



КАЗАНСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

**XXV ВСЕРОССИЙСКИЙ АСПИРАНТСКО-МАГИСТЕРСКИЙ
НАУЧНЫЙ СЕМИНАР,
ПОСВЯЩЕННЫЙ ДНЮ ЭНЕРГЕТИКА**

Казань, 7–8 декабря 2021 г.

Материалы докладов

В трех томах

Том 1

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Казанский государственный энергетический университет»**

**XXV ВСЕРОССИЙСКИЙ АСПИРАНТСКО-МАГИСТЕРСКИЙ
НАУЧНЫЙ СЕМИНАР,
ПОСВЯЩЕННЫЙ ДНЮ ЭНЕРГЕТИКА**

Казань, 7–8 декабря 2021 г.

Материалы конференции

В трех томах

ТОМ 1

*Под общей редакцией ректора КГЭУ
Э. Ю. Абдуллазянова*

Казань 2022

УДК 621.311+51+53+620.22+502+614.8+620.92

ББК 31+32+22+68.9+38.9

Д22

Рецензенты:

заведующий кафедрой ИЭ ФГБОУ ВО «КНИТУ-КХТИ»,

доктор технических наук, профессор И. Г. Шайхиев;

проректор по РиИ ФГБОУ ВО «КГЭУ»,

доктор технических наук, доцент И. Г. Ахметова

Редакционная коллегия:

Э. Ю. Абдуллазянов (гл. редактор); И. Г. Ахметова (зам. гл. редактора),

Е. С. Дремичева

Д22 XXV Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный Дню энергетика : материалы конференции : [в 3 томах] / под общей редакцией ректора КГЭУ Э. Ю. Абдуллазянова. – Казань: КГЭУ, 2022. – Т. 1. – 478 с.

ISBN 978-5-89873-586-9 (т. 1)

ISBN 978-5-89873-589-0

В сборнике представлены материалы XXV Всероссийского аспирантско-магистерского научного семинара, посвященного Дню энергетика, в которых изложены результаты научно-исследовательской работы молодых ученых, аспирантов и студентов по проблемам в области тепло- и электроэнергетики, ресурсосберегающих технологий в энергетике, энергомашиностроения, инженерной экологии, электромеханики и электропривода, фундаментальной физики, современной электроники и компьютерных информационных технологий, экономики, социологии, истории и философии.

Предназначены для научных работников, аспирантов и специалистов, работающих в сфере энергетике, а также для студентов вузов энергетического профиля.

Материалы докладов публикуются в авторской редакции. Ответственность за содержание тезисов возлагается на авторов.

УДК 621.311+51+53+620.22+502+614.8+620.92

ББК 31+32+22+68.9+38.9

ISBN 978-5-89873-586-9 (т. 1)

© КГЭУ, 2022

ISBN 978-5-89873-589-0

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА «ANYLOGIC»

Дмитрий Игоревич Семин¹, Рамил Рифатович Гибадуллин²
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан
¹piligrim.10@inbox.ru, ²gibadullin.rr90@gmail.com

Аннотация. В статье рассмотрена цифровизация в промышленности и энергетике, а также ее влияние на указанные сферы. Подробно рассмотрены преимущества цифрового двойника предприятия. Рассмотрен программный продукт, с помощью которого возможно произвести имитационное моделирование цифрового двойника промышленного предприятия.

Ключевые слова: цифровизация, имитационная модель, промышленность, энергетика, цифровой двойник.

DEVELOPMENT OF A DIGITAL TWIN OF AN INDUSTRIAL ENTERPRISE BASED ON THE "ANYLOGIC" SOFTWARE PRODUCT

Dmitry I. Semin¹, Ramil R. Gybadullin²
KSPEU, Kazan, Republic of Tatarstan
¹piligrim.10@inbox.ru, ²gibadullin.rr90@gmail.com

Abstract. The article discusses digitalization in industry and energy, as well as its impact on these areas. The advantages of the digital twin of the enterprise are considered in detail. A software product for digital twin simulation is considered.

Keywords: digitalization, simulation model, industry, energy, digital twin.

За последние 20 лет уровень цифровизации во всех сферах жизни человека существенно вырос. Сформировались предпосылки для перевода ключевых процессов в цифровую среду [1]. Согласно исследованиям IDC, международной исследовательской компании, которая занимается изучением мирового рынка информационных технологий и телекоммуникаций, в 2018 г. на компании, реализовавшие цифровую трансформацию, приходилось почти 17 % мирового ВВП (13,5 трлн долл.). Ожидается, что к 2023 г. эта цифра вырастет как минимум в 4 раза – до 53,3 трлн долл. Важно отметить, что согласно данным, которые предоставляет НИУ ВШЭ, ожидается рост спроса на разработки в области искусственного интеллекта и новых производственных технологий [2].

Цифровизация в промышленности, несомненно, является крупной частью этих процессов. В каждой отрасли существует ряд задач, которые призваны развивать цифровизацию. В Российской Федерации эти задачи изложены в Энергетической стратегии РФ до 2035 г. Среди таких задач – повышение энергетической эффективности. [3].

Одним из главных трендов цифровизации в промышленности является технология цифрового двойника предприятия.

Цифровой двойник предприятия представляет собой виртуальный прототип реального предприятия. Особенностью этого сложного программного продукта является его интерактивность, ведь благодаря его появляется возможность моделировать рабочие процессы на производстве. Среди возможностей цифрового двойника так же отмечают:

- получение точной информации о системе на протяжении всего жизненного цикла;
- прогнозирование будущих состояний системы;
- удаленное управление объектом в режиме реального времени [4].

Крупные компании уже начинают применять эту технологию. Например, «Газпромнефть». Уже в конце 2019 года специалисты компании присутствовали к созданию цифровой интегрированной модели восточного участка Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения.

Преимущества, которые обещает принести внедрение цифрового двойника, очевидны. Среди них – оптимизация производства, минимизация ошибок и сбоев, продление срока службы оборудования, увеличение качества продукции[5].

В настоящее время существуют разные программные продукты для имитационного моделирования. Среди них выделяется AnyLogic – ПО, разработанное российской компанией The AnyLogic Company [6]. Среди преимуществ данного инструмента:

- бесплатная версия для обучения;
- вариативность языков моделирования. В том числе – визуальные: диаграммы процессов, состояния и т.д.;
- возможность применения языка Java;
- наличие доступа к различным библиотекам моделирования процессов [7].

Таким образом, благодаря современному программному обеспечению, есть возможность самостоятельно изучить создание цифрового двойника предприятия.

Источники

1. Ившин И.В., Галяутдинова А.Р., Владимиров О.В., Низамиев М.Ф., Усманов И.К. Методика онлайн оценки технического состояния трансформаторной подстанции 35/6 (10) кВ по коэффициенту экспресс-анализа // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2021. Т.23. № 4. С. 18.

2. Абдрахманова Г.И., Вишневецкий К.О., Зинина Т.С., Ковалева Г.Г., Полякова В.В., Приворотская С.Г., Рудник П.Б., Суслов А.Б., Фурсов К.С. Тренды цифровизации [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://issek.hse.ru/mirror/pubs/share/457149496.pdf> (дата обращения: 10.11.2021).

3. Энергетическая Стратегия Российской Федерации на период до 2035 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 г. № 1523-р [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://static.government.ru/media/files/w4sigFOiDjGVDYT4IgsApssm6mZRb7wx.pdf> (дата обращения: 10.11.2021).

4. Как цифровые двойники помогают российской промышленности [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rb.ru/longread/digital-twin/> (дата обращения: 11.11.2021).

5. Реальная цифровизация: 7 примеров эффективного внедрения BIG DATA, PLM и IIOT в промышленности [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.bigdataschool.ru/blog/digital-twin-use-cases-industry.html> (дата обращения: 11.11.2021).

6. Герасимов Д.О., Суслов К.В. Системы имитационного моделирования мультиэнергетических объектов // Вестник КГЭУ . 2020. Т.12. №4(48). С. 13.

7. Официальный сайт программного продукта AnyLogic [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.anylogic.ru/> (дата обращения: 11.11.2021).

УДК 620.9

РАЗРАБОТКА НАКОПИТЕЛЕЙ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ НА ОСНОВЕ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Артур Эдуардович Смарунь¹, Альфред Робертович Сафин²
ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан
¹artursmarun@gmail.com, ²sarkazan@bk.ru

Аннотация. В статье рассмотрена суть применения накопителей большой мощности на основе литий-ионных аккумуляторов. Рассмотрены недостатки накопителей на основе натрий-серных аккумуляторов. Подробно рассмотрены преимущества литий-ионных аккумуляторов.

Ключевые слова: накопители, литий-ионные аккумуляторы, промышленность, энергетика, накопители большой мощности.

Семина Д.И., Гибадуллин Р.Р. Разработка цифрового двойника промышленного предприятия на основе программного продукта «AnyLogic»	136
Смарунь А.Э., Сафин А.Р. Разработка накопителей большой мощности на основе литий-ионных аккумуляторов.	138
Туйтанова Н.Н. Применение системы сбора данных в электроэнергетике.	141
Фадеев А.В. Разработка методики диагностики силовых трансформаторов в процессе их эксплуатации.	143
Фаизов Н.Н. Оценка внедрения способов получения электроэнергии благодаря кинетической энергии человека.	146
Цицонь И.И. Исследование и разработка высоковольтного синхронного электропривода компрессора с автоматическим режимом компенсации реактивной мощности.	148
Шкарупа И.А. Использование накопителей энергии в целях снижения потерь мощности в сети предприятия.	150

Секция 4. Промышленная электроника и светотехника. Электрические и электронные аппараты

Галимуллин Н.Р., Мударисова Э.Я. Обзор режимов работы таймеров/счетчиков современных микроконтроллеров	153
Назарова А.Д., Попов Г.С. Разработка макета устройства удалённого присутствия.	155
Холмогоров И.В. Разработка и применение интеллектуального уличного освещения.	158
Якшибаев А.Р. Перспективы внедрения интеллектуальных систем освещения.	161

Секция 5. Перспективные материалы и направления развития физики, химии, математики и материаловедения

Абдреев К.А. Перспективные методы изомеризации на основе сульфатированного оксида циркония.	164
Агафонов А.Д. Получение сверхчистого водорода	167
Алексеев Ф.В. Перспективные методы извлечения редких металлов из руды.	169
Афанасьева В.В. Тонкие пленки из кислорода, меди и нитрида титана – их особенное свойство.	172
Быков А.Е. Сверхпроводники второго рода	175

Научное издание

XXV ВСЕРОССИЙСКИЙ АСПИРАНТСКО-МАГИСТЕРСКИЙ
НАУЧНЫЙ СЕМИНАР,
ПОСВЯЩЕННЫЙ ДНЮ ЭНЕРГЕТИКА

(Казань, 7–8 декабря 2021 г.)

Материалы конференции

В трех томах

Том 1

Под общей редакцией ректора КГЭУ Э. Ю. Абдуллазянова

Авторская редакция

Корректор *Е. С. Дремичева*
Компьютерная верстка *Е. С. Дремичевой*
Дизайн обложки *Ю. Ф. Мухаметшиной*

Подписано в печать 28.02.2022

Формат 60x84/16. Гарнитура «Times». Вид печати РОМ

Усл. печ. л. 27,78 Уч.-изд. л. 22,53 Тираж 200 экз. Заказ №5241

Центр публикационной активности КГЭУ
420066, Казань, Красносельская, д. 51



ISBN 978-5-89873-586-9



9 785898 735869