

## **АННОТАЦИЯ**

диссертации на соискание степени «доктор философии» (PhD)  
по специальности «6D071900 – Радиотехника, электроника и  
телекоммуникации»

**Құттыбай Нұржігіт Бақытұлы**

### **РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ С БЕСПРОВОДНЫМ МОНИТОРИНГОМ И ОПТИМАЛЬНОЙ ОРИЕНТАЦИЕЙ К СОЛНЦУ**

Диссертационная работа посвящена разработке и исследованию автоматизированных одноосных и двухосных фотоэлектрических систем с оптимальной ориентацией к Солнцу с беспроводным мониторингом и управлением.

#### **Актуальность темы.**

Ориентация солнечной батареи в пространстве имеет решающее влияние на производительность солнечных батарей. При установке солнечной батареи неподвижно под оптимальным углом к горизонту, зависящим от географической широты расположения солнечной электростанции возникают следующие проблемы: потеря большого количества энергии при восходе и закате Солнца, изменение оптимального угла к горизонту в течение года, что приводит к снижению эффективности солнечной батареи. В ясный солнечный день лучи видимого спектра попадают прямо на поверхность земли без помех. Напротив, когда погода пасмурная, лучи света частично поглощаются и частично отражаются от облаков.

В целях эффективного решения всех этих проблем разрабатываются новые технологии с применением прямых и косвенных методов. Среди них одним из наиболее распространенных методов является фотоэлектрическая система слежения за Солнцем (солнечный трекер).

Солнечные трекеры нуждаются в системах управления вращением в различных плоскостях. В зависимости от их конструкции и осей вращения классифицируются на две основные группы: одноосные трекеры (вращаются вдоль одной оси) и двухосные трекеры (вращаются вдоль двух осей). Как выяснилось, трекеры демонстрируют большую эффективность по сравнению со стационарными фотоэлектрическими системами в зависимости от алгоритмов управления, времени года, времени суток и местоположения.

Большинство трекеров, созданных до сегодняшнего дня, используют методы, основанные на фотосенсорах или на астрономических расчетах движения Солнца в горизонтальной системе отсчёта. Однако применение фотосенсоров возможно только в ясную погоду, так как в облачную погоду альbedo окружающей среды ниже альbedo облачного неба, и около 90% излучения видимого спектра рассеивается и фотосенсоры неспособны

определить местоположение Солнца. Второй метод управления трекерами основан на различных алгоритмах и математических расчетах уравнений траектории движения Солнца. Здесь в качестве датчиков управления используются навигационные сенсоры. Различные случайные факторы (например, электромагнитные волны) иногда могут привести к потере сигнала применяемых датчиков. В случае ошибок в системе управления или сенсорах, то с течением времени возникают кумулятивные ошибки, отрицательно влияющие на работу системы.

Кроме оптимальной ориентации к Солнцу существует задача эффективного преобразования выходной мощности солнечной батареи для заряда аккумуляторов. Традиционно в фотоэлектрических системах для обеспечения стабильного заряда аккумуляторов используются контроллеры с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ). Однако в течение дня изменение напряжения солнечной батареи приводит к смещению точки максимальной мощности (ТММ) солнечной батареи, вследствие чего происходит снижение КПД преобразования энергии ШИМ контроллером. Задачу определения точки максимальной мощности (ОТММ) решают одноимённые контроллеры. ОТММ контроллеры удерживают максимальную выходную мощность солнечной батареи. Проблемы, возникающие при создании таких систем, заключаются в следующем: низкая точность алгоритмов определения ТММ, низкая скорость ОТММ, потери при преобразовании электрической энергии, низкая точность измерительных датчиков тока и напряжения.

Эффективность фотоэлектрических систем напрямую зависит от непрерывного мониторинга их работы и выявления различных неисправностей. Также может возникнуть ряд проблем с организацией системы мониторинга. Большинство систем мониторинга определяют последствия неисправностей, но не могут определить их причину. Использование проводной линии связи при передаче информации малоэффективен применительно к крупным электростанциям вследствие большого расстояния между центром управления и солнечными батареями. Так же возникает необходимость синхронизации даты, точного локального времени и угла поворота трекера в обеих плоскостях для максимальной эффективности фотоэлектрической системы.

**Актуальной задачей** на сегодняшний день является исследование современных систем слежения за Солнцем в различных погодных условиях, влияние различных методов слежения за Солнцем, используемых в облачную погоду для одноосных солнечных трекеров. Так же необходимы исследования различных положений солнечной панели при сильном рассеянии солнечных лучей в облачную погоду для двухосных солнечных трекеров и влияние контроллера ОТММ на работу двухосного солнечного трекера в реальных условиях с помощью системы беспроводного мониторинга и управления.

**Целью** диссертационной работы является создание автоматизированных фотоэлектрических систем с беспроводным управлением и мониторингом, с одной и двумя осями вращения, оптимальной ориентацией к Солнцу и использованием эффективных контроллеров ОТММ в различных погодных условиях.

### **Объект исследования**

Автоматизированные одноосные и двухосные фотоэлектрические системы с контроллером ОТММ с беспроводной системой мониторинга и управления.

### **Предмет исследования.**

Повышение эффективности одноосных и двухосных солнечных трекеров путём оптимизации алгоритма и конструкции системы для использования в различных погодных условиях; эффективное преобразование электрической энергии с помощью ОТММ контроллера; повышение надёжности работы солнечных трекеров с помощью обратной связи за счёт использования системы беспроводного мониторинга и управления.

### **Методы исследования.**

Для достижения цели исследования были использованы следующие методы:

- моделирование конструкции поворотного механизма трекера в среде разработки Autodesk Inventor;
- моделирование ОТММ контроллера в среде разработки Matlab, Simulink;
- экспериментальное исследование выходной мощности одноосных и двухосных солнечных трекеров и ОТММ контроллера в различных погодных условиях;
- экспериментальное исследование работы системы беспроводного мониторинга и управления для обеспечения обратной связи.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

1. Создание автономных одноосных и двухосных систем слежения за Солнцем с оптимальной конструкцией механизма вращения;
2. Оснащение системы слежения за Солнцем алгоритмом управления для оптимальной ориентации к Солнцу в различных погодных условиях и проведение экспериментальных исследований в реальных условиях;
3. Разработка и экспериментальное исследование эффективности контроллера ОТММ для двухосной системы слежения за Солнцем;
4. Разработка и исследование эффективности оптимальной системы мониторинга на основе беспроводной связи, позволяющей дистанционно контролировать общий рабочий процесс фотоэлектрической системы и автоматически исправлять ошибки, происходящие в системе в реальном времени, путем установления обратной связи.

### **Новизна работы.**

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

- установлено повышение эффективности одноосного солнечного трекера при рассеянном солнечном свете при использовании энкодеров и разработанного программного обеспечения для определения угла поворота в горизонтальной плоскости;
- разработана система определения оптимального положения двухосного солнечного трекера при сильном рассеянии солнечного света с помощью управляющего трекера;

- изучена интегрированная система, состоящая из контроллера отслеживания точки максимальной мощности (ОТММ) на основе алгоритма возмущения и наблюдения (P&O), и двухосного трекера в различных погодных условиях;

- разработана двухуровневая система проверки положения фотоэлектрического модуля с помощью автоматизированного беспроводного мониторинга и управления с обратной связью для повышения надёжности работы системы.

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

1 Эффективность одноосного трекера с управлением, основанным на астрономических расчётах движения Солнца и алгоритме с энкодером, в среднем выше на 4% в пасмурных и дождливых погодных условиях, и в среднем на 2% выше при переменной облачности, чем эффективность одноосного трекера с управлением, основанным на фотосенсорах, вследствие ошибочного определения положения Солнца, а энергопотребление поворотного механизма вдоль горизонтальной оси первого трекера в среднем ниже на 60%, чем энергопотребление поворотного механизма второго трекера;

2 Эффективность двухосного солнечного трекера с предложенным алгоритмом определения оптимального положения панели в пространстве превышает на 40% в сравнении с традиционными двухосными солнечными трекерами при сильно рассеянном солнечном свете;

3 КПД преобразователя постоянного напряжения разработанного ОТММ контроллера при интеграции с двухосным солнечным трекером составила в среднем 95%;

4 Двухуровневая проверка положения фотоэлектрического модуля, реализованная в аппаратно-программном комплексе беспроводного управления и мониторинга с обратной связью между системой управления и трекером, ликвидирует отклонение поворотного механизма.

#### **Теоретическая и практическая значимость исследования.**

Результаты данной научно-исследовательской работы имеют важное научное и практическое значение при проектировании систем слежения за Солнцем. Полученные в данной работе результаты исследований могут быть полезны в случае развёртывания как одноосных так и двухосных систем слежения за Солнцем в климатических условиях с переменной облачностью.

Для оптимизации и повышения надёжности работы крупных фотоэлектрических систем, в которых солнечные батареи и управляющий блок разнесены на большое расстояние, в данной работе предложено использование беспроводного мониторинга и управления с обратной связью.

#### **Достоверность и обоснованность полученных результатов.**

Достоверность и обоснованность результатов определяется полученными экспериментальными данными. Кроме того, полученные результаты дополняют известные исследования фотоэлектрических систем. Помимо этого, достоверность результатов, достигнутых в диссертационной работе, подтверждается наличием публикаций в изданиях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки МОН РК, в

журналах дальнего зарубежья с ненулевым импакт-фактором, и в трудах международных конференций.

#### **Личный вклад автора**

Автором выполнен весь объём диссертационной работы, в который входят определение целей и задач работы, постановка гипотез и проведение экспериментальных работ, компьютерное моделирование и количественная оценка результатов экспериментов, анализ и подготовка научных публикаций к изданию.

#### **Публикации.**

По теме диссертационной работы опубликовано 9 печатных работ, из них 3 работы в материалах международных конференций, 3 работы в научных изданиях, рекомендованных КОКСОН МОН РК на соискание ученой степени доктора философии (PhD), 2 статьи в журналах, входящих в международные информационные ресурсы Web of Science (Clarivate Analytics, США) и Scopus (Elsevier, Нидерланды), также, 1 статья в журнале входящий в международный информационный ресурс Scopus (Elsevier, Нидерланды).

#### **Апробация диссертационной работы.**

Результаты, полученные в диссертационной работе, докладывались и обсуждались:

– на Международной научной конференции студентов и молодых учёных «Фараби Әлемі» (2019, Алматы, Казахстан);

– на Международной научной конференции 2019 IEEE international conference on automatic control and intelligent systems (I2CACIS), Шах Алам, Малайзия, 29.06.2019 г.;

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

#### **Патент на полезную модель**

Ибраимов М.К., Саймбетов А.К., **Құттыбай Н.Б.**, Якубова М.З., Дараев А.М., Асабаева Р.Н., Якубов Д.М., Актаев Э.Т. Гелиоэнергетическая установка с автоматической системой управления // Патент на полезную модель, 2021. № 6043.

#### **Свидетельство об авторских правах**

**Құттыбай Н.Б.**, Саймбетов А.К., Нұрғалиев М.К., Солнечные трекеры с контроллером отслеживания точки максимальной мощности // Авторское свидетельство, 2022. №25199.

#### **Объём и структура диссертации.**

Диссертационная работа состоит из введения, 3 разделов, заключения и списка использованных источников из 112 наименований, содержит 126 страниц основного компьютерного текста, включая 93 рисунки и 23 таблиц.