Краткая информация о проекте

Наименование	Повышение точности краткосрочного и долгосрочного прогнозирования выходной мощности фотоэлектрических систем на основе искусственного интеллекта
Актуальность	Данный проект актуален благодаря своей способности повысить точность прогнозирования солнечной радиации и улучшить эффективность, надежность и экономичность фотоэлектрических энергетических систем, особенно в отдаленных и энергоограниченных регионах.
Цель	Целью проекта является повышение точности краткосрочного и долгосрочного прогнозирования генерации фотоэлектрических систем с использованием искусственного интеллекта с применением беспроводной IoT сети, распознавания облаков и нового метода прогнозирования спектра и мощности солнечного излучения.
Задачи	1. Разработка аппаратной части беспроводной IoT системы, для дальнейшего сбора данных и обучения нейронной сети. 2. Разработка программной части беспроводной IoT системы с целью сбора данных для обучения нейронной сети по прогнозированию степени облачности, типа облаков и индекса ясного неба в искомой области. 3. Сбор данных, обработка и обучение модели нейронной сети для распознавания типа облаков и степени облачности. 4. Сбор данных, обработка и обучение модели нейронной сети для прогнозирования спектра с использованием нового метода обработки спектра по длине волны и по интенсивности. 5. Сбор данных о солнечном излучении, облачности с IoT системы в течение года. 6. Создание искусственного интеллекта для краткосрочного прогнозирования солнечного излучения в искомой области на основе данных об облачности и спектре. 7. Тестирование работы полученного искусственного интеллекта в третьем и четвертом квартале года. 8. Тестирование работы полученного искусственного интеллекта в первом и втором квартале года. 9. Обучение нейронной сети для долгосрочного прогнозирования солнечного излучения в искомой области. 10. Вычисление генерации фотоэлектрических систем с помощью эмулятора фотоэлектрическим систем на основе краткосрочного и долгосрочного прогнозирования.
Ожидаемые и достигнутые результаты	1. Была разработана аппаратная часть IoT системы, включающая в себя датчики, средства передачи

	информации, устройства обработки данных. Каждый элемент связан друг с другом и подключен к вычислительным устройствам, с целью дальнейшего комбинирования данных и их параллельной отправке на сервер. 2. Была разработана программная часть для беспроводной IoT системы, предназначенной для сбора данных с целью обучения нейронной сети, способной прогнозировать степень облачности, тип облаков и определять индекс ясного неба. Сбор данных ведется в два потока: фотографии с камеры и данные с сенсоров. Файлы с данными включают замеры солнечного излучения, температуры и влажности, которые собирались через подключенные устройства, такие как BME280 и пиранометр. 3. Была создана обучающая выборка на основе данных из общей базы. Сбор данных выполнялся с IoT системы, посредством дистанционной передачи данных на сервер. 4. Была создана обучающая выборка на основе полученных данных. Сбор данных выполнялся с IoT системы посредством дистанционной передачи на сервер. Проводился сбор, обработка и анализ информации для прогнозирования спектра солнечного излучения. Для измерений спектра использовался микроспектрометр Hamamatsu C12880MA. Утилита rclone применялась для хранения данных и обеспечения их доступности. Запись данных с сенсоров выполнялась в текстовые файлы каждые 20 секунд. Процесс автоматизировался при помощи crontab: скрипты, ответственные за сбор данных и их отправку на сервер, активировались при запуске Raspberry Pi и работали регулярно в течение всего дня. 5. Была разработана программная составляющая беспроводной IoT-системы на базе Raspberry Pi 4, предназначенная для автоматизированного поминутного сбора данных с измерительных устройств и камер с целью формирования обучающей выборки для нейронной сети, применяемой при прогнозировании метеорологических параметров; система функционирует в полностью автономном режиме и обеспечивает непрерывный круглосуточный мониторинг состояния атмосферы и характеристик солнечного излучения, при этом в состав измерительного комплекса входят датчики температуры, атмосферного давления, влажности, скорости и направления ветра, а также фотоэлектрический сенсор и пергирометр для оценки спектральных характеристик и интенсивности солнечной радиации; дополнительно реализован модуль визуального наблюдения за облачностью, в рамках которого широкоугольная камера фиксирует

	изображения небосвода с интервалом в одну минуту (разрешение 2592×1944 пикселей, средний размер файла около 568 КБ); в результате функционирования системы за сутки формируется порядка 720 изображений суммарным объёмом около 500 МБ, а недельный объём данных при передаче в облачное хранилище достигает примерно 5 ГБ, при этом параллельно осуществляется запись числовых показателей с датчиков, что обеспечивает синхронность и полноту формируемого набора данных; сформированный датасет охватывает полный годовой цикл наблюдений и включает информацию, полученную в различных погодных и сезонных условиях — от ясной погоды до туманов, осадков и быстро изменяющейся облачности, что формирует репрезентативную и разнообразную выборку, необходимую для устойчивого обучения моделей искусственного интеллекта и повышения точности прогнозирования солнечной радиации и облачного покрова. 6. Были разработаны и обучены модели прогнозирования солнечной радиации на краткосрочные интервалы времени (1, 5, 10 и 15 минут) с использованием методов машинного и глубокого обучения, включая XGBoost, RNN, GRU и LSTM, что позволило учитывать динамический характер изменения погодных условий и обеспечивать высокую точность предсказаний; для одноминутного прогноза наилучшие результаты продемонстрировала модель GRU с использованием спектральных признаков (GRU Rad), достигнув значений MSE = 0.000557, MAE = 0.017776 и коэффициента детерминации R^2 = 0.993291, что указывает на её высокую точность и устойчивость; при прогнозировании на интервалы 5, 10 и 15 минут наиболее эффективными оказались модели LSTM и GRU: для 5-минутного интервала лучшей стала модель LSTM с R^2 = 0.9906, тогда как для 10- и 15-минутных прогнозов наилучшие результаты показала модель GRU с R^2 = 0.9913 и 0.9949 соответственно; при этом включение спектральных характеристик солнечного излучения в качестве входных данных существенно повысило качество работы всех моделей по сравнению с вариантами, не использующими данную информацию. 7. Было проведено комплексное улучшение параметров нейронных сетей, направленное на повышение точности краткосрочного прогнозирования солнечной радиации; в ходе данной работы выполнялась оптимизация архитектуры моделей, включая подбор числа нейронов в скрытых слоях, настройку функций активации, параметров регуляризации, скорости обучения и выбор наиболее

	эффективного алгоритма оптимизации; дополнительно учитывались данные, поступающие в режиме реального времени, что позволило повысить адаптивность моделей к изменяющимся погодным условиям; в процессе оптимизации применялись такие подходы, как адаптивная регулировка скорости обучения, кросс-валидация на различных подвыборках, механизм ранней остановки обучения и расширение обучающего набора за счёт актуальных данных; по итогам проведённой работы средняя абсолютная ошибка прогнозирования составила 51.58, 51.44, 64.49, 76.23 и 124.99 Вт/м² для интервалов 10, 15, 30 минут, 1 часа и 2 часов соответственно, что свидетельствует о повышении точности и надёжности разработанной интеллектуальной системы. 8. Будет проведено тестирование работы искусственного интеллекта с помощью контрольной выборки и в реальном времени в первом и втором квартале года. Также будет проведена тонкая настройка нейронных сетей на новых данных. 9. С помощью данных, полученных в п. 5 будет обучена и оптимизирована нейронная сеть для прогнозирования солнечного излучения в искомой области за длительный промежуток времени (неделя, месяц, год). 10. На основе прогнозов солнечного излучения в п.п. 7, 8 и 9 будут произведены симуляции солнечных электростанций с помощью эмулятора фотоэлектрическим систем. Будут получены зависимости генерации фотоэлектрических систем различной мощности при различных погодных условиях.
Имена и фамилии членов исследовательской группы с их идентификаторами (Scopus Author ID, Researcher ID, ORCID, при наличии) и ссылками на соответствующие профили	1. Құттыбай Нұржігіт Бақытұлы Scopus ID: 57196375521, ORCID: 0000-0002-5723-6642 2. Саймбетов Ахмет Куанышбаевич Scopus ID: 58529450500, ORCID: 0000-0003-3442-8550 3. Нұрғалиев Мадияр Кәменұлы Scopus ID: 57202335235, ORCID 0000-0002-6795-5384 4. Досымбетова Гулбахар Базарбаевна Scopus ID: 57202334195, ORCID: 0000-0002-3935-7213 5. Жоламанов Батырбек Нұрыллаұлы Scopus ID: 57258537000, ORCID: 0000-0001-8206-7425 6. Қошқарбай Нұрсұлтан Жалғасұлы Scopus ID: 57257861100, ORCID: 0009-0004-2334-3249 7. Әлмен Динара Бақытжанқызы Scopus ID: 58837948600, ORCID: 0009-0000-8527-4921 8. Болатбек Асхат Бауыржанұлы Scopus ID: 59194889700, ORCID: 0009-0004-7613-5507 9. Орынбасар Саят Оразханұлы Scopus ID: 58028274600, ORCID: 0009-0001-9124-2560 10. Каппарова Айнұр Аралбайқызы Scopus ID: 58028607300, ORCID: 0009-0008-8348-902X

	11. Бүркіт Шынғысхан Ақылбекұлы 12. Валиев Багратион Мусратович
Использование	Проект позволит улучшить оценку рентабельности солнечных электростанций и снизить затраты на их обслуживание за счет прогнозирования электрических параметров с учетом климатических условий.
Приоритет в сравнении с реальными аналогами	Проект превосходит аналоги высокой точностью анализа (до 99%), эффективностью долгосрочных прогнозов, реальным временем обработки данных и низким энергопотреблением, что важно для удалённых регионов.
Список публикаций с ссылками на них	1. Kuttybay, N., Mekhilef, S., Koshkarbay, N., Saymbetov, A., Nurgaliyev, M., Dosymbetova, G., ... & Bolatbek, A. (2024). Assessment of solar tracking systems: A comprehensive review. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 68, 103879. https://doi.org/10.1016/j.seta.2024.103879 Scopus percentile – 92, SJR 1.566, Web of Science – Q1, Impact Factor 6.9. 2. Koshkarbay, N., Mekhilef, S., Saymbetov, A., Kuttybay, N., Nurgaliyev, M., Dosymbetova, G., ... & Bolatbek, A. (2024). 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, 18, 100432. https://doi.org/10.1016/j.egyai.2024.100432 Scopus percentile – 96, SJR 2.160, Web of Science – Q1, Impact Factor 9.6. 3. Н.Б. Құттыбай, О. Б. Байболов. Статистический анализ контроллеров заряда для различных фотоэлектрических систем. Вестник КазУТБ. – 2025. - №2 (27). С. 1-11. https://doi.org/10.58805/kazutb.v.2.27-764 4. Н.Б. Құттыбай, Б.С. Иманбаев, Э. П. Ершов, Н. Ж. Қошқарбай. Разработка автоматизированной метеостанции для мониторинга климатических параметров. Вестник КазАТК. – 2025. № 3 (138). С. 371-380. DOI 10.52167/1609-1817-2025-138-3-371-380 5. Н.Б. Құттыбай, А.К. Сейтжанова, Э. П. Ершов, Н. Ж. Қошқарбай, Б.Н. Жоламанов. Разработка IoT-системы для мониторинга окружающей среды с использованием облачных технологий. Труды университета. – 2026. (Принят для публикаций в 2025 году)
Информация о патентах	1. Патент на полезную модель №10890, Система измерения метеорологических параметров для оптимизации фотоэлектрических установок, патентообладатель Некоммерческое акционерное

	общество «Казахский национальный университет имени аль-Фараби», дата подачи заявки 07.03.2025.