

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА «ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИКИ»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

Т.Ф. Манцерава

«14» 06 2024 г.

РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА

СОЗДАНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ  
(НА ПРИМЕРЕ ФИЛИАЛА «МИНСКИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ»  
РУП «МИНСКЭНЕРГО»)

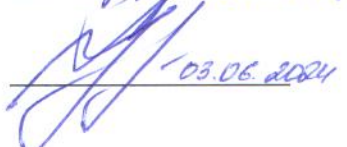
Специальность 1-27 01 01 – «Экономика и организация производства»

Направление специальности 1-27 01 01-10 – «Экономика и организация  
производства (энергетика)»

Обучающийся  
группы 10607120

 П.Г. Назарова

Руководитель

 03.06.2024 Е.П. Корсак

Консультанты

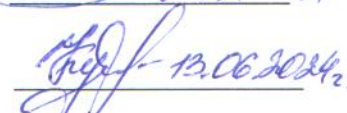
по разделу конструкторско-  
технологическая часть

 05.06.2024 Е.А. Дерюгина

по разделу охрана труда

 08.05.2024 О.В. Абметко

Ответственный за нормоконтроль

 13.06.2024 А.В. Левковская

Объем проекта:

пояснительная записка – 94 страниц;

графическая часть – 12 листов;

магнитные (цифровые) носители – 1 единиц.

Минск 2024

## РЕФЕРАТ

Дипломный проект: 94 с., 19 рис., 13 табл., 50 источников, 1 прил.

ЦИФРОВИЗАЦИЯ, ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ, INDUSTRY 4.0, ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ , ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ , МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ, БОЛЬШИЕ ДАННЫЕ, ОБЛАЧНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ, ЭНЕРГЕТИКА, АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ.

Объектом исследования является «Минские электрические сети» РУП «Минскэнерго».

Предметом исследования являются теоретические, методологические и практические аспекты применения цифровизации и цифровых двойников в энергетике, особенно в контексте повышения эффективности и безопасности производственных процессов.

Цель работы – анализ и изучение применения цифровизации и создания цифровых двойников в рамках Industry 4.0, а также разработка методик по оптимизации данных процессов в энергетике.

В процессе работы рассмотрены концепции и технологии, такие как интернет вещей , искусственный интеллект , машинное обучение , большие данные и облачные вычисления, которые используются для сбора, анализа и оптимизации данных в реальном времени. Рассматривалось применение этих технологий на «Минские электрические сети» РУП «Минскэнерго», а также анализировались разработанные мероприятия по совершенствованию и экономический эффект от внедрения цифровых двойников.

Применение результатов исследования позволит повысить экономическую эффективность деятельности предприятия, улучшить систему управления производством и обеспечить более высокую степень автоматизации и безопасности процессов.

Студент-дипломник подтверждает, что приведенный в дипломном проекте расчетно-аналитический материал объективно отражает состояние исследуемого процесса, а все заимствованные из литературных источников теоретические, методологические и методические положения и концепции сопровождаются ссылками на их авторов.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Анализ проблемы разработки и использования в промышленности цифровых двойников силовых трансформаторов // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54521507/> – Дата доступа: 28.05.2024.
2. Цифровая трансформация отраслей: стартовые условия и приоритеты трансформаторов // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://conf.hse.ru/mirror/pubs/share/463148459.pdf> – Дата доступа: 28.05.2024.
3. Топливо-энергетический комплекс // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ivo.garant.ru/#/document/57790574> – Дата доступа: 28.05.2024.
4. Цифровая трансформация электроэнергетики // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.digital-energy.ru/wp-content/uploads/2020/04/strategiya-tsifrovoy-transformatsii-elektroenergetiki.pdf> – Дата доступа: 28.05.2024.
5. Цифровая трансформация ТЭК // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://conf.hse.ru/mirror/pubs/share/463148459.pdf> – Дата доступа: 28.05.2024.
6. Цифровая трансформация топливо-энергетического комплекса: основные направления и задачи // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48794990> – Дата доступа: 28.05.2024.
7. Направление цифровой трансформации // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ivo.garant.ru/#/document/30053165> – Дата доступа: 28.05.2024.
8. Построение модели себестоимости передачи электроэнергии при внедрении цифровой подстанции // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50135763> – Дата доступа: 28.05.2024.
9. Цифровизация энергетического комплекса: тенденции, барьеры, экономический эффект – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48608531> – Дата доступа: 28.05.2024.
10. Цифровой двойник – Режим доступа: <https://unity.com/ru/solutions/digital-twin-definition> – Дата доступа: 28.05.2024.
11. Цифровизация энергетического комплекса: – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48608531> – Дата доступа: 28.05.2024.
12. Методика создания цифровых двойников трансформаторов // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://nbiservice.ru/energy/sozdanie-cifrovih-dvoinikov/> – Дата доступа: 28.05.2024.

13. Факторы, определяющие цифровую трансформация // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.digital-energy.ru/wp-content/uploads/2020/04/strategiya-tsifrovoy-transformatsii-elektroenergetiki.pdf> – Дата доступа: 28.05.2024.
14. Цифровые технологии // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.3dfindit.com/ru/engiclopedia/digitaltwins> – Дата доступа: 28.05.2024.
15. Понятия цифровая модель и цифровая тень // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.3dfindit.com/ru/engiclopedia/digitaltwins> – Дата доступа: 28.05.2024.
16. Преимущества цифрового двойника // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://unity.com/ru/solutions/what-is-ci-cd> – Дата доступа: 28.05.2024.
17. Использование цифрового двойника // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-primeneniya-tsifrovyyh-dvoynikov-v-promyshlennosti> – Дата доступа: 28.05.2024.
18. Пример использование ЦД // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-primeneniya-tsifrovyyh-dvoynikov> – Дата доступа: 28.05.2024.
19. Пример использование ЦД // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://controleng.ru/innovatsii/cifrovye-dvojniki/primeneniye-cifrovyyh-dvoynikov/> – Дата доступа: 28.05.2024.
20. Использование цифровые технологий в развитии "умных городов": опыт Республики Беларусь // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54220271> / – Дата доступа: 28.05.2024.
21. Автоматизированная система контроля и учета электроэнергии – Режим доступа: [https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/124674/ENlektrosnabzhenie\\_promyshlennyh\\_predpriyatij.pdf](https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/124674/ENlektrosnabzhenie_promyshlennyh_predpriyatij.pdf) – Дата доступа: 28.05.2024.
22. Цифровизация энергетики – Режим доступа: <https://energy.hse.ru/digitalization> – Дата доступа: 28.05.2024.
23. Цифровые районы электрических сетей – Режим доступа: <https://www.iksmedia.ru/news/5673039-Gruppa-Rosseti-sozdast-34-cifrovyyh.html> – Дата доступа: 28.05.2024.
24. Виртуально-цифровая АЭС – Режим доступа: [https://www.mashportal.ru/news/company/company\\_news-55665.aspx](https://www.mashportal.ru/news/company/company_news-55665.aspx) – Дата доступа: 28.05.2024.
25. Уровень цифровизации энергетического комплекса Республики Беларусь – Режим доступа: <https://www.belta.by/economics/view/minenergo->

uroven-tsifrovizatsii-energeticheskogo-kompleksa-belarusi – Дата доступа: 28.05.2024.

26. Минские электрические сети – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/7372793/> – Дата доступа: 28.05.2024.

27. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей – Режим доступа: <https://www.energo.by/> – Дата доступа: 28.05.2024.

28. Документация «Минские электрические сети».

29. Документация «Минские электрические сети».

30. Документация «Минские электрические сети».

31. Документация «Минские электрические сети».

32. Анализ потерь электрической энергии и пути их снижения в городских электрических сетях – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54268919> – Дата доступа: 28.05.2024

33. Документация «Минские электрические сети».

34. Меры по модернизации и оптимизации – Режим доступа: <https://energy.hse.ru/digitalization> – Дата доступа: 28.05.2024.

35. Документация «Минские электрические сети».

36. Описание потерь электроэнергии – Режим доступа: <https://www.garant.ru/#/document/90442133> – Дата доступа: 28.05.2024.

37. Кабели напряжением 6-10 кВ – Режим доступа: [ep.bntu.by/bitstream/handle/data/29355/Vybor\\_ehlektrooborudovaniya.pdf](ep.bntu.by/bitstream/handle/data/29355/Vybor_ehlektrooborudovaniya.pdf) – Дата доступа: 28.05.2024.

38. Экономическая плотность тока – Режим доступа: [ep.bntu.by/bitstream/handle/data/29355/Vybor\\_ehlektrooborudovaniya.pdf](ep.bntu.by/bitstream/handle/data/29355/Vybor_ehlektrooborudovaniya.pdf) – Дата доступа: 28.05.2024.

39. Сечение проводов линий электропередач – Режим доступа: [ep.bntu.by/bitstream/handle/data/29355/Vybor\\_ehlektrooborudovaniya.pdf](ep.bntu.by/bitstream/handle/data/29355/Vybor_ehlektrooborudovaniya.pdf) – Дата доступа: 28.05.2024.

40. Допустимая кратковременная перегрузка для кабелей с бумажной пропитанной изоляцией напряжением до 10 кВ – Режим доступа: [ep.bntu.by/bitstream/handle/data/29355/Vybor\\_ehlektrooborudovaniya.pdf](ep.bntu.by/bitstream/handle/data/29355/Vybor_ehlektrooborudovaniya.pdf) – Дата доступа: 28.05.2024.

41. Устав «Минские электрические сети».

42. Устав «Минские электрические сети».

43. Закон Республики Беларусь от 23.06.2008 г. № 356-З "Об охране труда" (изменения и дополнения Закон Республики Беларусь от 17.07.2023 г. № 300-З).

44. Инструкция о порядке обучения, стажировки, инструктажа и проверки знаний работающих по вопросам охраны труда: постановление Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь от 28 ноября

2008 г. № 175, в редакции постановлений Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь от 27.06.2011 №50, от 24.12.2013 № 131, от 6.03.2018 № 28, от 09.05.2020 г. № 54, от 14.07.2022 № 45. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pravo.by>. – Дата доступа: 28.05.2024.

45. ТКП 427-2022 (33240). Электроустановки. Правила по обеспечению безопасности при эксплуатации. – Введ. 2022-07-01. – Минск : Минэнерго, 2022. – 166 с.

46. Электроустановки на напряжение до 750 кВ. Линии электропередачи воздушные и токопроводы, устройства распределительные и трансформаторные подстанции, установки электросиловые и аккумуляторные, электроустановки жилых и общественных зданий. Правила устройства и защитные меры электробезопасности. Учет электроэнергии. Нормы приемосдаточных испытаний: ТКП 339–2022: утверждено 18.10.2022 г. Постановлением №30 Минэнерго Республики Беларусь. – Взамен ТКП 339–2011; Введ. с 20.12.2022 г. – Минск: Филиал «Информационно–издательский центр» ОАО «Экономэнерго», 2022. – 600 с.

47. Силовые кабельные линии напряжением 6–110 кВ. Нормы проектирования по прокладке кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена пероксидной сшивки: ТКП 611–2017. – Введ. 02.10.17. – Минск: Минэнерго Респ. Беларусь, 2017. – 103 с.

48. Пожарная безопасность энергетических объектов / Сеньковец, В. В. [и др.]; науч. рук. Л.П. Филянович // Новые материалы и технологии их обработки: сборник научных работ XVII Республиканской студенческой научно-технической конференции, 20–22 апреля 2016 года / Белорусский национальный технический университет, Механико-технологический факультет. Охрана труда и промышленная безопасность. – Минск: БНТУ, 2016. – С. 195–197.