АННОТАЦИЯ

к диссертационной работе (серии статей) на соискание степени «доктор философии» (PhD) по образовательной программе «8D06201 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации»

ҚОШҚАРБАЙ НҰРСҰЛТАН ЖАЛҒАСҰЛЫ

ОПТИМИЗАЦИЯ И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПРОГНОЗИРОВАНИЕМ ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТИ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Диссертационная работа (серия статей) посвящена исследованию оптимизации и повышения эффективности прогнозирования выходной мощности фотоэлектрических систем с использованием искусственного интеллекта и интеллектуальных алгоритмов. Высокоточное прогнозирование выходной мощности фотоэлектрических систем, их интеграция с солнечными трекерами и использование интеллектуальных алгоритмов позволяют в полной мере реализовать их потенциал.

Актуальность темы.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью применения алгоритмов управления фотоэлектрическими системами на основе прогноза выходной мощности, что позволяет повысить их эффективность, снизить потери и обеспечить надежную интеграцию в устойчивую энергосистему. Несмотря на значительные успехи солнечных панелей и необходимых ему преобразователей, эффективность работы фотоэлектрических систем ограничена рядом факторов: нестабильностью солнечной радиации, влиянием погодных условий, наличием частичного затенения и нестабильностью нагрузок. Традиционные методы прогнозирования и управления солнечными установками не обладают достаточной адаптивностью к быстро меняющимся условиям освещённости и, как следствие, демонстрируют низкую эффективность при пасмурной погоде.

Использование искусственного интеллекта в управлении, прогнозировании и оптимизации фотоэлектрических установок открывает новые возможности для повышения их эффективности и надежности. Алгоритмы машинного обучения позволяют не только анализировать и прогнозировать производство электроэнергии с высокой точностью на основе больших наборов данных, учитывающих динамику солнечной радиации, погодные условия и техническое состояние системы, но и оптимизировать работу стратегий управления солнечным трекером. Это обеспечивает максимальное использование доступной солнечной энергии, снижение затрат и повышение общей производительности фотоэлектрических систем.

Неспособность фотоэлектрической системы работать в точке максимальной мощности приводит к полному использованию ее потенциала и снижению их общей энергоэффективности. По этой причине не менее важным направлением повышения эффективности фотоэлектрических систем является реализация интеллектуального управления, основанного на усовершенствованных алгоритмах отслеживание точки максимальной мощности (ОТММ).

Хотя традиционные методы ОТММ, такие как Возмущение и наблюдение (Perturb and Observe) или Инкрементальная проводимость (Incremental conductance), широко используются, они страдают от низкой скорости поиска точки максимальной мощности и приводят к ошибкам при быстро меняющихся погодных условиях или частичном затенении солнечных панелей. Интеллектуальные алгоритмы ОТММ на основе агентов способны находить точку максимальной мощности быстрее, чем традиционные методы, и обладают более высокой эффективностью преобразования, поскольку они адаптируются к изменяющимся условиям окружающей среды и используют взаимодействие нескольких агентов для поиска оптимального решения.

Поэтому совершенствование алгоритмов работы контроллера ОТММ на основе интеллектуального управления является одним из ключевых факторов повышения значимости солнечной энергетики и снижения потерь энергии.

Цель работы.

Оптимизация и повышение эффективности выходной мощности фотоэлектрической системы за счет использования интеллектуальных алгоритмов и прогнозирования на основе искусственного интеллекта.

Задачи исследования.

Для достижения цели работы необходимо решить следующие задачи:

● Осуществить прогноз выходной мощности фотоэлектрических систем, оснащённых горизонтально ориентированными панелями, одноосными и двухосными солнечными трекерами в пасмурные дни с использованием искусственного интеллекта, экспериментально проверить его точность, а также исследовать выходную мощность солнечного трекера с адаптивным управлением и сравнить её с результатами указанных систем.

● Исследовать, провести эксперимент и сравнить с другими алгоритмами ОТММ контроллер с использованием интеллектуальных алгоритмов оптимизации для повышения выходной мощности фотоэлектрической системой.

● Исследовать алгоритм поиска точки максимальной мощности фотоэлектрической системы в режиме изменения нагрузки для повышения надёжности фотоэлектрической системы.

Метод исследования.

● прогнозирование выходной мощности фотоэлектрических систем с использованием алгоритмов машинного обучения таких как LSTM, GRU, XGBoost и 1D-CNN.

● исследование времени отслеживания и эффективности точки максимальной мощности алгоритма оптимизации Социальных паук (Social

spider optimization) для контроллера ОТММ путём моделирования различных условий затенения.

● исследование времени отслеживания точки максимальной мощности алгоритма оптимизации Heavy ball для контроллера ОТММ путём моделирования изменения нагрузки.

Объект исследования.

Интеллектуальная адаптивная система слежения за Солнцем и ОТММ контроллер;

Предмет исследования.

Выходная мощность фотоэлектрических систем, алгоритмы машинного обучения, индекс точности прогнозирования, солнечный трекер с адаптивным управлением, метаэвристические алгоритмы, вольт-амперные характеристики фотоэлектрических систем, частичное затенение, нагрузка фотоэлектрической системы.

Научная новизна работы заключается в том, что в настоящей работе впервые:

1. было определено пороговое значение индекса ясного неба, при котором выходная мощность фотоэлектрической системы горизонтальной конфигурации выше, чем у солнечных трекеров для климатической зоны города Алматы.
2. был улучшен алгоритм SSO для контроллера ОТММ при частичном затенении, а также были оптимизированы его параметры для упрощения настройки.
3. для ОТММ контроллеров был оптимизирован и использован алгоритм Heavy Ball с целью устранения ошибки, вызванных колебаниями нагрузки.

Положения, выносимые на защиту:

1 Интеллектуальный двухосный трекер, использующий индекс ясного неба и прогнозирование выходной мощности на основе искусственного интеллекта в условиях сильного рассеяния солнечного света, обеспечивает генерацию энергии на 18,3%, 14,9% и 10,01% больше по сравнению с горизонтальным, одноосным и двухосным трекерами, соответственно.

2 Контроллер отслеживания точки максимальной мощности на основе алгоритма оптимизации социальных пауков (SSO) преобразует энергию фотоэлектрических систем с эффективностью 99.8%.

3 В условиях изменения нагрузки контроллер отслеживания точки максимальной мощности, основанный на алгоритме Heavy Ball, определяет точку максимальной мощности фотоэлектрической системы за 0,1 с.

Теоретическая и практическая значимость исследования.

Результаты данной научно-исследовательской работы имеют важное теоретическое и практическое значение при проектировании фотоэлектрических систем с двухосными трекерами и контроллерами отслеживания точки максимальной мощности, работающих в условиях переменной облачности. Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации и повышения надёжности работы крупных

фотоэлектрических установок в районах с переменной облачностью и при резких изменениях нагрузки.

Достоверность и обоснованность полученных результатов.

Достоверность полученных результатов подтверждена публикациями в зарубежных научных журналах, индексируемых в международных базах данных и имеющих импакт-фактор более 4. Экспериментальные исследования, выполненные на основе разработанной модели, показали высокую степень соответствия полученных данных расчетным значениям.

Личный вклад автора.

Автор самостоятельно выполнил все части исследовательской работы, включая обработку полученных данных в среде программирования Python и использование алгоритмов машинного обучения для прогнозирования выходной мощности фотоэлектрических систем, математическое моделирование коэффициента ясного неба в среде Matlab, моделирование различных условий затенения в программе Matlab Simulink, а также разработку и оптимизацию алгоритма ОТММ. Экспериментальные результаты были получены с помощью прибора Chroma Solar Simulation и сравнены с другими алгоритмами. Анализ результатов и формулировка задач проводились при участии научных руководителей.

Апробация диссертационной работы.

Результаты диссертационной работы (серии статей) были опубликованы в следующих источниках:

Статьи, опубликованные в изданиях, входящих в международные научные базы данных Thomson Reuters и Scopus:

1. **Koshkarbay N.,** Mekhilef S., Saymbetov A., Kuttybay N., Nurgaliyev M., Dosymbetova G., Orynbassar S., Yershov E., Kapparova A., Zholamanov B., Bolatbek, A. Adaptive control systems for dual axis tracker using clear sky index and output power forecasting based on ML in overcast weather conditions //Energy and AI. – 2024. – Т. 18. – С. 100432. **WOS: IF 9.6, Q1; Scopus: CiteScore 16.5, Процентиль: 96%** https://doi.org/10.1016/j.egyai.2024.100432

2. **Koshkarbay N.,** Mohammed K. K., Mekhilef S., Kuttybay N., Almen D., Saymbetov A., Nurgaliyev M. Improved MPPT technology for PV systems using Social Spider optimization (SSO): Efficient handling of partial shading and load variations //Electric Power Systems Research. – 2025. – Т. 247. – С. 111822. **WOS: IF 4.2, Q2; Scopus: CiteScore 8.2, Процентиль: 84%** https://doi.org/10.1016/j.epsr.2025.111822

3. Kuttybay N., Mekhilef S., **Koshkarbay N.,** Saymbetov A., Nurgaliyev M., Dosymbetova G., Orynbassar S., Yershov E., Kapparova A., Zholamanov B., Bolatbek, A. Assessment of solar tracking systems: A comprehensive review //Sustainable Energy Technologies and Assessments. – 2024. – Т. 68. – С. 103879. **WOS: IF 7, Q2; Scopus: CiteScore 17.3, Процентиль: 95%** https://doi.org/10.1016/j.seta.2024.103879

Патент на полезную модель

1. Құттыбай Н.Б., **Қошқарбай Н.Ж.**, Саймбетов А.К., Нұрғалиев М.К., Жоламанов Б.Н., Орынбасар С.О., Болатбек А.Б., Әлмен Д.Б., Система

измерения метеорологических параметров для оптимизации фотоэлектрических установок, Патент на полезную модель №10890, Республика Казахстан. Заявитель и патентообладатель Казахский национальный университет имени аль-Фараби. 07.03.2025 год, №10890

Научные статьи в журналах, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки МНВО

1. Құттыбай Н.Б., Кусаин М.А., **Қошқарбай Н.Ж.**, Айтбекова Ш.Б., Есен Б.Е., Повышение эффективности фотоэлектрических систем с использованием солнечных трекеров, Вестник Торайгыров университета. Энергетическая серия (автоматизация, автоматизированные и информационные системы). – 2023. – № 4. С. 214-226. https://doi.org/10.48081/ZUNP4311

2. Құттыбай Н.Б., Аманжол Ә.А., **Қошқарбай Н.Ж.**, Жоламанов Б.Н., Сейтжанова А.К., Разработка системы слежения за солнцем на основе технологии Интернета вещей (IoT), Вестник КазНПУ. Серия «Физико-математические науки» (автоматизация, автоматизированные и информационные системы). – 2024. – № 2 (86). С. 211-221. https://doi.org/10.51889/2959-5894.2024.86.2.020

3. Құттыбай Н.Б., Айтбекова Ш.Б., **Қошқарбай Н.Ж.**, Болатбек А.Б., Жоламанов Б.Н. Прогнозирование выходной мощности фотоэлектрической системы на основе нейронных сетей, Вестник КазУТБ. Информационно-коммуникационные технологии. – 2024. №1 (22). С. 84-96. https://doi.org/10.58805/kazutb.v.1.22-255

4. Құттыбай Н.Б., Есен Б.Е., **Қошқарбай Н.Ж.**, Жоламанов Б.Н., Болатбек А.Б., Разработка эффективного контроллера отслеживания точки максимальной мощности для фотоэлектрической системы, Труды университета. Раздел «Автоматика. Энергетика. ИКТ». – 2024. – №1 (94). С. 499 – 507. DOI 10.52209/1609-1825_2024_1_499

5. Құттыбай Н.Б., Иманбаев Б.С. Ершов Э.П., **Қошқарбай Н.Ж.**, Разработка автоматизированной метеостанции для мониторинга климатических параметров, Вестник КазАТК. Автоматизация, телемеханика, связь, компьютерные науки. – 2025. – №3 (138). DOI 10.52167/1609-1817-2025-138-3