

АННОТАЦИЯ

**диссертации на соискание степени доктора философии (PhD)
по специальности 8D06101-«Информационные системы»**

Шермантаева Жазира Утегеновна

**Разработка информационной системы для электроэнергетики с
использованием IoT технологии**

Актуальность исследования обосновывается следующими факторами:

- Спрос на энергию и устойчивое развитие: к 2040 году мировой спрос на электроэнергию вырастет на 70%. В Казахстане объем потребления увеличивается, поставлена задача довести долю ВИЭ до 15% к 2030 году.
- Необходимость цифровой трансформации: технологии на основе Smart Grid, IoT и искусственного интеллекта направлены на повышение энергоэффективности, надежности и конкурентоспособности рынка.
- Нестабильность ВИЭ: генерация ветровой и солнечной энергии зависит от климатических условий, что требует резервирования и интеллектуального управления для поддержания баланса мощности.
- Энергетическая безопасность: автономность и устойчивость локальных энергетических систем (МЭС) в аварийных ситуациях укрепляют энергетическую независимость.
- Интеллектуальный мониторинг: системы на базе FPGA и IoT осуществляют контроль в реальном времени, снижая потери и повышая надежность.
- Проблемы интеграции ВИЭ: недостаточная автоматизация и нестабильность генерации могут быть решены с помощью технологий Smart Grid, ESS и Demand Response.

Настоящее исследование предлагает формирование ЛЭЭС путем внедрения систем интеллектуального мониторинга и управления на основе технологий IoT и Smart Grid. Данные решения позволяют снизить энергопотери на 12%, уменьшить количество аварийных отключений и укрепить энергетическую безопасность Казахстана. Исследование соответствует целям национального проекта и способствует трансформации энергетического сектора Казахстана в соответствии с глобальными энергетическими трендами.

Основная цель диссертационного исследования – создание информационной системы на основе технологии IoT, обеспечивающей мониторинг в реальном времени и эффективное функционирование электроэнергетических систем.

Для достижения указанной цели поставлены следующие задачи:

1. Провести анализ современных технологий и направлений цифровой трансформации в энергетической отрасли.

2. Разработать модель функционирования электрических сетей на основе возобновляемых источников энергии.

3. Создать устройство мониторинга работы IoT в электроэнергетической системе.

4. Разработать систему интеллектуального (Smart) мониторинга электроэнергетической системы.

Объект исследования – электроэнергетические системы Туркестанской области, в частности ТОО «Оңтүстік Жарық Транзит», подстанция 35/10 кВ «Новая» и распределительные сети.

Предмет исследования – Smart Grid и интеллектуальные энергетические системы, теория информационных систем, архитектура информационных систем, системы искусственного интеллекта.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость:

1. Разработана новая методика оценки надежности и качества локальных электроэнергетических систем (ЛЭЭС) на основе синтеза марковских процессов и теории подобия (алгоритм MSSB), научно обоснована применимость интегрального показателя качества.

2. Предложена многоуровневая архитектура гибридной информационной системы, объединяющей технологии IoT и FPGA, что дополняет теорию информационных систем в энергетике.

3. Разработаны новые модели обработки и управления данными в реальном времени, расширяющие теоретические основы Smart Grid и микросетей.

Практическая значимость:

1. В результате пилотного внедрения на подстанциях ТОО «Оңтүстік Жарық Транзит» в г. Туркестан технологические потери электроэнергии снизились на 10%, уменьшилось количество аварийных отключений, средний коэффициент загрузки сети вырос с 0,67 до 0,76.

2. Разработанные программные продукты (Energy Monitoring 360 и другие модули) защищены авторским правом и используются в реальной эксплуатации.

3. Устройство мониторинга на базе FPGA и ESP32 рекомендовано к серийному производству.

4. Полученные результаты непосредственно способствуют реализации государственной программы «Цифровой Казахстан» Министерства национальной экономики РК, а также Цели 7 устойчивого развития ООН (Доступная и чистая энергия).

Диссертационная работа вносит вклад в развитие теории информационных систем в энергетике, а с практической точки зрения способствует укреплению энергетической безопасности Казахстана и обеспечивает конкретный экономический эффект.

Надежность и обоснованность результатов

В процессе диссертационной работы в качестве научных произведений получены и внесены в государственный реестр следующие свидетельства:

Авторское свидетельство № 34772. Дата выдачи: 18.04.2023. Название: «Комплекс программ определения и визуализации динамики двухмашинной электроэнергетической системы».

Авторское свидетельство № 49103. Дата выдачи: 16.08.2024. Название: «Energy Monitoring 360». Авторы: Шермантаева Жазира Утегеновна, Мамырбаев Оркен Жумажанович.

Авторское свидетельство № 110971. Год выдачи: 2024. Название: «Гибридная модель EWT-LSTM-RELM-IEWT и система мониторинга и прогнозирования аварийных ситуаций на электроэнергетических подстанциях на основе Интернета вещей» (Приложение Э).

Апробация диссертационной работы

Результаты исследований были представлены и обсуждены на следующих научно-практических конференциях, а также на научных семинарах отечественных научно-исследовательских институтов и учебных заведений (Приложение Б):

1. VII Международная научно-практическая конференция «Информатика и прикладная математика» (Алматы, 20–21 октября 2022 г.);
2. XIX Международная азиатская школа-семинар «Проблемы оптимизации сложных систем» (14–22 августа 2023 г.);
3. VIII Международная научно-практическая конференция «Информатика и прикладная математика» (Алматы, 26–27 октября 2023 г.);
4. Научные семинары Института «Информационные и вычислительные технологии» (2020–2023 гг., Алматы);
5. Научные семинары факультета «Информационные технологии» Казахского национального университета имени аль-Фараби (2020–2023 гг., Алматы).

Публикации

По материалам диссертационной работы Ж.У. Шермантаевой опубликовано 13 статей. Из них:

4 статьи опубликованы в журналах, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере науки и образования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан;

4 статьи опубликованы в материалах зарубежных и казахстанских международных научно-практических конференций;

5 статей опубликованы в изданиях, индексируемых в базах данных Scopus и Thomson Reuters.

Статьи в базе данных Scopus (5 статей, из них 1-я в 85-м перцентиле)

1. Wójcik W., Lezhniuk P., Shermantayeva Z. Integrated Assessment of the Quality of Functioning of Local Electric Energy Systems // Energies. 2025. Vol. 18. Issue 1. Article 137. DOI: <https://doi.org/10.3390/en18010137> (22 стр.).
2. Mamyrbayev O., Shermantayeva Zh. Cybersecurity Framework for IoT Integrated Electric Power Information Systems // International Journal of Industrial Engineering and Management. 2024. DOI: <https://doi.org/10.24867/ijiem-376> (12 стр.).

3. Kalimoldayev M., Wójcik W., Shermantayeva Zh. Development Of A Monitoring System For Electric Power Substations Based On IoT And Implementation Of Designs On FPGA // International Journal of Electronics and Telecommunications. 2023. DOI: <https://doi.org/10.24425/ijet.2023.147708> (10 стр.).

4. Wójcik W., Tymchenko L., Shermantayeva Z. Optical System Visualization of Combined Reflectance Model Based on Cubic and Quadratic Functions // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.3023138> (8 стр.).

5. Kalimoldayev M.N., Abdildayeva A.A., Shermantayeva Zh.U. Implementation of a Database on Solar Resources for the Design of PV Solar Technologies // Book Chapter. 2024. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-49711-7_26 (15 стр.).

Статьи в журналах, входящих в Перечень ККСОН РК

1. Kalimoldayev M., Shermantayeva Zh. Model Development and Calculations for 35/10 kV Electrical Substations in Turkestan Region Using RastrWin3 Program // Scientific Journal of Astana IT University. 2024. DOI: <https://doi.org/10.37943/16DGMZ9449> (14 стр.).

2. Wójcik W., Шермантаева Ж.У. Проблемы развития электроэнергетической отрасли на основе технологии IoT // Вестник КазНПУ им. Абая. 2022. Том 78. № 2. DOI: <https://doi.org/10.51889/2022-2.1728-7901.16> (9 стр.).

3. Shermantayeva Z., Mamyrbayev O. Development and Creation of Hybrid EWT-LSTM-RELM-IEWT Modeling in High-Voltage Electric Networks // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Physico-Mathematical Series. 2024. Vol. 3. № 351. С. 223–240. DOI: <https://doi.org/10.32014/2024.2518-1726.302> (18 стр.).

4. Wójcik W., Shermantayeva Zh. Parallel-Hierarchical Optical Network as a Model of Natural Neural Network // Optical Fibers and Their Applications. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.3023432> (6 стр.).

Международные конференции

1. Шермантаева Ж. Обзор Интернета вещей (IoT) в электроэнергетике и энергетические системы // 3rd Online International Conference on Renewable Energy and Sustainable Technologies. 2022. Сборник: 97–108 с. (12 стр.).

2. Шермантаева Ж.У., Ахметжанов М.А. Интернет вещей для современных энергетических систем // VII Международная научно-практическая конференция «Информатика и прикладная математика», Алматы, 20–21 октября 2022. Сборник: 112–120 с. (9 стр.).

3. Шермантаева Ж.У. Применение методов анализа и обработки данных на основе IoT для электрической подстанции в Республике Казахстан // «Проблемы оптимизации сложных систем», Новосибирск, 14–22 августа 2023. Сборник: 85–92 с. (8 стр.).

4. Шермантаева Ж.У., Алшинбаева Д.О. IoT технологиясы негізіндегі трансформатордың таратуын бақылау және ақаулықтарын жою // VIII

Международная научно-практическая конференция «Информатика и прикладная математика», Алматы, 2023. Сборник: 7 стр.

Патенты и свидетельства об объектах интеллектуальной собственности (3 объекта)

1. Комплекс программ определения и визуализации динамики двухмашинной электроэнергетической системы. Авторское свидетельство № 34772 от 18.04.2023.

2. Energy Monitoring 360. Авторское свидетельство № 49103 от 16.08.2024. Авторы: Шермантаева Жазира Утегеновна, Мамырбаев Оркен Жумажанович.

3. Система мониторинга и прогнозирования аварийных ситуаций на электроэнергетических подстанциях на основе Интернета вещей и гибридной модели EWT-LSTM-RELM-IEWT. Полезная модель, Рег. № 2024/1652.2 от 25.12.2024. Авторы: Мамырбаев О.Ж., Шермантаева Ж.У.

Структура работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений.

Определения: IoT, FPGA, Smart Grid, энергетические ячейки и т.д.

Обозначения: ВИЭ, ЛЭП, ESS, SCADA.

Введение: Обоснованы цель и задачи исследования, научная новизна. В процессе работы опубликовано 13 научных статей, в том числе в авторитетных международных и республиканских изданиях. Получены и внесены в государственный реестр свидетельства об авторском праве на 2 объекта (№ 34772 от 18 апреля 2023 г. и № 49103 от 16 августа 2024 г.), а также свидетельство на полезную модель № 110971.

Глава 1: Современные тенденции цифровой трансформации в электроэнергетике и информационные технологии.

Глава 2: Информационная структура и модели электроэнергетических систем.

Глава 3: Методы обработки и прогнозирования данных электроэнергетических систем.

Глава 4: Проектирование, разработка и реализация информационной системы на основе IoT для электроэнергетики.

Заключение: Выводы, рекомендации, области применения.

Список литературы: 131 источник.

Приложения: Схемы, коды, результаты, диаграммы.

Научная стажировка: Люблинский технический университет, г. Люблин, Польша, с 29 апреля по 27 июня 2023 г.