

Н.Б. Құттыбай<sup>1\*</sup>, Ә.А. Аманжол<sup>1</sup>, Н. Ж. Қошқарбай<sup>1</sup>,  
Б.Н. Жоламанов<sup>1</sup>, А.К. Сейтжанова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

\*e-mail: [nurjigit.10.93@gmail.com](mailto:nurjigit.10.93@gmail.com)

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СЛЕЖЕНИЯ ЗА СОЛНЦЕМ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ (IOT)

### *Аннотация*

Дистанционное наблюдение и управление системами выработки электроэнергии представляет собой важную задачу в области возобновляемых источников энергии. Эффективное дистанционное наблюдение позволяет оперативно выявлять неисправности, проводить диагностику и предпринимать меры для предотвращения серьезных проблем, что в конечном итоге экономит время и ресурсы. В данной работе представлена система мониторинга солнечной энергии, основанная на технологии Интернета вещей (IoT). Устройства IoT подключены к датчикам, позволяя контролировать параметры системы в реальном времени из любой точки мира через доступную сеть. Разработаны электронные блоки управления, описана конструкция системы, а также предложен алгоритм ее работы. Проведенные исследования сопровождаются графическими результатами работы фотоэлектрической системы, управляемой технологией IoT. Полученные данные подтверждают стабильную и оперативную работу разработанной системы без выявленных ошибок. Предложенная система отличается простотой в реализации, что делает ее перспективной для широкого применения в сфере солнечной энергетики.

**Ключевые слова:** Интернет вещей (IoT), дистанционный мониторинг, алгоритм управления, программное обеспечение, солнечная панель, беспроводная связь.

Н.Б. Құттыбай<sup>1</sup>, Ә.А. Аманжол<sup>1</sup>, Н. Ж. Қошқарбай<sup>1</sup>, Б.Н. Жоламанов<sup>1</sup>, А.К. Сейтжанова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ал-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

## ЗАТТАР ИНТЕРНЕТІ (IOT)ТЕХНОЛОГИЯСЫНА НЕГІЗДЕЛГЕН КҮНДІ БАҚЫЛАУ ЖҮЙЕСІН ЖАСАУ

### *Аңдатпа*

Электр энергиясын өндіру жүйелерін қашықтықтан бақылау және басқару жаңартылатын энергия көздері саласындағы маңызды міндет болып табылады. Қашықтықтан тиімді бақылау ақауларды тез анықтауға, диагностика жүргізуге және күрделі мәселелердің алдын алу үшін шаралар қабылдауға мүмкіндік берумен қатар, уақыт пен ресурстарды үнемдейді. Бұл жұмыста Заттар интернеті (IoT) технологиясына негізделген күн энергиясын бақылау жүйесі ұсынылған. IoT құрылғылары сенсорларға қосылған, бұл жүйенің параметрлерін әлемнің кез келген нүктесінен қол жетімді желі арқылы бақылауға мүмкіндік береді. Электрондық басқару блоктары жобаланып, жүйенің құрылымы сипатталды және оның жұмыс алгоритмі ұсынылды. Жүргізілген зерттеулер IoT технологиясымен басқарылатын фотоэлектрлік жүйенің графикалық нәтижелерімен келтірілген. Алынған мәліметтер негізінде жүйенің тұрақты және жедел жұмыс жасайтындығы анықталды. Ұсынылған жүйе іске асырудың қарапайымдылығымен ерекшеленеді, бұл оны күн энергетикасы саласында кеңінен қолдануға мүмкіндік береді.

**Түйін сөздер:** заттар интернеті (IoT), қашықтықтан бақылау, басқару алгоритмі, бағдарламалық жасақтама, күн панелі, сымсыз байланыс.

Kuttybay N.<sup>1</sup>, Amanzhol A.<sup>1</sup>, Koshkarbay N.<sup>1</sup>, Zholamanov B.<sup>1</sup>, Seitzhanova A.<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

## DEVELOPMENT OF A SOLAR TRACKING SYSTEM BASED ON INTERNET OF THINGS (IOT) TECHNOLOGY

### *Abstract*

Remote monitoring and control of power generation systems is an important challenge in the field of renewable energy. Effective remote monitoring allows to quickly identify faults, diagnose problems and take action to prevent serious problems, ultimately saving time and resources. This paper presents a solar energy monitoring system based on Internet of Things (IoT) technology. IoT devices are connected to sensors, allowing system parameters to be monitored in real time from anywhere in the world via an accessible network. Electronic control units have been developed, the design of the system has been described, and an algorithm for its operation has been proposed. The conducted studies are accompanied by graphical results of the operation of a photovoltaic system controlled by IoT technology. The data obtained confirm the stable and efficient operation of the developed system without identified errors. The proposed system is easy to implement, which makes it promising for wide application in the field of solar energy.

**Keywords:** Internet of Things (IoT), remote monitoring, control algorithm, software, solar panel, wireless communication.

### **Основные положения**

Дистанционное наблюдение и управление фотоэлектрическими системами являются важными задачами в области возобновляемых источников энергии. Эффективное наблюдение за фотоэлектрическими установками помогает оперативно выявлять неисправности, проводить диагностику и принимать превентивные меры, что экономит время и ресурсы. Представлена система мониторинга солнечной энергии, основанная на технологии Интернета вещей (IoT), позволяющая контролировать параметры системы в реальном времени. Фотоэлектрическая система продемонстрировала стабильную работу без ошибок и устойчивость к внешним воздействиям, данные передавались без потерь. Технология IoT автоматизирует процесс сбора и передачи данных, снижая необходимость постоянного присутствия оператора, что полезно для удаленных мест. Анализ собранных данных позволяет выявить закономерности, предсказывать поведение системы и проводить профилактическое обслуживание.

### **Введение**

Солнечные трекеры являются одним из решений для оптимизации производства солнечной энергии. Однако в большинстве случаев наблюдается недостаточное выполнение мониторинга и технического обслуживания в данных системах. Анализ системы отслеживания солнца может быть проведен на двух уровнях: уровне панели и уровне системы. Мониторинг на уровне системы предоставляет информацию о функционировании фотоэлектрической системы как интегрированного целого. С другой стороны, мониторинг на уровне панели предоставляет детальную информацию о работе каждой отдельной панели.

Анализ на уровне панели позволяет более точно выявлять потенциальные проблемы, связанные с фотоэлектрической системой. Важно отметить, что информация, полученная от фотоэлектрического контроллера заряда батареи и инвертора, недостаточна для полного понимания состояния системы. Каждый подключенный модуль оказывает влияние на общую электроэнергию, производимую фотоэлектрической системой, поскольку производство зависит от мощности каждого модуля.

Кроме того, различные факторы, такие как неисправности в проводке, аномалии на выходе фотоэлектрической панели, окружающие условия (такие как температура, солнечное излучение, влажность и др.), неисправности контроллеров заряда батареи и инверторов, а также непредвиденные повреждения и производственные дефекты, могут влиять на производство электроэнергии в системе.

Неисправность в одном модуле способна нарушить общее производство электроэнергии фотоэлектрической системы. Следовательно, акцентирование внимания на мониторинге каждого фотоэлектрического модуля представляет собой важный аспект для поддержания высокой производительности всей системы солнечной энергии [1].

Солнечные трекары, оснащенные датчиками, предназначенными для измерения угла наклона, направления солнца, температуры и прочих параметров, активно применяются в современных солнечных энергетических системах. Собранные этими датчиками данные передаются на удаленные серверы посредством как проводных, так и беспроводных сетей [2]. В отсутствие системы мониторинга единственным методом обеспечения надлежащей работы таких систем является наблюдение за данными счетчика либо отображения инвертора. Считается целесообразным и экономически эффективным внедрение системы мониторинга с возможностью получения данных в режиме реального времени, обеспечивающей доступ к ним из любого места.

В результате проведенного анализа существующих систем мониторинга можно сделать следующие заключения. Система спутникового мониторинга, хотя и требует существенных затрат, является оптимальным решением для удаленного контроля в тех регионах, где отсутствует возможность использования проводных или беспроводных сетей [3]. Созданное устройство, оснащенное интерфейсом для приложений реального времени в среде Linux, разработано с целью упростить взаимодействие с MATLAB и Simulink для более удобного и детального анализа записанных данных. Для успешной реализации этого процесса необходимо обладать обширными знаниями в области операционной системы Linux, чтобы обеспечить совместимость с программным обеспечением для анализа данных, таким как MATLAB, а также с управлением аппаратными и внешними датчиками [4]. Беспроводная передача данных, предлагаемая технологией ZigBee, сталкивается с препятствиями и ограничениями в дальности своего действия [5]. Измерительные устройства от National Instruments обеспечивают удовлетворительное качество измерений, но могут оказаться дорогостоящими для владельцев солнечных энергетических систем в частных домах [6]. Связь через линии электропередачи может быть, в определенном контексте, более экономичной, но при этом она вызывает проблемы интерференции с другими электронными устройствами [1]. Системы "модуль-модуль", системы мониторинга, основанные на ссылочных ячейках, или контроллеры периферийного интерфейса представляют собой эффективные инструменты для научных исследований, однако их внедрение и поддержание в рабочем состоянии представляют значительные трудности для владельцев домашних солнечных энергетических систем [7-9]. Применение системы, основанной на процессоре ARM Cortex-M3, рекомендуется для корпоративных структур с крупными электростанциями и фотоэлектрическими системами, интегрированными в энергосеть. Эта система способна эффективно управлять обширными объемами данных и может быть востребована для обработки информации от другого оборудования на предприятии [10]. Однако взаимодействие с подобными системами мониторинга представляет собой сложную задачу. Для успешного обслуживания таких систем требуется высокий уровень экспертизы. Учитывая, что система мониторинга фотоэлектрических установок играет ключевую роль в обеспечении их эффективности, необходимо обладать глубоким пониманием уже существующих систем и их технологий перед тем, как приступить к разработке новой системы мониторинга [11].

В рамках данного исследования была разработана фотоэлектрическая система, основанная на принципах мониторинга и управления с использованием технологии интернета вещей (IoT) [12]. В качестве беспроводного приемопередающего устройства применялся Wi-Fi модуль. Работа подробно описывает общую структуру системы, электронный блок управления, топологию связи с сервером, интерфейс для визуализации данных, а также алгоритм функционирования системы. Полученные данные подверглись анализу, на основе которого были построены графические представления.

### Методология исследования

Описывая систему дистанционного мониторинга фотоэлектрической системой с использованием технологии IoT, можно выделить две основные структуры. Первая структура ответственна за управление солнечным трекером и сбор информации об электрической энергии, производимой системой.

На рисунке 1 представлена структурная схема фотоэлектрической системы, интегрированной с технологией интернета вещей (IoT). Запуск системы осуществляется с использованием управляющего контроллера Arduino. К этому контроллеру подключены различные датчики и драйверы, которые обеспечивают управление солнечным трекером.

Датчик, определяющий положение солнца, передает полученные данные на управляющий контроллер Arduino. После обработки информации контроллер выдает команды моторам постоянного тока, установленным на осях вращения по азимуту и высоте Солнца. Это позволяет установить фотоэлектрическую панель перпендикулярно солнечному излучению.

Солнечный трекер, в процессе преобразования солнечной энергии в электрическую, заряжает аккумулятор через контроллер заряда батареи. Выходные электрические характеристики фотоэлектрической панели измеряются при помощи амперметра и вольтметра. Полученные данные передаются контроллеру Arduino. Контроллер Arduino, работающий на пониженных напряжениях с использованием понижающего преобразователя постоянного тока, отображает полученные данные на дисплее. Затем Arduino передает информацию, полученную от фотоэлектрической системы, в модуль Wi-Fi и отправляет ее в систему мониторинга интернета вещей для записи, как показано на рисунке 1.

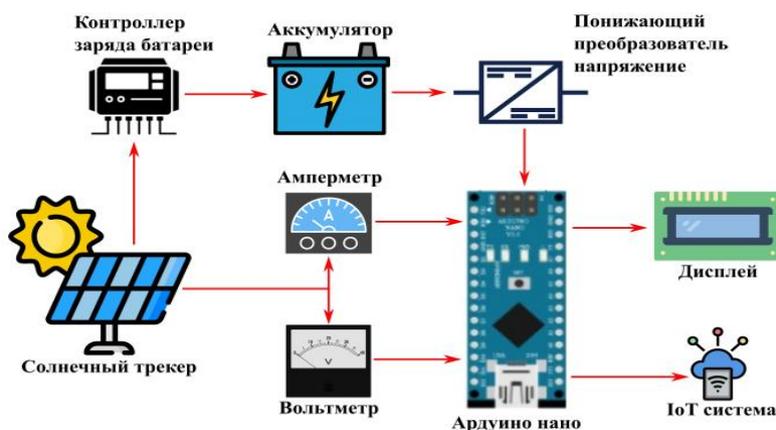


Рисунок 1. Структурная схема фотоэлектрической системы

Система мониторинга интернета вещей регулярно обновляет данные каждые 3 секунды, обеспечивая непрерывное и точное отслеживание работы фотоэлектрической системы. Второй важной компонентой структуры системы мониторинга является передача информации между центром мониторинга и исполнительной частью. На рисунке 2 представлен Wi-Fi модуль ESP8266, который получает данные от контроллера Arduino.

С использованием мобильной точки доступа, модуль отправляет информацию на сервер через интернет. Эти данные также доступны для получения через компьютер или мобильные устройства с подключением к интернету.

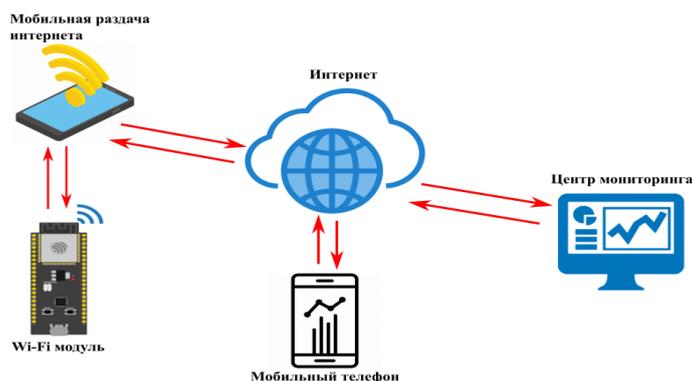


Рисунок 2. Схема работы и передачи данных через Интернет вещей

В рамках нашей исследовательской работы данные представлены в виде длинной строки в каждый момент передачи информации на сайт [console.firebase.google.com](https://console.firebase.google.com) (см. рисунок 3).

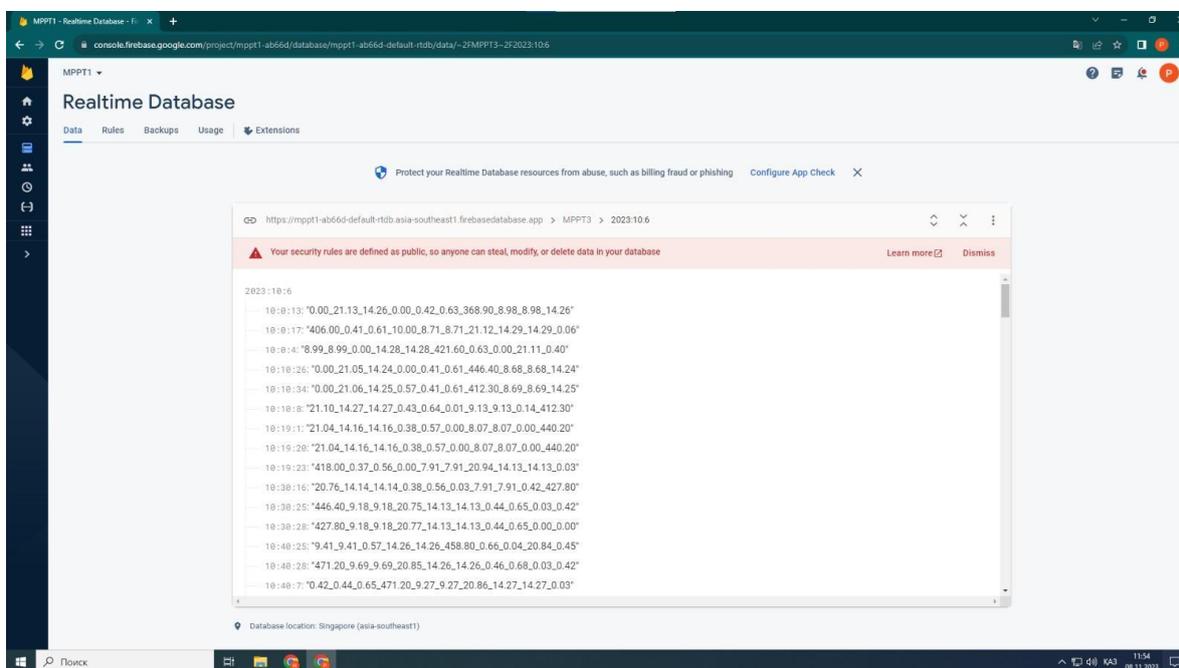


Рисунок 3. Полученные данные и интерфейс [console.firebase.google.com](https://console.firebase.google.com)

На рисунке 3 представлены данные, полученные с сервера. Они представлены в следующем формате: "0.00\_21.13\_14.26\_0.00\_0.42\_0.63\_368.90\_8.98\_8.98\_14.26". Каждое значение в строке соответствует конкретному параметру, а порядок следования параметров определен следующим образом:  $U_n = 0.00$  – напряжение нагрузки;  $T = 21.13$  – температура воздуха;  $U_n = 14.26$  – напряжение панели;  $I_n = 0.00$  – ток нагрузки;  $I_n = 0.42$  – ток панели;  $I_{акб} = 0.63$  – ток аккумулятора;  $G = 368.90$  – солнечная радиация;  $P_n = 8.98$  – мощность панели;  $P_{акб} = 8.98$  – мощность аккумулятора;  $U_{акб} = 14.26$  – напряжение аккумулятора. Таким образом, каждый параметр в строке представляет собой конкретное измерение, связанное с работой системы мониторинга.

На рисунке 4 показана блок-схема алгоритма работы системы слежения за солнцем, управляемой с использованием IoT-системы. После активации система производит считывание всех необходимых переменных. В первую очередь осуществляется проверка наличия солнечного света, чтобы определить, наступил ли восход. В случае отсутствия солнечной активности система остается в начальном положении без вращения. Если наступил

восход, устанавливается беспроводное соединение между центром управления и фотоэлектрической установкой. В качестве беспроводного приемо-передающего устройства используются Wi-Fi модули. Через интернет-соединение можно удаленно получать данные.

Затем система осуществляет повороты трекера для точной ориентации к солнцу по азимуту и высоте угла координат. После установки солнечного трекера в нужную позицию измеряются значения тока и напряжения на выходе солнечной панели и нагрузки, солнечная радиация, температура воздуха, мощности солнечной панели и аккумулятора.

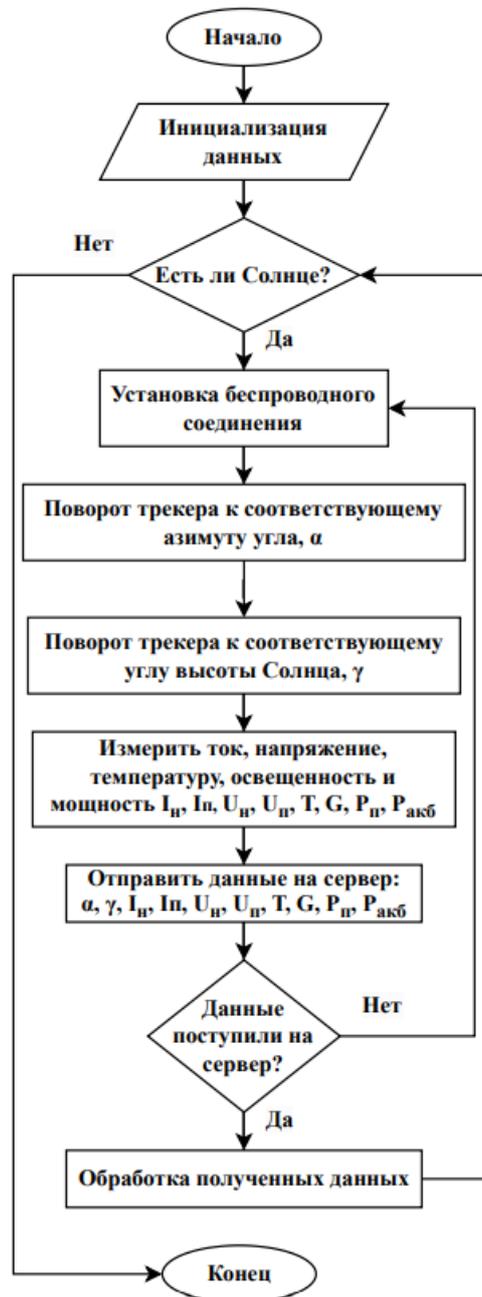


Рисунок 4. Алгоритм работы фотоэлектрической системы с управлением через IoT

Полученные результаты отправляются на сервер. Затем система проверяет, получены ли данные. В случае получения результатов система готовится к следующему циклу работы. В случае отсутствия результатов система возвращается к начальному состоянию, где устанавливается связь между сервером и фотоэлектрической конструкцией для повторной попытки передачи данных.

### Результаты исследования

Эксперименты проводились на территории КазНУ имени аль-Фараби в городе Алматы. Экспериментальная установка показано на рисунке 5. Основной целью исследования являлось разработка системы управления и мониторинга фотоэлектрической системы, интегрированной с Интернетом вещей (IoT).



Рисунок 5. Двухосная система слежения за Солнцем на основе IoT технологии

Экспериментальная установка включает в себя модуль ESP8266 и микроконтроллер Arduino Nano (рисунок 6). Данная конфигурация разработана для проведения исследовательских работ в области сбора данных и беспроводной передачи информации. Модуль ESP8266 обеспечивает беспроводное подключение, а микроконтроллер Arduino Nano выполняет управление и обработку данных. Схема предназначена для реализации проектов, требующих сбора и передачи данных по беспроводной сети.

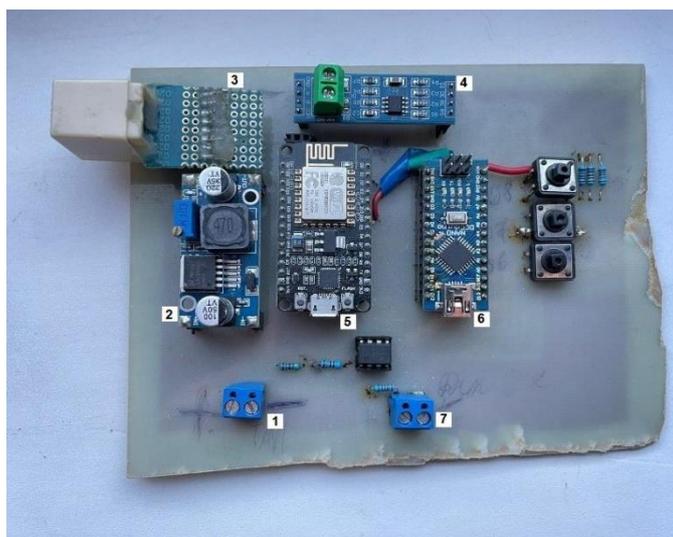


Рисунок 6. Экспериментальная схема с модулем ESP8266 и микроконтроллером Arduino nano  
Обозначены следующие элементы: 1 – коннекторы для подключения аккумулятора, 2 – LM2596 преобразователь постоянного тока, 3 – коннектор RG42, 4 – модуль MAX485 (RS485 to TTL), 5 – Wi-Fi модуль ESP8266, 6 – микроконтроллер Arduino Nano, 7 – коннекторы для подключения радиационного датчика.

Аккумулятор предоставляет напряжение 12 вольт для LM2596 конвертора. Данный конвертор снижает напряжение с 12 вольт до 5 вольт для обеспечения работы микроконтроллера и модуля ESP8266. Модуль MAX485 необходим для преобразования протокола RS485 в TTL. Далее TTL программа передается в микроконтроллер Arduino Nano. Arduino запрашивает данные с датчиков, таких как напряжение, ток и радиация.

Используя Wi-Fi модуль ESP8266, были собраны данные, которые передаются на сервер для последующей обработки. На рисунке 7 представлены графики электрических характеристик солнечной панели и аккумулятора, а также мощности солнечного излучения, полученные с использованием технологии интернета вещей (IoT). Экспериментальные данные были получены в течение временного интервала с 09:00 утра до 18:00 вечера с интервалом времени 10 минут.

Разработанная система продемонстрировала стабильную работу без выявленных ошибок и проявила устойчивость к внешним воздействиям. Данные, переданные через систему интернета вещей, поступали без потерь.

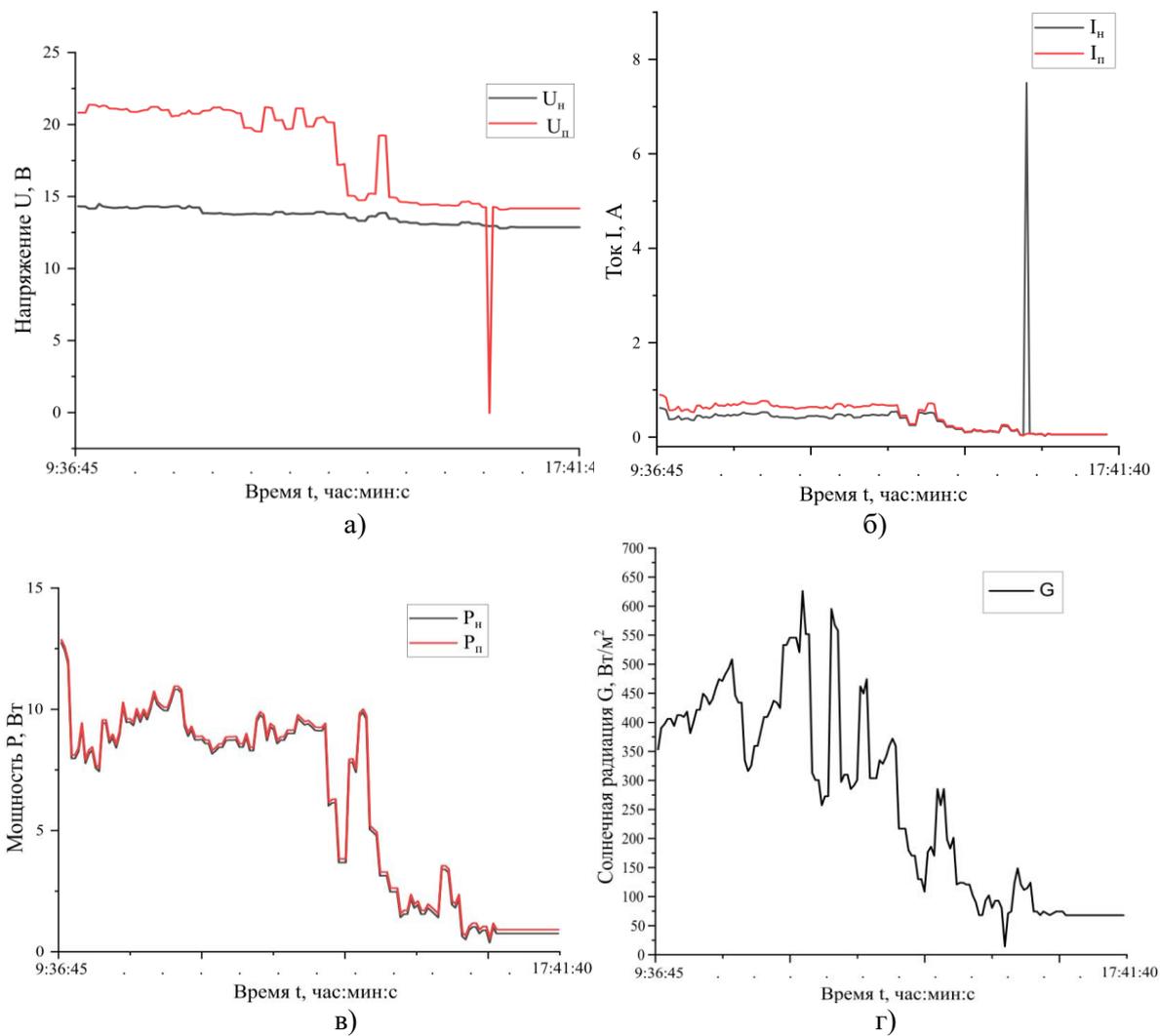


Рисунок 7. Данные исследования включают в себя следующие параметры:  
 а) напряжение солнечной панели и аккумулятора; б) ток солнечной панели и аккумулятора;  
 в) мощность солнечной панели и аккумулятора; г) мощность солнечного излучения по времени.

### **Дискуссия**

Результаты нашего исследования показали, что использование технологии Интернета вещей (IoT) в фотоэлектрических системах значительно повышает эффективность и надежность управления и мониторинга. Экспериментальная установка, разработанная и протестированная на территории Казахского национального университета имени аль-Фараби, продемонстрировала стабильную работу и устойчивость к внешним воздействиям. Эти результаты подчеркивают потенциал IoT для улучшения работы фотоэлектрических систем.

Одним из ключевых достижений нашей работы является демонстрация стабильной работы системы без ошибок. Это особенно важно для реальных условий эксплуатации, где внешние факторы, такие как погодные условия и помехи, могут влиять на работу системы. Наши эксперименты показали, что разработанная система устойчива к таким воздействиям, что подтверждается непрерывной передачей данных без потерь в течение всего периода наблюдений.

Технология IoT позволяет автоматизировать процесс сбора и передачи данных, что снижает необходимость в постоянном присутствии оператора. Это особенно полезно для удаленных и труднодоступных мест, где ручной мониторинг затруднителен. В нашей системе модуль ESP8266 и микроконтроллер Arduino Nano эффективно выполняют свои функции, обеспечивая бесперебойную работу и своевременную передачу данных на сервер. Это позволяет оперативно реагировать на изменения в работе системы и принимать необходимые меры для оптимизации её работы.

Данные, собранные с использованием IoT, предоставляют ценные инсайты для анализа и оптимизации работы фотоэлектрических систем. В наших экспериментах данные о напряжении, токе, солнечной радиации и температуре собирались каждые 10 минут с 09:00 до 18:00. Эти данные помогли выявить закономерности в работе системы и определить оптимальные условия для её функционирования. Кроме того, анализ данных позволяет предсказывать поведение системы и проводить профилактическое обслуживание, что увеличивает её долговечность и эффективность.

Несмотря на достигнутые результаты, наше исследование имеет некоторые ограничения. Во-первых, эксперименты проводились в конкретных климатических условиях Алматы, и результаты могут отличаться в других регионах с различными климатическими характеристиками. Во-вторых, используемая конфигурация системы может быть улучшена за счет внедрения более современных датчиков и модулей связи.

В будущем планируется расширить исследования, включив в них различные климатические зоны и более сложные конфигурации фотоэлектрических систем. Кроме того, интеграция технологий машинного обучения и анализа больших данных может значительно улучшить точность прогнозирования и оптимизации работы системы. Это откроет новые возможности для повышения эффективности фотоэлектрических установок и их более широкого применения в энергетике.

### **Заключение**

В заключении данной статьи отмечается, что были разработаны и сконструированы фотоэлектрические установки, оборудованные системой мониторинга и управления через Интернет вещей (IoT). В работе подробно рассмотрены общая структура системы, электронный блок управления, топология связи с сервером, интерфейс для визуализации данных и алгоритм работы системы. Полученные данные были анализированы, и на основе них были построены графики электрических характеристик и мощности солнечного излучения.

Исследование, проведенное с использованием модуля ESP8266 и микроконтроллера Arduino Nano, продемонстрировало отсутствие сбоев в управлении и мониторинге системы. В ходе экспериментов успешно измерены выходные данные фотоэлектрической установки с применением технологии IoT, и результаты представлены в виде временных графиков.

Полученные выводы подчеркивают возможности удаленного управления и мониторинга несколькими фотоэлектрическими системами при использовании IoT. Применение данной технологии в солнечной энергетике обеспечивает эффективное удаленное управление, диагностику, обнаружение неисправностей и оптимизацию работы системы, способствуя более эффективному использованию солнечной энергии.

### Благодарность

Работа выполнена при поддержке исследовательского проекта AP23487428 Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в Казахском национальном университете имени аль-Фараби, что с благодарностью признано авторами.

### Список использованных источников

- [1] Han J., Lee I., Kim S. H. User-friendly monitoring system for residential PV system based on low-cost power line communication // *IEEE Transactions on Consumer Electronics*. – 2015. – Vol. 61. – №. 2. – P. 175-180. DOI: 10.1109/TCE.2015.7150571
- [2] Rouibah N. et al. A low-cost monitoring system for maximum power point of a photovoltaic system using IoT technique // *2019 International conference on wireless technologies, embedded and intelligent systems (WITS)*. – IEEE, 2019. – P. 1-5. DOI: 10.1109/WITS.2019.8723724
- [3] Wu C. H., Wang H. C., Chang H. Y. Dual-axis solar tracker with satellite compass and inclinometer for automatic positioning and tracking // *Energy for Sustainable Development*. – 2022. – Vol. 66. – P. 308-318. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2021.12.013>
- [4] Zhang G., Chen L., Yao A. Study and Comparison of the RTHAL-based and ADEOS-based RTAI Real-time Solutions for Linux // *First International Multi-Symposiums on Computer and Computational Sciences (IMSCCS'06)*. – IEEE, 2006. – Vol. 2. – P. 771-775. DOI: 10.1109/IMSCCS.2006.272
- [5] Достиярова А. М. Анализ совместимости архитектуры стека ZIGBEE с протоколами TCP/IP // *Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева*. – 2016. - №. 4(99). С. 132-137. [https://alt.edu.kz/wp-content/assets/docs/%D0%9D%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%B0%D0%92%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA/2016/2016%20-%204\(99\).pdf#page=13](https://alt.edu.kz/wp-content/assets/docs/%D0%9D%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%B0%D0%92%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA/2016/2016%20-%204(99).pdf#page=13)
- [6] Boubakr G. et al. Enhancing virtual real-time monitoring of photovoltaic power systems based on the internet of things // *Electronics*. – 2022. – Vol. 11. – №. 15. – P. 2469. <https://doi.org/10.3390/electronics11152469>
- [7] Naeem M. et al. Remote condition monitoring of a PV system using an embedded web server // *2011 2nd IEEE PES International Conference and Exhibition on Innovative Smart Grid Technologies*. – IEEE, 2011. – P. 1-4. DOI: 10.1109/ISGTEurope.2011.6162761
- [8] Lazzaretti A. E. et al. A monitoring system for online fault detection and classification in photovoltaic plants // *Sensors*. – 2020. – Т. 20. – №. 17. – С. 4688. <https://doi.org/10.3390/s20174688>
- [9] Ulasenka A. et al. Module to module monitoring system, M3S, a new strategy for PV-system monitoring // *2015 IEEE 42nd Photovoltaic Specialist Conference (PVSC)*. – IEEE, 2015. – P. 1-4. DOI: 10.1109/PVSC.2015.7355818
- [10] Xuwei R. *The Design of a Monitoring and Controlling System for a Hot-blast Stove System Based on IPC* // Baoding, China: Norton China Electric Power University. – 2008.
- [11] Туржанова К. М., Коньшин С. В., Солощенко А. В. Анализ сценариев развертывания технологии nb-iot в сетях 4g с применением результатов моделирования // *Вестник Алматинского университета энергетики и связи*, 2020. – №. 4 (51). С. 51-59. [https://doi.org/10.51775/1999-9801\\_2020\\_51\\_4\\_51](https://doi.org/10.51775/1999-9801_2020_51_4_51)
- [12] Саргужиева Б. А. Экономический эффект от внедрения технологий интернета вещей (IOT) // *Вестник западно-казахстанского инновационно технологического университета*. – 2021. -№. 4. – С. 73-76. [https://wkitu.kz/wp-content/uploads/2024/01/sbornik-vestnik-2023-4-novyj-1\\_compressed.pdf#page=74](https://wkitu.kz/wp-content/uploads/2024/01/sbornik-vestnik-2023-4-novyj-1_compressed.pdf#page=74)

References

- [1] Han J., Lee I., Kim S. H. User-friendly monitoring system for residential PV system based on low-cost power line communication //IEEE Transactions on Consumer Electronics. – 2015. – Vol. 61. – №. 2. – P. 175-180. DOI: 10.1109/TCE.2015.7150571
- [2] Rouibah N. et al. A low-cost monitoring system for maximum power point of a photovoltaic system using IoT technique //2019 International conference on wireless technologies, embedded and intelligent systems (WITS). – IEEE, 2019. – P. 1-5. DOI: 10.1109/WITS.2019.8723724
- [3] Krauter S., Depping T. Monitoring of remote PV-systems via satellite //3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, 2003. Proceedings of. – IEEE, 2003. – Vol. 3. – P. 2202-2205. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2021.12.013>
- [4] Zhang G., Chen L., Yao A. Study and Comparison of the RTHAL-based and ADEOS-based RTAI Real-time Solutions for Linux //First International Multi-Symposiums on Computer and Computational Sciences (IMSCCS'06). – IEEE, 2006. – Vol. 2. – P. 771-775. DOI: 10.1109/IMSCCS.2006.272
- [5] Dostiyyarova A. M. (2016) Analiz sovmestimosti arhitektury steka ZIGBEE s protokolami TCP/IP [Analysis of ZIGBEE stack architecture compatibility with TCP/IP protocols]. Vestnik Kazahskoj akademii transporta i kommunikacij im. M. Tynyshpaeva. №. 4(99). 132-137. [https://alt.edu.kz/wp-content/assets/docs/%D0%9D%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%B0%D0%92%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA/2016/2016%20-%204\(99\).pdf#page=13](https://alt.edu.kz/wp-content/assets/docs/%D0%9D%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%B0%D0%92%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA/2016/2016%20-%204(99).pdf#page=13)
- [6] Boubakr G. et al. Enhancing virtual real-time monitoring of photovoltaic power systems based on the internet of things //Electronics. 2022. Vol. 11. №. 15. P. 2469. <https://doi.org/10.3390/electronics11152469>
- [7] Naeem M. et al. Remote condition monitoring of a PV system using an embedded web server //2011 2nd IEEE PES International Conference and Exhibition on Innovative Smart Grid Technologies. – IEEE, 2011. – P. 1-4. DOI: 10.1109/ISGTEurope.2011.6162761
- [8] Lazzaretti A. E. et al. A monitoring system for online fault detection and classification in photovoltaic plants //Sensors. – 2020. – T. 20. – №. 17. – C. 4688. <https://doi.org/10.3390/s20174688>
- [9] Ulasenka A. et al. Module to module monitoring system, M3S, a new strategy for PV-system monitoring //2015 IEEE 42nd Photovoltaic Specialist Conference (PVSC). – IEEE, 2015. – P. 1-4. DOI: 10.1109/PVSC.2015.7355818
- [10] Xuwei R. The Design of a Monitoring and Controlling System for a Hot-blast Stove System Based on IPC //Baoding, China: Norton China Electric Power University. – 2008.
- [11] Turzhanova K. M., Kon'shin S. V., Soloshchenko A. V. (2010) Analiz scenarijev razvertyvaniya tekhnologii nb-iot v setyah 4g s primeneniem rezul'tatov modelirovaniya [Analysis of nb-iot technology deployment scenarios in 4g networks using simulation results]. Vestnik Almatinskogo universiteta jenergetiki i svjazi. №. 4 (51). 51-59. [https://doi.org/10.51775/1999-9801\\_2020\\_51\\_4\\_51](https://doi.org/10.51775/1999-9801_2020_51_4_51)
- [12] Sarguzhieva B. A. (2021) Ekonomicheskij effekt ot vnedreniya tekhnologij interneta veshchej (IOT) [Economic impact of the implementation of Internet of Things (IOT) technologies]. Vestnik zapadno-kazahstanskogo innovacionno tekhnologicheskogo universiteta. №. 4. 73-76. [https://wkitu.kz/wp-content/uploads/2024/01/sbornik-vestnik-2023-4-novyj-1\\_compressed.pdf#page=74](https://wkitu.kz/wp-content/uploads/2024/01/sbornik-vestnik-2023-4-novyj-1_compressed.pdf#page=74)