

## **АННОТАЦИЯ**

**диссертации на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе «8D06201 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации»**

**ДОСЫМБЕТОВА ГУЛБАХАР БАЗАРБАЕВНА**

### **КОНЦЕНТРИРУЮЩИЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ С УПРАВЛЕНИЕМ И МОНИТОРИНГОМ НА ОСНОВЕ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ**

#### **Общая характеристика работы.**

Диссертационная работа посвящена концентрирующим фотоэлектрическим системам с активной системой охлаждения с использованием IoT с целью мониторинга состояния системы и условий окружающей среды для принятия решений для оптимизации работы системы охлаждения.

#### **Актуальность темы.**

К концентрирующим кремниевым солнечным батареям сегодня проявляется большой интерес вследствие увеличения масштабов применения солнечных батарей в мире для различных целей. Исследование и разработка новых дешевых, сравнительно простых способов повышения эффективности фотоэлементов имеет высокую научно-практическую значимость.

Поликристаллические кремниевые фотоэлементы не предназначены для работы при высоких степенях концентрации, их используют при низких и средних степенях концентрации. Однако в отсутствие хорошей системы активного охлаждения в подобных условиях фотоэлементы быстро теряют свои полупроводниковые свойства.

Системы охлаждения фотоэлектрических установок делятся на пассивные и активные. Пассивные системы охлаждения не используют теплоноситель, тепло рассеивается с помощью воздуха без использования дополнительных устройств. Активные системы охлаждения представляют собой устройства, в которых теплоноситель, обычно вода, с помощью насоса циркулирует по трубам, тем самым забирая тепло от нагретых устройств.

К современным системам охлаждения предъявляются высокие требования по энергоэффективности. Простые системы охлаждения, основанные на алгоритмах порогового уровня температуры, не имеют достаточно высокой эффективности для использования в фотоэлектрических системах. Мощность насоса в таких системах не зависит от скорости нагревания фотоэлементов и мощности солнечного излучения. Она неизменна и при определенных условиях снижает эффективность всей системы. Вследствие этого необходимо создание такой системы, которая будет адаптировать мощность насоса к текущей температуре и мощности падающего солнечного излучения.

Зависимость мощности насоса от мощности солнечного излучения и текущей температуры является нелинейной. Температура зависит от мощности солнечного излучения нелинейным образом. Вследствие этого прямое вычисление мощности насоса представляется затруднительным. Более того при развертывании крупных солнечных электростанций, количество данных о температуре солнечных батарей будет увеличиваться, что в свою очередь, заставляет увеличить вычислительные ресурсы системы. Часто увеличить локальные вычислительные ресурсы системы затруднительно или невозможно вследствие финансовых или других ограничений. Тогда возникает необходимость создания системы с удаленным доступом и мониторингом для системы регулирования мощности насоса.

Данная работа направлена на повышение эффективности кремниевых поликристаллических фотоэлементов при условиях низкой концентрации, а также повышение эффективности системы активного охлаждения с использованием IoT.

**Актуальной задачей** является повышение эффективности современных коммерческих кремниевых фотоэлементов с использованием линзы Френеля и системы активного охлаждения, а также оптимизация системы активного охлаждения с помощью IoT.

**Целью работы** является повышение эффективности поликристаллических коммерческих кремниевых фотоэлементов с использованием линзы Френеля при низкой концентрации и оптимальном режиме работы системы активного охлаждения с использованием IoT.

**Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:**

- проектирование, сборка и отладка концентрирующих фотоэлементов с использованием линзы Френеля и исследование зависимости тока короткого замыкания от степени концентрации;
- исследование генерации энергии фотоэлементом в условиях низкой степени концентрации в течение дня;
- исследование динамики нагревания и охлаждения фотоэлемента при различных мощностях падающего солнечного излучения и различных мощностях насоса и разработка модели прогнозирования нагревания и охлаждения фотоэлементов с использованием нейронных сетей;
- разработка системы принятия решений на основе Интернета вещей с целью выбора наиболее оптимального режима работы системы охлаждения.

**Объект исследования** – концентрирующая поликристаллическая кремниевая солнечная батарея с активной системой охлаждения.

**Предмет исследования** – фотовольтаический эффект в условиях концентрированного солнечного излучения, оптические процессы, происходящие в линзах Френеля, динамика процесса нагревания и охлаждения фотоэлементов в условиях низкой концентрации, система мониторинга и управления с использованием Интернета вещей и оптимизация энергетических систем.

### **Методами исследования** являются:

- экспериментальное исследование оптимального расстояния между линзой и фотоэлементом и определение степени концентрации солнечного излучения;
- экспериментальное исследование процесса нагревания фотоэлементов при различных уровнях мощности солнечного излучения в условиях низкой концентрации;
- экспериментальное исследование процесса охлаждения фотоэлементов с помощью активной системы охлаждения при различных уровнях мощности солнечного излучения и различных мощностях насоса;
- моделирование выходной мощности фотоэлементов в условиях низкой концентрации с использованием однодиодной модели;
- прогнозирование нагревания и охлаждения фотоэлементов при различных мощностях солнечного излучения с использованием нейронных сетей;

**Новизна работы.** Новизна и оригинальность работы заключается в том, что в ней впервые:

- экспериментально показана зависимость тока короткого замыкания концентрирующего поликристаллического кремниевого фотоэлемента от мощности падающего излучения и его температуры;
- экспериментально установлено повышение генерации энергии фотоэлементом при степени концентрации  $C_T = 8$  с использованием линзы Френеля;
- разработана система мониторинга и управления на основе Интернета вещей и алгоритм оптимальной системы охлаждения для концентрирующих кремниевых поликристаллических фотоэлементов.

### **Научно-практическая значимость работы.**

Полученные в данной работе результаты представляют существенную значимость для повышения выходной мощности фотоэлементов. Полученные данные могут быть использованы при создании концентрирующих поликристаллических кремниевых солнечных батарей и систем активного охлаждения для фотоэлектрических систем.

Повышение выходной мощности солнечных батарей может быть достигнуто созданием системы слежения за Солнцем и установкой оптической системы для увеличения степени концентрации солнечных лучей на единицу площади солнечной батареи. Фотоэлементы, используемые при высоких и средних степенях концентрации, хотя и способны выдерживать высокие эксплуатационные температуры, не получили широкого распространения вследствие высокой стоимости, по сравнению с недорогими поликристаллическими фотоэлементами. Поэтому на данный момент они не получили широкое распространение в энергетике. В данной диссертации разработана концентрирующая фотоэлектрическая система, использующая недорогие поликристаллические кремниевые фотоэлементы.

Повышение степени концентрации кремниевых фотоэлементов приводит к быстрому увеличению их температуры и как следствие – снижение КПД.

Решением данной проблемы является активная система охлаждения. Однако такие системы охлаждения потребляют энергию, и конечная эффективность солнечной батареи формируется из энергии, генерируемой солнечными батареями за вычетом энергии для работы системы охлаждения. В данной работе предложен оптимальный алгоритм системы принятия решений на основе IoT для снижения энергопотребления системы охлаждения, который основан на нейронных сетях.

#### **Положения, выносимые на защиту**

1 Отношение тока короткого замыкания поликристаллического кремниевого фотоэлемента с линзой Френеля с низкой степенью концентрации к току короткого замыкания без линзы увеличивается в 1,5–2,2 раза;

2 Генерируемая энергия поликристаллического кремниевого фотоэлемента при геометрической степени концентрации  $C_T=8$  с использованием линзы Френеля повышается на 51% в течение дня по сравнению с генерируемой энергией фотоэлемента без линзы;

3 Оптимальный режим работы системы охлаждения, определяемый с помощью разработанной системы принятия решений на основе прогнозирования с помощью нейронных сетей и Интернета вещей, снижает энергопотребление системы охлаждения на 62% по сравнению с алгоритмом на основе пороговых уровней температуры.

**Достоверность и обоснованность полученных результатов** подтверждаются наличием публикаций в журналах дальнего зарубежья с импакт-фактором и в изданиях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования МНиВО РК и в трудах международных научных конференций ближнего и дальнего зарубежья. Экспериментальные данные, полученные в процессе выполнения проекта хорошо согласуются с расчётами, полученными на основе предложенной модели.

**Личный вклад автора** заключается в том, что весь объем диссертационной работы, выбор метода исследования, сборка экспериментальных установок, изготовление печатных плат для системы мониторинга и управления системы охлаждения, обучение и прогнозирование моделей нейронных сетей, проведение экспериментов и анализ полученных данных, разработка математической модели фотоэлементов в условиях низкой концентрации выполнены автором самостоятельно. Постановка задач и обсуждение результатов проводились совместно с научными руководителями.

**Апробация диссертационной работы.** Результаты, полученные в диссертационной работе, опубликованы, докладывались и обсуждались:

**Публикации с импакт-фактором по базе данных Thomson Reuters или в изданиях, входящих в международную научную базу данных Scopus:**

1. Dosymbetova G, Mekhilef S, Orynassar S, Kapparova A, Saymbetov A, Nurgaliyev M, Zholamanov B, Kuttybay N, Manakov S, Svanbayev Y, Koshkarbay N. Neural Network based Active Cooling System with IoT Monitoring and Control for LCPV Silicon Solar Cells // IEEE Access -2023. – Vol.11. – P. 52585 – 52602.

2. Dosymbetova G, Mekhilef S, Saymbetov A, Nurgaliyev M, Kapparova A, Manakov S, Orynassar S, Kutybay N, Svanbayev Y, Yuldoshev I, Zholamanov B, Koshkarbay N. Modeling and Simulation of Silicon Solar Cells under Low Concentration Conditions //Energies. – 2022. – Vol. 15. – №. 24. – P. 9404.

**Публикации в изданиях, рекомендуемых КОКСНВО МНВО РК:**

1. Dosymbetova, G. B., Svanbayev Ye.A., Zhuman, G. B., Nurgaliyev, M. K., Saymbetov, A. K. Development of concentrating silicon solar cells. News of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan physico-mathematical series. – 2021, – Vol. 4. – №. 338. – P. 25–30.

**Публикации в сборниках тезисов и докладов:**

1. Досымбетова Г.Б., Нұрғалиев М.К., Туқымбеков Д., Құттыбай Н.Б. Концентрирующие кремниевые солнечные батареи с использованием линзы Френеля //Международная научная конференция студентов и молодых ученых «Фараби әлемі». – Алматы. – 2020. – С. 276.

**Свидетельство об авторских правах**

Досымбетова Г.Б., Нұрғалиев М.К., Саймбетов А. К., Құттыбай Н.Б., Жоламанов Б.Н., Орынбасар С.О., Каппарова А.А. Концентрирующие кремниевые солнечные элементы с активной системой охлаждения на основе Интернета вещей // Авторское свидетельство, 2023. № 34937.

**Объем и структура диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, 3 разделов, заключения и списка использованных источников из 125 наименований, содержит 103 страниц основного компьютерного текста, включая 76 рисунков, 3 таблиц и 3 приложения.

Первая глава диссертации посвящена обзору литературы по современным концентрирующим фотоэлектрическим системам и системам активного и пассивного охлаждения.

Во второй главе диссертации представлены исследования зависимости температуры фотоэлемента от мощности падающего солнечного излучения, оптической системе на основе линзы Френеля и однодиодной модели фотоэлемента.

Третья глава посвящена оптимизации системы охлаждения с помощью беспроводного контроля и мониторинга с помощью IoT.

**Диссертационная работа** частично выполнена соответствии с планами научно-исследовательской работы (НИР): «Разработка интеллектуальной автономной системы беспроводного контроля и мониторинга уличного освещения» 2018–2020 гг., ИРН АР05132464.