

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.389

Бандарик Сергей Дмитриевич

**Программно-аппаратный комплекс для мониторинга и управления  
фотоэлектрической станцией**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание степени магистра технических наук  
по специальности 1-39 80 03 «Электронные системы и технологии»

Научный руководитель

Тонконогов Борис Александрович

доцент кафедры ЭТТ

Минск 2021

Библиотека БГУИР

## ВВЕДЕНИЕ

Энергетическая проблема является одной из самых актуальных проблем нашего времени. С годами потребление электроэнергии в мире растет, а запасы традиционных источников истощаются. Еще одной не менее важной проблемой является экологическая проблема. Загрязнение окружающей среды и увеличение уровня углекислого газа в атмосфере растет год от года, и одна из основных причин этому – использование ископаемого топлива. В связи с этим в мире наблюдается рост интереса к изучению и использованию альтернативной, возобновляемой энергии.

Самым распространённым видом возобновляемой энергии является солнечная. Солнечная энергетика является наиболее привлекательной, так как является бесконечным источником возобновляемой энергии, характеризуется простотой использования, повсеместной распространённостью, а также солнечная энергетика является экологически чистым способом получения энергии. Однако солнечная энергетика имеет ряд серьезных недостатков. Одним из таких является дороговизна солнечных панелей и других компонентов фотоэлектрических станций, что делает длинным срок окупаемости солнечных станций. Для снижения срока окупаемости фотоэлектрических станций и увеличения их эффективности возможно применение систем ориентации фотоэлектрических модулей.

В настоящей работе поставлена задача создания программно-аппаратного комплекса с повышенной энергетической эффективностью.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами**

Тема диссертационной работы утверждена Советом учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

### **Актуальность темы исследования**

В настоящее время коэффициент преобразования падающего солнечного излучения низкий, а время окупаемости фотоэлектрических станций высокое. Это связано с относительно высокой стоимостью солнечных модулей и других компонентов солнечных станций, а также изменчивостью поступления солнечного излучения, его рассеянностью и низкой плотностью. На сегодняшний день лучшим способом повышения энергетической эффективности фотоэлектрических станций является увеличение количества поступающей энергии на солнечные модули, а для этого применяются системы слежения, которые позволяют изменять пространственную ориентацию солнечных панелей относительно Солнца.

### **Цель и задачи исследования**

Цель магистерской работы состоит в разработке программно-аппаратного комплекса для мониторинга и управления фотоэлектрической станцией. Также целью работы является нахождение оптимальной методики ориентации фотоэлектрических модулей для обеспечения наибольшей эффективности работы и минимизация времени окупаемости фотоэлектрической электростанции. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Анализ мирового опыта в использовании солнечной энергетики и потенциал использования солнечной энергетики в РБ.
2. Анализ структуры оборудования фотоэлектрических станции и способов повышения их эффективности.
3. Разработка модели для расчета эффективности систем ориентации.
4. Разработка конструкции фотоэлектрической станции.
5. Написание программного кода управления фотоэлектрической станцией.

**Объектом** исследования является фотоэлектрическая станция.

**Предметом** исследования являются система ориентации фотоэлектрической станции.

**Область исследования** диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени

(магистратуры) специальности 1-39 80 03 «Электронные системы и технологии»

**Информационная база** исследования сформирована на основе литературы, открытой информации, технических нормативно-правовых актов, сведений из электронных ресурсов, а также материалов научных конференций и семинаров.

**Научная новизна** заключается в оценке эффективности применения систем слежения за солнцем на территории Республики Беларусь, в разработке программно-аппаратного комплекса и алгоритма управления фотоэлектрической станцией.

**Основные положения диссертации, выносимые на защиту:**

1. Аналитическая модель фотоэлектрической станции для расчета прихода солнечного излучения на поверхности с разными способами ориентации к Солнцу.
2. Расчет потерь солнечных панелей, связанный с влиянием температуры и освещенности. Влияние коэффициента компактности размещения солнечных панелей на вырабатываемую энергию.
3. Программная реализация аналитической модели фотоэлектрической станции с системой ориентации солнечных панелей и модулей расчета коэффициента компактности размещения и влияния температуры и освещенности на мощность солнечных панелей. Особенностью модели является гибкость и открытость для дополнительных расширений и реализаций дополнительных функций.

**Теоретическая значимость** работы заключается в исследовании эффективности систем ориентации фотоэлектрических модулей.

**Апробация диссертации и информации об использовании ее результатов**

Результаты исследований, вошедшие в диссертацию, докладывались и обсуждались на 56-й и 57-й научных конференциях студентов, магистрантов и аспирантов БГУИР, а также на 10-ой Республиканской научной конференции студентов, магистрантов и аспирантов «Актуальные вопросы физики и техники» Гомель.

техники» Гомель.

**Структура и объем диссертации:**

диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав,

заклучения, библиографического списка. Объем магистерской диссертации составляет 108 страницы, включает 50 иллюстраций, 9 таблиц, библиографический список из 30 наименований, 3 приложения.

**Магистерская диссертация** выполнена самостоятельно, проверена в системе «Антиплагиат». Процент оригинальности составил 69%. Заимствования и цитирования обозначены ссылками на публикации, указанные в «Библиографическом списке».

### **Публикации**

По материалам диссертации опубликовано 5 печатные работы в материалах научных конференций, в том числе 5 докладов.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава носит обзорный характер. В ней приводятся тенденции, способствующие использованию солнечной энергетики и тенденции её развития в мире. Приведены дальнейшие перспективы солнечной энергетики в мире и на территории Республики Беларусь. Рассмотрены случаи использования солнечной энергетики на территории Республики Беларусь.

Вторая глава посвящена структуре и составу оборудования, входящего в фотоэлектрическую станцию (рисунок 1). В данной главе приводится описание устройств, входящих в состав станции, их моделей, характеристик и производителей. В главе также приведены способы повышения энергетической эффективности фотоэлектрических станций, а также проведен анализ способов ориентации солнечных панелей, как одного из самых эффективных способов повышения эффективности солнечных станций.

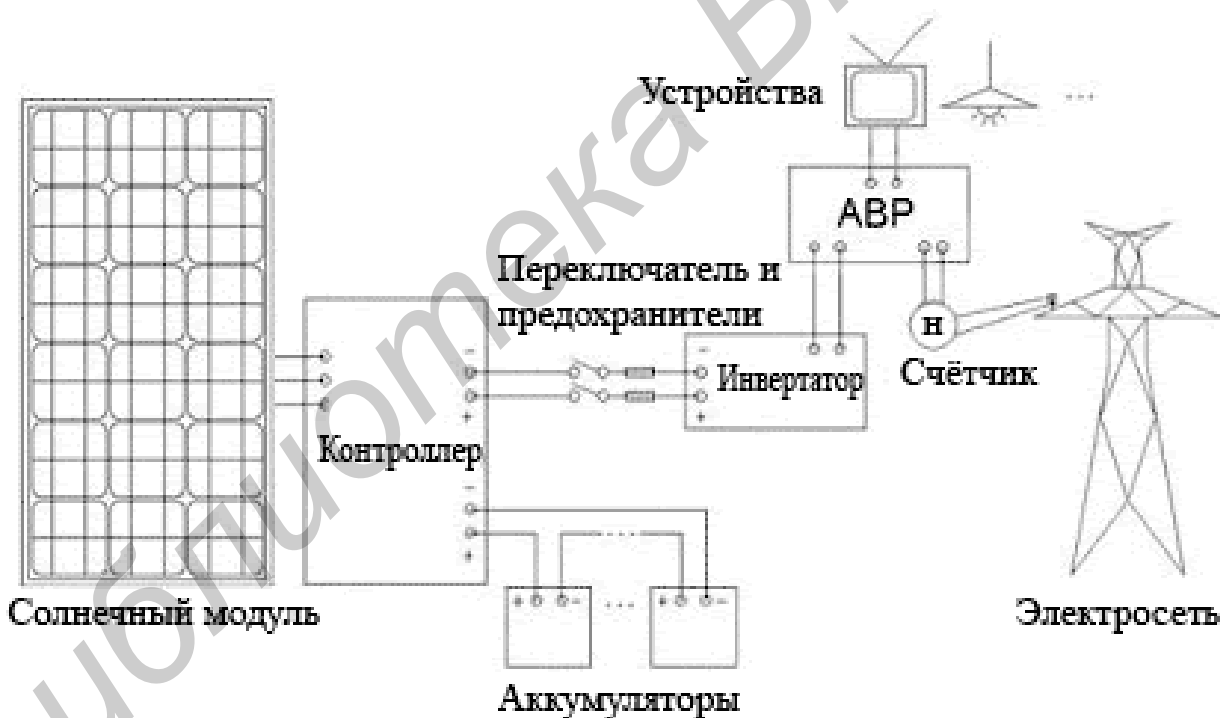
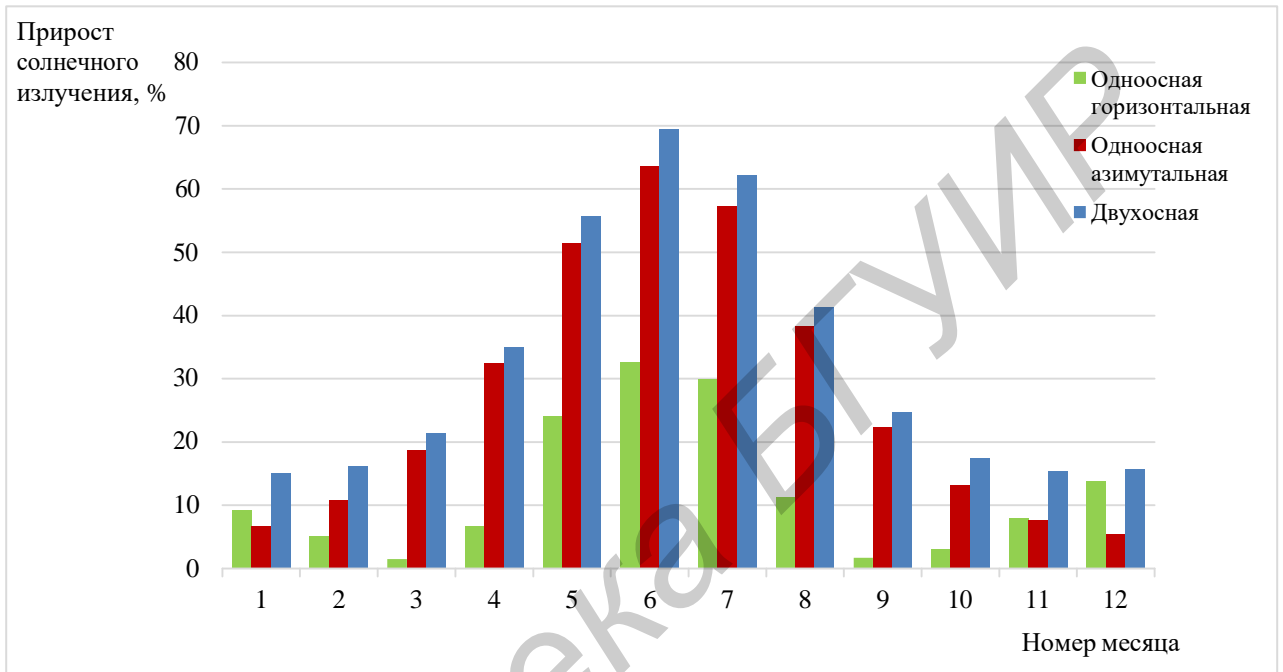


Рисунок 1 – Структурная схема полуавтономной фотоэлектрической установки

Третья глава посвящена исследованию эффективности систем ориентации. Был разработан алгоритм определения высоты и азимута Солнца в произвольный момент времени, а также алгоритм для вычисления времени рассвета и заката в произвольный день года. Получены уравнения прихода солнечного излучения на поверхность перпендикулярную ей для каждого месяца года. Также были получены формулы для расчета угла падения

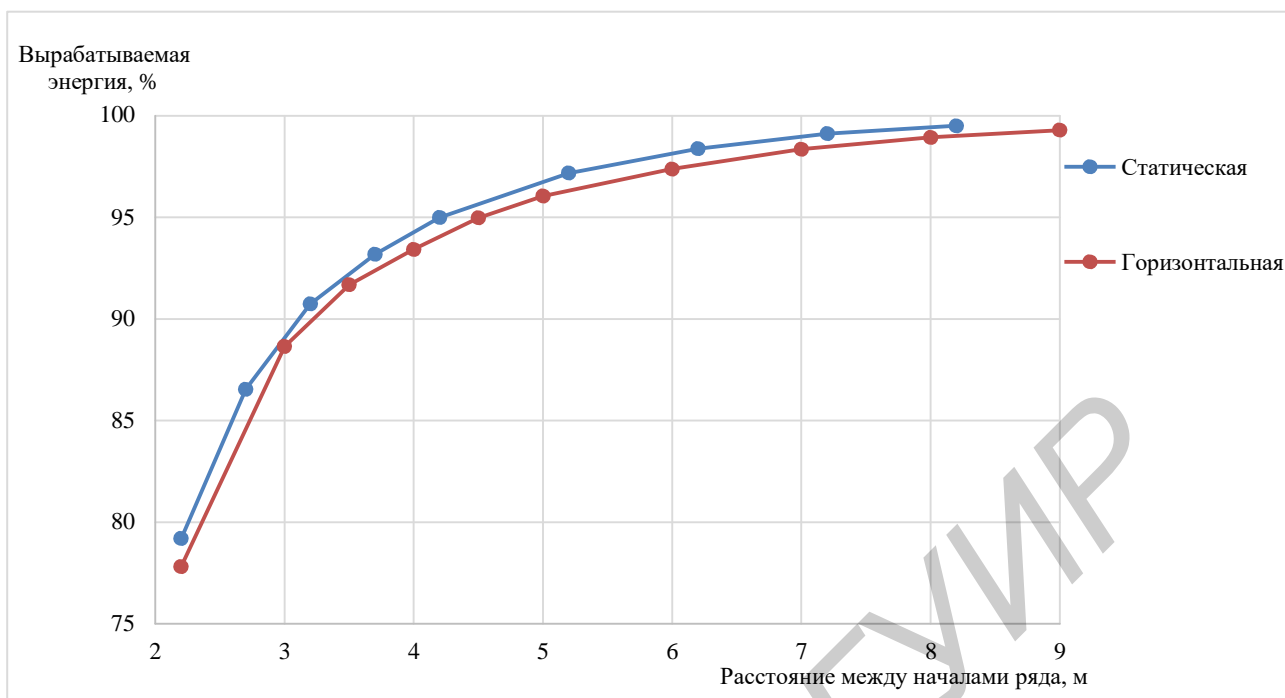
солнечных лучей для каждой из систем ориентации. На основании вышеизложенного создана аналитическая модель и алгоритм расчета эффективности систем ориентации. Проведены расчеты эффективности работы систем слежения за солнцем, которые показали прирост падающего излучения на 39.5% для двухосной системы ориентации, 35% для одноосной азимутальной системы ориентации и 14.2% - для горизонтальной (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Прирост падающего солнечного излучения для систем ориентации**

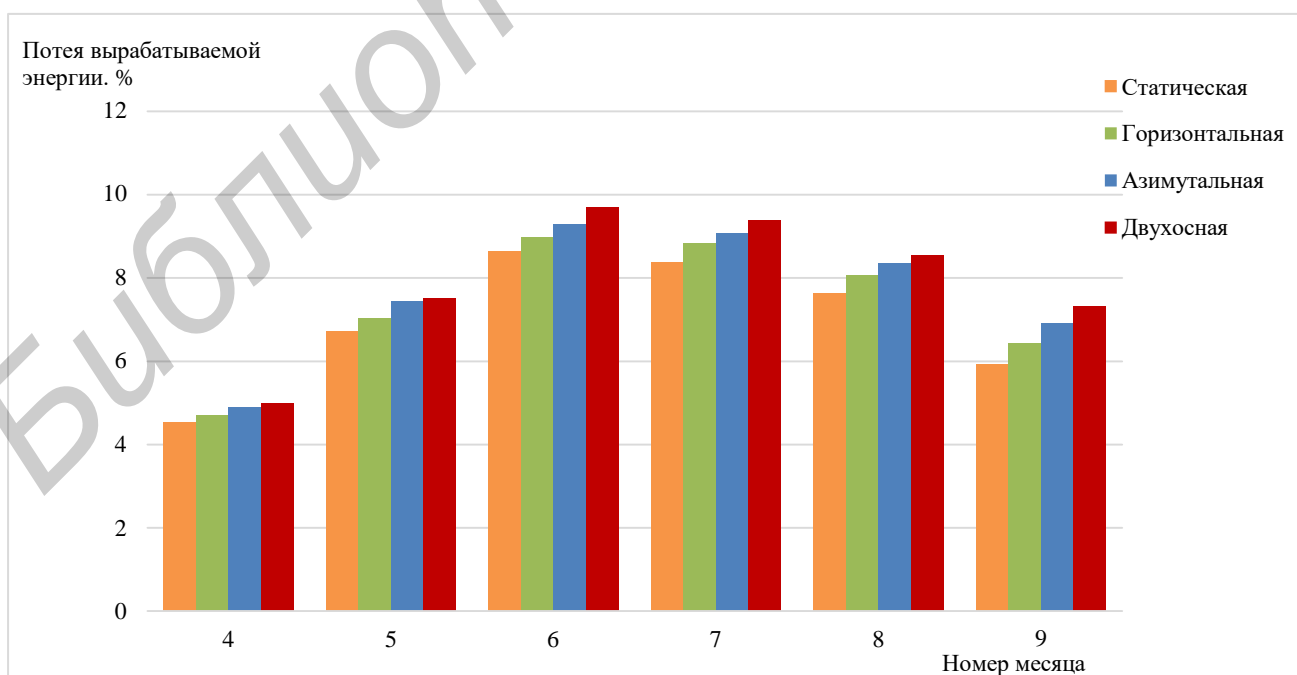
Далее была рассчитана плотность монтажа солнечных панелей для статической и горизонтальной систем и оценена плотность монтажа для остальных систем, а также определен процент вырабатываемой энергии в зависимости от расстояния между рядами панелей (рисунок 3). В результате плотность монтажа для статической системы составила 0.47, для горизонтальной 0.44, а для двухосной и одноосной около 0.2.





**Рисунок 3 – Вырабатываемая энергия солнечных станций в зависимости от расстояния между рядами**

Было определено влияние температуры и освещенности на мощность фотоэлектрических модулей и рассчитаны потери для каждой из систем (рисунок 4). Для двухосной системы слежения годовые потери вырабатываемой энергии составили 6.8%, для азимутальной - 6.6%, для горизонтальной - 5.9%, а для статической системы - 5.6%.



**Рисунок 4. Потери энергии фотоэлектрических модулей, связанные с температурой и мощностью солнечного излучения**

В результате был получен прирост вырабатываемой энергии для каждой из систем слежения. Для двухосной системы слежения он составил 37.7%, для азимутальной 33.5%, для горизонтальной 13.8%. Также была определена эффективность использования территории, где за единицу была принята статическая система. В таком случае для двухосной системы слежения она составляет 0.59, для азимутальной 0.57, а для горизонтальной 1.08.

В четвертой главе диссертации представлено обоснование конструкции фотоэлектрической станции и выбора разрабатываемого объекта. Обосновано конструкционное исполнение установки, системы управления, а также выбор компонентной базы. Предложена оптимальная система хранения энергии с лучшим соотношением цены и количества циклов заряд-разряда.

Пятая глава посвящена программной реализации фотоэлектрической станции. Был реализован модуль управления фотоэлектрической станцией и представлена схема ее работы. Описана реализация серверной части приложения для управления станцией и реализация клиентской части приложения. В главе описаны технологии, с помощью которых написана программная часть, и представлен перечень использованных библиотек.

В заключении сформулированы основные результаты диссертации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе анализа литературных источников и материалов по данной теме определена перспективность использования солнечной энергетики на территории Республики Беларусь.

2. Построена аналитическая модель работы фотоэлектрической станции и рассчитана эффективность систем слежения за солнцем.

3. Получены результаты моделирования, которые показывают, что системы ориентации солнечных панелей способны увеличить количество падающего излучения до 39% для двухосной системы ориентации по сравнению с панелями без ориентации, одноосная азимутальная – 35%, а одноосная горизонтальная до 14.2%. Вычислены потери, связанные с влиянием температуры и освещенности на мощность фотоэлектрических модулей. Рассчитаны потери для каждой из систем: для двухосной системы слежения годовые потери составили 6.8%, для азимутальной 6.6%, для горизонтальной 5.9%, а для статической системы 5.6%. В результате был получен прирост вырабатываемой энергии для каждой из систем слежения: для двухосной системы слежения он составил 37.7%, для азимутальной 33%, для горизонтальной 13.8%. Также была определена эффективность использования территории, где за единицу была принята статическая система. Для двухосной системы слежения она составляет 0.59, для азимутальной 0.57, а для горизонтальной 1.08.

4. Выявлены наиболее рациональные способы повышения энергетической эффективности солнечных электростанций. На сегодняшний день это горизонтальная система ориентации.

5. Предложена конструкция фотоэлектрической станции, исполнение ее системы управления, а также выбор компонентной базы. Предложена оптимальная система хранения энергии с лучшим соотношением цены и количества циклов заряд-разряда.

6. Разработаны программные модули для клиентской и серверной части проекта и произведена программная реализация модуля управления фотоэлектрической станцией.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1-А. Бандарик, С.Д. Эффективность применения систем слежения за солнцем / С.Д. Бандарик (научный руководитель Б.А. Тонконогов) // 56-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР / БГУИР. – Минск. – 2020 - С. 295-296

2-А. Бандарик, С.Д. Алгоритм определения высоты и азимута Солнца на языке программирования JavaScript / С.Д. Бандарик (научный руководитель Б.А. Тонконогов) // 57-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР / БГУИР. – Минск. – 2021 – С. 147-151.

3-А. Бандарик, С.Д. Алгоритм определения времени восхода и захода солнца на языке программирования JavaScript С.Д. Бандарик (научный руководитель Б.А. Тонконогов) // 57-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР / БГУИР. – Минск. – 2021 – С. 144-146.

4-А. Бандарик, С.Д. Оптимизация шага поворотного механизма фотоэлектростанции / С.Д. Бандарик (научный руководитель Б.А. Тонконогов) // X Республиканская научная конференция студентов, магистрантов и аспирантов «Актуальные вопросы физики и техники»: тезисы докладов - Гомель, 2021 - [в печати].

5-А. Бандарик, С.Д. Разработка модуля для ориентации фотоэлектрической станции на Arduino / С.Д. Бандарик (научный руководитель Б.А. Тонконогов) // X Республиканская научная конференция студентов, магистрантов и аспирантов «Актуальные вопросы физики и техники»: тезисы докладов - Гомель, 2021 - [в печати].