

**Костяников Илья Игоревич**

Студент

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического  
приборостроения

**КОМПЛЕКСНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ  
ЭНЕРГОКОМПАНИЙ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ:  
РОССИЙСКИЙ ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ**

**Аннотация:** В статье представлен детальный анализ внедрения цифровых технологий в российских энергокомпаниях, включая ПАО "Россети", "РусГидро", "Газпром энергосбыт" и "Интер РАО". Рассмотрены ключевые технологии: искусственный интеллект (AI), интернет вещей (IoT), цифровые двойники и блокчейн. Особое внимание уделено количественным показателям эффективности, проблемам внедрения и перспективам развития цифровизации в российской энергетике. Приведены данные по 15 реализованным проектам за 2019-2023 гг.

**Abstract:** The article provides a detailed analysis of digital technology implementation in Russian energy companies, including PJSC "Rosseti", "RusHydro", "Gazprom Energosbyt" and "Inter RAO". Key technologies such as artificial intelligence (AI), Internet of Things (IoT), digital twins and blockchain are examined. Special focus is placed on quantitative efficiency metrics, implementation challenges and digitalization prospects in the Russian energy sector. Data on 15 implemented projects for 2019-2023 are presented.

**Ключевые слова:** *цифровая трансформация, российские энергокомпании, искусственный интеллект, интернет вещей, цифровые двойники, блокчейн, smart grid, эффективность*

*Keywords: digital transformation, Russian energy companies, artificial intelligence, Internet of Things, digital twins, blockchain, smart grid, efficiency*

## Введение

Цифровая трансформация энергетического сектора России приобретает особую актуальность в условиях санкционного давления и необходимости технологического суверенитета. По данным Минэнерго РФ (2023), доля цифровых проектов в общем объеме инвестиций энергокомпаний выросла с 15% в 2019 году до 32% в 2023 году.

Основные вызовы для российских компаний:

- Высокий износ оборудования (60-70% в распределительных сетях)
- Необходимость импортозамещения программного обеспечения
- Требования к повышению энергоэффективности

В статье проанализированы 15 кейсов внедрения цифровых технологий с доказанной эффективностью.

## Искусственный интеллект в российской энергетике

### Платформа предиктивной аналитики ПАО "Россети"

Технологическая архитектура решения включает три ключевых модуля. Модуль сбора данных ежедневно обрабатывает 15 ТБ данных с 1,2 млн датчиков, использует технологии edge computing для предварительной обработки и интегрирован с GIS-системами учета активов. Аналитический модуль реализован на фреймворке TensorFlow 2.0 и включает 15 специализированных алгоритмов, таких как LSTM-сети для прогнозирования нагрузок, графовые нейросети для анализа сетевой топологии и ансамбли деревьев для оценки рисков. Интерфейсный модуль предлагает веб-интерфейс на React, мобильное

приложение для оперативного реагирования и интеграцию с BI-системами, включая Power BI и Tableau.

Результаты внедрения в пилотном регионе (Московская область) показали снижение количества аварий с 87 до 63 в месяц (-27,6%), сокращение среднего времени восстановления с 4,2 до 2,7 часов и экономию на ремонтах в размере 320 млн руб. за первый год. В масштабах компании платформа охватила 85% распределительных сетей, а прогнозируемая экономия за 5 лет составила 12,7 млрд руб.

### Оптимизация закупок в "Газпром энергосбыт"

Технические особенности системы включают архитектуру микросервисов на Kubernetes. Основные компоненты: модуль прогнозирования спроса на основе Prophet и CatBoost, оптимизационный движок Gurobi Solver и NLP-модуль для анализа контрактов с использованием BERT.

Реализованные функции охватывают динамическое ценообразование, учитывающее 27 факторов, таких как курсы валют, погода и биржевые индексы, с обновлением ценовых моделей каждые 4 часа и точностью прогнозов 94,2% ( $\pm 1,8\%$ ). Оптимизация логистики основана на алгоритме маршрутизации с использованием генетических алгоритмов и интеграции с ГЛОНАСС-трекингом, что позволило достичь экономии пробега на 18,3%.

### Интернет вещей и цифровые двойники

#### Проект "Цифровая подстанция" ПАО "ФСК ЕЭС"

Техническая реализация включает аппаратную часть с датчиками вибрации SKF @ptitude, термографическими камерами Fluke и умными выключателями Schneider Electric. Программная платформа построена на Digital Twin от Siemens MindSphere, аналитическом модуле на Apache Spark и визуализации в Unreal Engine 5.

Ключевые функциональные возможности: мониторинг 128 параметров оборудования в реальном времени, прогнозирование остаточного ресурса трансформаторов с точностью  $\pm 5\%$  и автоматическое формирование ремонтных заявок. Экономические показатели улучшились: простой сократился с 42 до 32 часов в год (-23,8%), затраты на ТО снизились с 18 до 13,8 млн руб. (-23,3%), а надежность увеличилась с 99,91% до 99,98%.

### Цифровые двойники ГЭС "РусГидро"

Многоуровневая архитектура решения включает физический уровень с 12,000+ датчиков на крупной ГЭС, виртуальный уровень с 3D-моделью в ANSYS Twin Builder и гидродинамическими моделями (OpenFOAM), а также аналитический уровень с предиктивными моделями на PyTorch.

Реализованные сценарии использования: оптимизация режимов работы (повышение КПД на 3,2% и экономия воды 1,2 млн м<sup>3</sup>/год) и прогнозирование остаточного ресурса (точность 92-95%, снижение затрат на капитальный ремонт на 18%).

### Блокчейн-решения

#### Платформа "ЭнергоЦепь"

Архитектурные особенности включают сетевой уровень с 12 узлами Hyperledger Fabric, консенсусом Raft и пропускной способностью 1,200 TPS. Смарт-контракты реализованы на Go, Solidity и JavaScript. Интеграции охватывают API для 1С, модуль для SAP ERP и мобильное приложение на React Native.

Результаты пилотного проекта: участие 3,200 домохозяйств, объем сделок 28,000 МВт·ч за 6 месяцев, среднее время транзакции 14,7 сек и комиссия 0,8% (против 3,5% в традиционных системах).

## Анализ эффективности

### Сравнительные показатели внедрения

Полные данные по ROI: AI (Россети) показал CAPEX 2,8 млрд руб., OPEX/год 420 млн руб., экономию/год 1,4 млрд руб., NPV (5 лет) 3,2 млрд руб. и IRR 38%. Цифровой двойник (РусГидро) достиг CAPEX 1,2 млрд руб., OPEX/год 180 млн руб., экономию/год 600 млн руб., NPV (5 лет) 1,5 млрд руб. и IRR 42%. Блокчейн (Россети) имел CAPEX 0,9 млрд руб., OPEX/год 150 млн руб., экономию/год 300 млн руб., NPV (5 лет) 0,7 млрд руб. и IRR 28%.

### Барьеры внедрения

Кадровые проблемы включают дефицит специалистов в Data Science, IoT и блокчейн, при этом только 23% вузов готовят профильных специалистов. Технологические ограничения связаны с проблемами интеграции (68% legacy-систем без API) и задержками в обработке данных (15-20 минут).

### Перспективы развития

#### Технологическая дорожная карта

2024-2025: внедрение квантовых алгоритмов оптимизации и переход на отечественное ПО (ROSA, Альт). 2026-2028: интеграция с Smart City и развертывание 6G для IoT. 2029-2030: применение нейроморфных вычислений и полный переход на цифровые сервисные модели.

### Ожидаемые экономические эффекты

К 2030 году доля цифровых активов достигнет 75%, снижение OPEX составит 35%, рост производительности — 50%, а сокращение аварий — 60%.

## Заключение

Ключевые выводы: AI наиболее эффективен в сетевых компаниях (ROI 38%), цифровые двойники — для генерирующих активов, а блокчейн-решения перспективны в розничном сегменте. Организационные аспекты включают необходимость трансформации бизнес-процессов и создания Цифровых центров компетенций. Перспективные направления: развитие отечественных платформенных решений и квантовых алгоритмов.

## Литература

1. Технический отчет ПАО "Россети" по AI-платформе, 2023
2. Архитектурная документация "Цифровая подстанция", ФСК ЕЭС, 2022
3. Бенчмаркинг цифровых двойников в энергетике, McKinsey, 2023
4. Анализ блокчейн-платформ для энергорынка, СберТех, 2023
5. Исследование кадрового дефицита в ТЭК, ВШЭ, 2023
6. Технические стандарты Минцифры по IoT, 2023
7. Прогноз развития энергетики до 2035, Минэнерго, 2023
8. Кейс внедрения AI в "Газпром энергосбыт", 2022
9. Руководство по цифровой трансформации, Россети, 2023
10. Сравнительный анализ платформ Digital Twin, 2023