-\\_First\\_Report\\_-\\_6\\_Sept\\_2016.pdf](http://ssl.iea4e.org/files/otherfiles/0000/0085/SSL_Annex_Task_7_-_First_Report_-_6_Sept_2016.pdf) (accessed: 25.07.2024)
2. Pye S. Energy poverty and vulnerable consumers in the energy sector across the EU: Analysis of policies and measures / S. Pye, A. Dobbins. — 2015 — URL: [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/INSIGHT\\_E\\_Energy%20Poverty%20-%20Main%20Report\\_FINAL.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/INSIGHT_E_Energy%20Poverty%20-%20Main%20Report_FINAL.pdf) (accessed: 25.07.2024)
3. Cotteller M. 3D opportunity: Additive manufacturing paths to performance, innovation, and growth / M. Cotteller, J. Joyce. — 2014 — URL: <https://dupress.deloitte.com/dup-us-en/deloitte-review/issue14/dr14-3d-opportunity.html> (accessed: 25.07.2024)
4. Brown A. An Analysis of Possible Energy Impacts of Automated Vehicle / A. Brown, J. Gonder, B. Repac // Road Vehicle Automation. — 2014. — 1. — p. 137–153. DOI: 10.1007/978-3-319-05990-7\_13.
5. Wible B. Rethinking the global supply chain / B. Wible, J. Mervis, N. S. Wigginton // Science. — 2014. — 344. — p. 1100–1103.
6. Акбердина В. В. Трансформация промышленного комплекса России в условиях цифровизации экономики / В. В. Акбердина // Известия Уральского государственного экономического университета. — 2018. — 3. — с. 82–99.

7. Вишневский В. П. Цифровая экономика в условиях четвертой промышленной революции: возможности и ограничения / В. П. Вишневский // Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика. — 2019. — 4. — с. 606–627.
8. Мозохин А. Е. Анализ направлений развития цифровизации отечественных и зарубежных энергетических систем / А. Е. Мозохин, В. Н. Шведенко // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. — 2019. — 4. — с. 657–672.
9. Половян А. В. Стратегическое планирование развития экономики в условиях цифровизации: инструменты, способы, методы / А. В. Половян, К. И. Сеницына — Москва: Магистр, 2023. — 304 с.
10. Массель Л. В. Онтологический подход к построению цифровых двойников объектов и систем энергетики / Л. В. Массель, Т. Н. Ворожцова // Онтология проектирования. — 2020. — 3(37). — с. 327–337.
11. Saddik A. E. Digital Twins: The Convergence of Multimedia Technologies / A. E. Saddik // IEEE MultiMedia. — 2018. — 2. — p. 87–92.
12. Cann G. Bits, Bytes, and Barrels. The Digital Transformation of Oil and Gas / G. Cann, R. Goydan — Moscow: Nobel Press, 2024. — 290 p.
13. Государственная программа «Информационное общество» // Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. — 2010 — URL: <https://digital.gov.ru/ru/activity/programs/1/> (дата обращения: 25.07.2024)
14. О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года»: Указ Президента Российской Федерации № 204 от 7 мая 2018 г. // Информационно-правовая система "Гарант". — 2018 — URL: <https://base.garant.ru/71937200/?ysclid=lypkqwk9wi262001764> (дата обращения: 25.07.2024)
15. Паспорт национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» // Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. — 2018 — URL: <https://digital.gov.ru/uploaded/files/tsifrovaya-ekonomika-rossijskoj-federatsii.pdf> (дата обращения: 25.07.2024)
16. Половян А. В. Экономика Донецкой Народной Республики: состояние, проблемы, пути решения: научный доклад / А. В. Половян — Донецк: ГБУ «Институт экономических исследований», 2023. — 420 с.
17. Введение внешнего управления в 2017 году спасло промышленность ДНР от уничтожения – Захарченко // Донецкое агентство новостей. — 2018 — URL: <https://web.archive.org/web/20180313153753/https://dan-news.info/ekonomika/vvedenie-vneshnego-upravleniya-v-2017-godu-spaslo-promyshlennost-dnr-ot-unichtozheniya-zacharchenko.html> (дата обращения: 07.08.2024)
18. Об утверждении Стратегии в области цифровой трансформации отраслей экономики, социальной сферы и государственного управления Донецкой Народной Республики: Указ Главы Донецкой Народной Республики № 644 от 29.12.2023 г. // Донецкая Народная Республика. — 2023 — URL: [http://doc.dnronline.su/wp-content/uploads/2023/12/Ukaz\\_N644\\_29122023.pdf](http://doc.dnronline.su/wp-content/uploads/2023/12/Ukaz_N644_29122023.pdf) (дата обращения: 07.08.2024)
19. Бертуланфи Л. Общая теория систем – обзор проблем и результатов / Л. Бертуланфи // Системные исследования: Ежегодник. — 1969. — 1. — с. 30–54.
20. Садовский В. Н. Основания общей теории систем / В. Н. Садовский — Москва: Наука, 1974. — 279 с.
21. Блауберг И. В. Системный подход в современной науке / И. В. Блауберг, В. Н. Садовский, Э. Г. Юдин // Проблемы методологии системных исследований. — 1970. — 3. — с. 7–48.

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Kofod C. Smart Lighting – New Features Impacting Energy Consumption First Status Report / C. Kofod. — 2016 — URL: [http://ssl.iea4e.org/files/otherfiles/0000/0085/SSL\\_Annex\\_Task\\_7\\_-\\_First\\_Report\\_-\\_6\\_Sept\\_2016.pdf](http://ssl.iea4e.org/files/otherfiles/0000/0085/SSL_Annex_Task_7_-_First_Report_-_6_Sept_2016.pdf) (accessed: 25.07.2024)
2. Pye S. Energy poverty and vulnerable consumers in the energy sector across the EU: Analysis of policies and measures / S. Pye, A. Dobbins. — 2015 — URL: [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/INSIGHT\\_E\\_Energy%20Poverty%20-%20Main%20Report\\_FINAL.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/INSIGHT_E_Energy%20Poverty%20-%20Main%20Report_FINAL.pdf) (accessed: 25.07.2024)
3. Cotteller M. 3D opportunity: Additive manufacturing paths to performance, innovation, and growth / M. Cotteller, J. Joyce. — 2014 — URL: <https://dupress.deloitte.com/dup-us-en/deloitte-review/issue14/dr14-3d-opportunity.html> (accessed: 25.07.2024)
4. Brown A. An Analysis of Possible Energy Impacts of Automated Vehicle / A. Brown, J. Gonder, B. Repac // Road Vehicle Automation. — 2014. — 1. — p. 137–153. DOI: 10.1007/978-3-319-05990-7\_13.
5. Wible B. Rethinking the global supply chain / B. Wible, J. Mervis, N. S. Wigginton // Science. — 2014. — 344. — p. 1100–1103.
6. Akberdina V. V. Transformatsiya promyshlennogo kompleksa Rossii v usloviyah tsifrovizatsii ekonomiki [Transformation of the Russian industrial complex in the context of digitalization of the economy] / V. V. Akberdina // Proceedings of the Ural State University of Economics. — 2018. — 3. — p. 82–99. [in Russian]
7. Vishnevskij V. P. Tsifrovaja ekonomika v usloviyah chetvertoj promyshlennoj revoljutsii: vozmozhnosti i ogranichenija [The digital economy in the context of the Fourth Industrial Revolution: opportunities and limitations] / V. P. Vishnevskij // Bulletin of St. Petersburg University. Economy. — 2019. — 4. — p. 606–627. [in Russian]
8. Mozohin A. E. Analiz napravlenij razvitija tsifrovizatsii otechestvennyh i zarubezhnyh energeticheskikh sistem [Analysis of the directions of development of digitalization of domestic and foreign energy systems] / A. E. Mozohin, V. N. Shvedenko // Scientific and technical bulletin of information technologies, mechanics and optics. — 2019. — 4. — p. 657–672. [in Russian]
9. Polovjan A. V. Strategicheskoe planirovanie razvitija ekonomiki v usloviyah tsifrovizatsii: instrumenty, sposoby, metody [Strategic planning of economic development in the context of digitalization: tools, methods, techniques] / A. V. Polovjan, K. I. Sinitsyna — Moskva: Magistr, 2023. — 304 p. [in Russian]

10. Massel' L. V. Ontologicheskij podhod k postroeniju tsifrovyh dvojnikov ob'ektov i sistem energetiki [An ontological approach to the construction of digital counterparts of energy facilities and systems] / L. V. Massel', T. N. Vorozhtsova // Design Ontology. — 2020. — 3(37). — p. 327–337. [in Russian]
11. Saddik A. E. Digital Twins: The Convergence of Multimedia Technologies / A. E. Saddik // IEEE MultiMedia. — 2018. — 2. — p. 87–92.
12. Cann G. Bits, Bytes, and Barrels. The Digital Transformation of Oil and Gas / G. Cann, R. Goydan — Moscow: Nobel Press, 2024. — 290 p.
13. Gosudarstvennaja programma «Informacionnoe obschestvo» [State program "Information Society"] // Ministry of Digital Development, Communications and Mass Media of the Russian Federation. — 2010 — URL: <https://digital.gov.ru/ru/activity/programs/1/> (accessed: 25.07.2024) [in Russian]
14. O natsional'nyh tseljah i strategicheskix zadachah razvitija Rossijskoj Federatsii na period do 2024 goda»: Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federatsii № 204 ot 7 maja 2018 g. [On National Goals and strategic objectives of the development of the Russian Federation for the period up to 2024": Decree of the President of the Russian Federation No. 204 dated May 7, 2018] // Information and legal system "Garant". — 2018 — URL: <https://base.garant.ru/71937200/?ysclid=lypkqwk9wi262001764> (accessed: 25.07.2024) [in Russian]
15. Pasport natsional'noj programmy «Tsifrovaja ekonomika Rossijskoj Federatsii» [Passport of the national program "Digital Economy of the Russian Federation"] // Ministry of Digital Development, Communications and Mass Media of the Russian Federation. — 2018 — URL: <https://digital.gov.ru/uploaded/files/tsifrovaya-ekonomika-rossijskoj-federatsii.pdf> (accessed: 25.07.2024) [in Russian]
16. Polovjan A. V. Ekonomika Donetskoy Narodnoj Respubliki: sostojanie, problemy, puti reshenija: nauchnyj doklad [The economy of the Donetsk People's Republic: state, problems, solutions: scientific report] / A. V. Polovjan — Donetsk: GBU «Institut ekonomicheskix issledovanij», 2023. — 420 p. [in Russian]
17. Vvedenie vneshnego upravlenija v 2017 godu spaslo promyshlennost' DNR ot unichtozhenija – Zaharchenko [The introduction of external management in 2017 saved the DPR industry from destruction – Zakharchenko] // Donetsk News Agency. — 2018 — URL: <https://web.archive.org/web/20180313153753/https://dan-news.info/ekonomika/vvedenie-vneshnego-upravleniya-v-2017-godu-spaslo-promyshlennost-dnr-ot-unichtozheniya-zaxarchenko.html> (accessed: 07.08.2024) [in Russian]
18. Ob utverzhdenii Strategii v oblasti tsifrovoj transformatsii otraslej ekonomiki, sotsial'noj sfery i gosudarstvennogo upravlenija Donetskoy Narodnoj Respubliki: Ukaz Glavy Donetskoy Narodnoj Respubliki № 644 ot 29.12.2023 g. [On the approval of the Strategy in the field of digital transformation of economic sectors, social sphere and public administration of the Donetsk People's Republic: Decree of the Head of the Donetsk People's Republic No. 644 dated 12/29/2023] // Donetsk People's Republic. — 2023 — URL: [http://doc.dnronline.su/wp-content/uploads/2023/12/Ukaz\\_N644\\_29122023.pdf](http://doc.dnronline.su/wp-content/uploads/2023/12/Ukaz_N644_29122023.pdf) (accessed: 07.08.2024) [in Russian]
19. Bertalanfi L. Obschaja teorija sistem – obzor problem i rezul'tatov [General Theory of Systems – overview of problems and results] / L. Bertalanfi // System Research: Yearbook. — 1969. — 1. — p. 30–54. [in Russian]
20. Sadovskij V. N. Osnovanija obschej teorii sistem [Foundations of the general theory of systems] / V. N. Sadovskij — Moskva: Nauka, 1974. — 279 p. [in Russian]
21. Blauberg I. V. Sistemnyj podhod v sovremennoj nauke [A systematic approach in modern science] / I. V. Blauberg, V. N. Sadovskij, E. G. Judin // Problems of system research methodology. — 1970. — 3. — p. 7–48. [in Russian]