

УДК 621.311.243

ОРГАНИЗАЦИЯ МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ

Иванов Роман Андреевич

к.т.н., научный сотрудник, e-mail: crowndriver@gmail.com

Максаков Никита Владимирович

бакалавр, инженер-исследователь, e-mail: nikita.max@isem.irk.ru

Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН,
664130 г. Иркутск, ул. Лермонтова 130.

Аннотация. Актуальность разработки обусловлена необходимостью создания устройства для сбора и обработки информации с экспериментального стенда солнечных панелей. Назначением стенда является получение достоверных данных для верификации моделей оценки показателей ге-лиопотенциала, используемых при обосновании эффективности применения солнечных электростанций на территории восточных регионов России. Дано описание основного и вспомогательного оборудования экспериментального стенда. Солнечные панели стенда разноориентированы для определения наиболее эффективного угла наклона и обоснования необходимости применения следящей за солнцем системы. Для снятия и записи мгновенной мощности солнечных панелей разработано устройство на основе микроконтроллера Arduino. Для мониторинга показаний силы тока используется шунтовый амперметр, подключаемый в разрыв цепи питания. Приведена схема счётчика тока и описана его работа. Приведены первичные результаты собранных данных. Намечены основные этапы дальнейшей обработки данных.

Ключевые слова: солнечные панели, arduino, шунтовый амперметр, трекинговые системы.

Цитирование: Иванов Р.А., Максаков Н.В. Организация мониторинга параметров экспериментального стенда солнечных панелей // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2021. № 4 (24). С. 77-87. DOI: 10.38028/ESI.2021.24.4.008.

Введение. Повсеместный интерес к системам альтернативного энергоснабжения и тенденции применения экологически чистых энергоисточников инициируют проведение различных научных исследований и экономических обоснований. Одними из основных причин являются целесообразность применения возобновляемых источников на определенной территории и обоснование состава оборудования. В связи с высокой стоимостью исходных компонентов исследователь не в состоянии установить и исследовать полноразмерные системы альтернативного энергоснабжения на своей территории, а развернутые системы принадлежат частным собственникам или очень удалены от места проведения исследований. Соответственно, нет возможности установить собственное контрольно-измерительное оборудование в развернутую систему. Компоновка таких систем, как правило, кардинально отличается и по установленной мощности, и по составу оборудования. Таким образом, сравнение параметров таких систем чаще всего затруднительно.

В данной статье речь пойдет о проблемах и задачах, связанных с размещением и выбором параметров солнечных электростанций. Одной из ключевых задач является оценка целесообразности применения систем слежения за солнцем (трекинговых систем) и их эффективности. Такие работы проводятся различными исследовательскими коллективами. Некоторые из них, например, [1-3], исследуют эффективность существующих систем слежения. Статьи [4-7] посвящены разработке собственных систем слежения и управления ими. Авторы работ [8, 9] детально освещают процесс разработки системы управления на основе микроконтроллера Arduino.

В связи тем, что существует большое количество готовых решений систем слежения за солнцем, авторами был выбран следующий подход: построить собственный

экспериментальный стенд на основе готовой трекинговой системы слежения за солнцем и разработать счетчик солнечной энергии для сравнения и обоснования ее эффективности.

Первоочередными задачами для данного стенда являются получение достоверной информации для оценки эффективности использования солнечных электростанций для различных регионов, обоснование оптимального угла наклона панелей и необходимости сооружения трекинговой системы.

1. Описание экспериментального стенда солнечных панелей. Экспериментальный стенд установлен в Институте систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН. Стенд представляет собой три фотоэлектрических станции, панели которых закреплены на общей раме. Для установки панелей смонтирована специальная металлическая конструкция. Стенд установлен на крыше здания экспериментального корпуса и предназначен для проведения экспериментальных работ по мониторингу выходных показателей солнечных панелей, установленных с различной ориентацией.

Основное оборудование экспериментального стенда составляют три отдельных солнечных панели, каждая из которых закреплена различным способом:

- с фиксированным углом наклона по отношению к солнцу;
- с ручным изменением угла наклона (по вертикали);
- с системой слежения за солнцем в двух плоскостях.

Фиксированный угол наклона первой панели равен широте местности г. Иркутска – 52 градуса. Для второй панели установлен механизм изменения угла наклона вручную по сезонам года. Третья панель управляется для слежения за солнцем отдельным механизмом – двухосевым солнечным трекером. Общий вид основного и вспомогательного оборудования экспериментального стенда представлен на рис. 1 и 2.



Рис. 1. Общий вид основного оборудования экспериментального стенда.

Каждая панель снабжена вспомогательным оборудованием – гибридным инвертором (контроллером заряда и инвертором в одном корпусе) и массивом аккумуляторов.



Рис. 2. Общий вид вспомогательного оборудования экспериментального стенда.

Гибридный инвертор позволяет получать некоторые показатели, например, суммарную мощность за определенный период. Мгновенные показатели выводятся на экран. Все три используемых в стенде гибридных инверторов разных производителей, вследствие чего сравнение показателей нецелесообразно.

В настоящее время существует множество решений по мониторингу солнечных систем энергоснабжения. Большинство из них являются технологиями удалённого доступа. Предоставляемые производителями гибридные инверторы имеют ряд недостатков:

- отсутствие возможности записи данных с определенным интервалом;
- недостаточная документация для самостоятельного использования;
- высокая цена на оборудование.

Одним из наиболее удобных средств мониторинга является система Victron VRM. Она предназначена только для оборудования Victron Energy и является удалённой системой наблюдения. Данная система имеет удобный интерфейс и приложения для различных устройств, основным недостатком является несовместимость для инверторов сторонних производителей и высокая цена за подключение к одному инвертору (от 30 тыс. руб.) [10].

Система для мониторинга солнечных панелей РНА-М состоит из модуля управления и модуля сбора данных. Основными достоинствами этой системы являются: высокая температура работы, низкое энергопотребление, высокий уровень защиты от помех. Стоимость данной системы от 20 тыс. руб., но её рабочий диапазон напряжения составляет от 100 до 1500 вольт, вследствие чего эта система имеет смысл при использовании большого количества фотоэлектрических модулей, мониторинг производится не от каждой панели отдельно, а от суммы мощностей всех панелей [11].

Также существуют частные компании, которые устанавливают собственные солнечные электростанции, как правило, на дачных участках. Такие системы мониторинга имеют возможность оповещения о статусе работы системы и суммарных показателях мощности, их стоимость от 50 тыс. руб.

Имеются также и доступные системы для мониторинга с ценой от 5 тыс. руб., но с закрытым исходным кодом и для их установки требуются знания в программировании и радиотехнике. Базовый вариант рассчитан на 5 и более панелей. В этом случае имеется возможность бесплатной версии, но она ограничена лишь одной панелью и неполными показателями мощности.

Одним из таких способов является система на микроконтроллере Wemos D1 и открытого сервиса для онлайн мониторинга open-monitoring.online. Этот метод возможно реализовать только на оборудовании производства EPSolar с поддержкой протокола Modbus. Реализуется путём передачи данных с контроллеров заряда через интерфейс RJ-485 на Wemos D1 и на ПК, который, в свою очередь, передаёт данные на онлайн портал. Этот способ можно улучшить путём модернизации кода программы микроконтроллера для передачи данных без подключения к ПК. Из недостатков можно отметить ограниченный набор поддерживаемого оборудования и невозможность подключения нескольких контроллеров заряда [12].

Существует и более профессиональное решение мониторинга от российской компании ЗИТ, система мониторинга солнечных панелей «СМСП». Данная система также работает по протоколу Modbus, использует интерфейс RS-485 и производит вывод данных на экран. Сама система состоит из нескольких частей:

- материнская плата СМСП-18;
- СМСП-МТ для измерения тока;
- СМСП-МН для измерения напряжения;
- Система мониторинга и управления СМІУ (устанавливается опционально).

Компания ЗИТ работает индивидуально с каждым клиентом и самостоятельно устанавливает оборудование с нужными требованиями защиты [13].

Большинство описанных выше систем выдают лишь обобщенные показатели мощности и не сохраняют историю показаний. Практически все системы рассчитаны на массив панелей и соответственно довольно дорогостоящие. Кроме того, технологические особенности экспериментального стенда требуют развертки трех независимых систем мониторинга для каждой панели и покупка трех систем мониторинга нецелесообразна. Таким образом, для получения показателей с экспериментального стенда необходимо разработать собственное устройство, которое будет максимально удовлетворять текущим требованиям и иметь возможность доработки при изменении или дополнении требований.

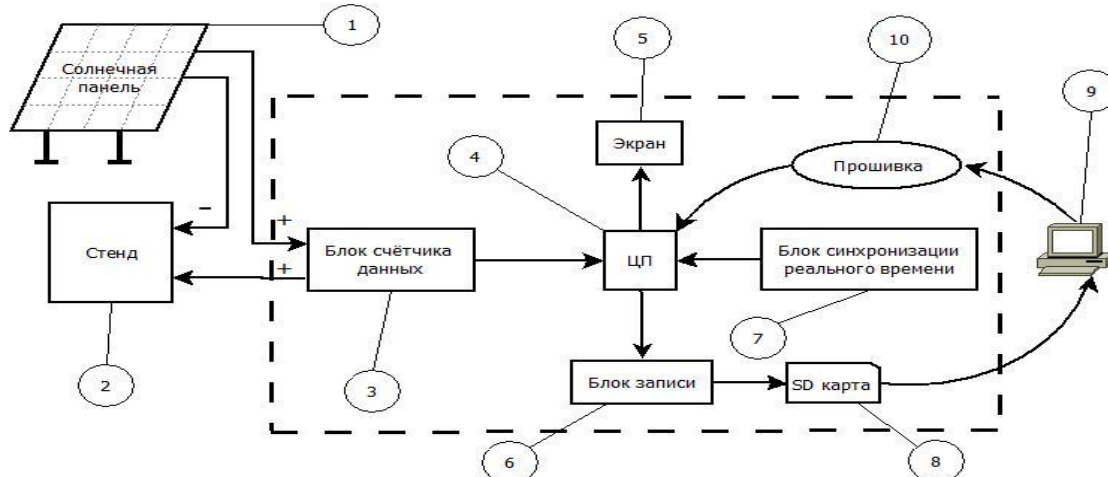
2. Разработка счетчика солнечной энергии. Для мониторинга мощности, выдаваемой солнечной панелью, необходимо получение мгновенного тока и напряжения в реальном времени. Проводить мониторинг этих показаний необходимо тремя одинаковыми устройствами для каждой отдельной панели с разной частотой в течение дня и записывать в массив данных. Существуют шунтовые ваттметры, которые способны показывать ток, напряжение и мощность в реальном времени. Однако на них невозможно настроить частоту съема данных и запись значений в память для дальнейшего анализа. Кроме того, в этих приборах нет возможности проведения калибровки трех разных устройств, чтобы иметь возможность достоверного сравнения данных с трех разных источников. Для решения данной проблемы был разработан счетчик на основе микроконтроллера Arduino и шунтового амперметра, представленный на рисунке 3. Микроконтроллер Arduino выполняет роль центрального процессора для исполнения инструкций, заданных прошивкой. Шунтовый амперметр представляет собой устройство, которое преобразовывает данные о силе тока, поступающей с солнечных панелей. Мощность вычисляется из полученных параметров средствами микроконтроллера. Авторское устройство дает возможность настроить частоту съема данных и сохранить данные с датчиков в виде файла, удобного для дальнейшей обработки.

Экран для вывода мгновенных данных в реальном времени является не обязательным компонентом, но важен при отладке счётчика для сравнения показаний.



Рис. 3. Счетчик на основе микроконтроллера Arduino и шунтового амперметра.

Данное устройство съема и записи данных подключается в разрыв цепи питания и имеет несколько блоков, которые управляются микроконтроллером. Структурная схема устройства показана на рисунке 4.



1 – солнечная панель; 2 – вспомогательное оборудование: контроллеры заряда, аккумуляторные батареи и инверторы тока; 3 – шунтовый амперметр; 4 – микроконтроллер Arduino; 5 – LCD экран для вывода мгновенных данных в реальном времени; 6 – устройство, записывающее данные со счетчика; 7 – Кварцевые часы реального времени; 8 – карта памяти для хранения данных; 9 – компьютер; 10 – программные инструкции для ЦП.

Рис. 4. Структурная схема устройства для сбора данных.

Запись данных, снятых со счётчика, выполняется на SD-карту в два файла. В первом файле записываются мгновенные показания раз в минуту, во второй – среднее значения датчиков за эту же минуту. В оба файла записывается время каждого измерения. SD-карта в настоящее время используется для записи архива измерений и переноса его на ПК для последующей обработки.

Кварцевые часы реального времени записывают дату и время снятия данных. Часы имеют встроенный элемент питания, благодаря чему сохраняют значения при отключении питания. На компьютере происходят написание прошивки и обработка полученных данных.

В качестве датчика тока используется шунтовый амперметр ACS712 (рис. 5). Датчик построен на основе эффекта Холла [14, 15]. Датчик тока преобразует полученное значение в цифровой сигнал от 0 до 1023. Это значение переводится в силу тока с помощью библиотеки «ACS712-arduino-1-master», которая находится в свободном доступе. Для пересчёта аналого-

вого сигнала в цифровой находится нулевое значение каждого датчика и добавочный коэффициент, в зависимости от типа датчика [14].



Рис. 5. Датчик тока ACS712.

Стоит отметить, что есть несколько типов датчиков ACS712, и они отличаются своей чувствительностью и максимально измеряемым током, что сказывается на точности измерений. В разработанном счетчике используется датчик типа ACS712-30А, он рассчитан на высокие токи, при этом у него самая низкая точность. Этот нюанс компенсирован программным кодом, в котором значения датчика переводятся как для ACS712-20А.

Вольтметр выполнен на основе делителя напряжения путём добавления двух резисторов и программного пересчёта полученных значений аналогового сигнала.

3. Результаты тестовой версии счётчика. В режиме разработанный счётчик работал бесперерывно на протяжении нескольких недель и собрал данные с двух разноориентированных панелей. Первая панель установлена под углом широты местности в 52° северной широты, вторая панель установлена горизонтально для верификации теоретической модели прихода солнечной радиации.

Получаемые данные записываются в два файла формата TXT (рис. 6) и легко преобразовываются в формат Excel. Внешний вид записи может быть изменён в программном коде.

AMP_VOLT - Блокнот							AVG - Блокнот												
Файл	Правка	Формат	Вид	Справка	Файл	Правка	Формат	Вид	Справка	Файл	Правка	Формат	Вид	Справка					
A1=	2.74	A2=	1.11	Volt1=	36.47	Volt2=	37.92	14:14:17	12.04.2021	<A1>=	2.59	<A2>=	1.14	<Volt1>=	36.06	<Volt2>=	37.36	14:14:17	12.04.2021
A1=	2.59	A2=	1.18	Volt1=	36.31	Volt2=	37.76	14:15:19	12.04.2021	<A1>=	2.59	<A2>=	1.15	<Volt1>=	35.82	<Volt2>=	37.18	14:15:19	12.04.2021
A1=	2.67	A2=	1.11	Volt1=	36.15	Volt2=	37.60	14:16:21	12.04.2021	<A1>=	2.60	<A2>=	1.16	<Volt1>=	35.59	<Volt2>=	37.02	14:16:21	12.04.2021
A1=	2.37	A2=	1.04	Volt1=	34.48	Volt2=	36.52	14:17:23	12.04.2021	<A1>=	2.60	<A2>=	1.16	<Volt1>=	35.19	<Volt2>=	36.78	14:17:23	12.04.2021
A1=	3.04	A2=	1.26	Volt1=	29.54	Volt2=	35.93	14:18:25	12.04.2021	<A1>=	2.85	<A2>=	1.20	<Volt1>=	30.93	<Volt2>=	35.35	14:18:25	12.04.2021
A1=	2.74	A2=	1.18	Volt1=	31.10	Volt2=	36.04	14:19:27	12.04.2021	<A1>=	2.79	<A2>=	1.22	<Volt1>=	30.16	<Volt2>=	35.36	14:19:27	12.04.2021
A1=	2.89	A2=	1.26	Volt1=	30.88	Volt2=	36.20	14:20:29	12.04.2021	<A1>=	2.74	<A2>=	1.25	<Volt1>=	30.50	<Volt2>=	35.50	14:20:29	12.04.2021
A1=	2.74	A2=	1.33	Volt1=	32.66	Volt2=	36.47	14:21:31	12.04.2021	<A1>=	2.79	<A2>=	1.24	<Volt1>=	30.94	<Volt2>=	35.73	14:21:31	12.04.2021
A1=	2.67	A2=	1.26	Volt1=	34.11	Volt2=	36.85	14:22:33	12.04.2021	<A1>=	2.70	<A2>=	1.23	<Volt1>=	32.55	<Volt2>=	36.01	14:22:33	12.04.2021
A1=	3.11	A2=	1.56	Volt1=	36.74	Volt2=	37.92	14:23:35	12.04.2021	<A1>=	2.60	<A2>=	1.20	<Volt1>=	34.99	<Volt2>=	36.78	14:23:35	12.04.2021
A1=	2.59	A2=	1.18	Volt1=	34.32	Volt2=	37.01	14:24:38	12.04.2021	<A1>=	2.57	<A2>=	1.13	<Volt1>=	34.26	<Volt2>=	36.59	14:24:38	12.04.2021

Рис. 6. Пример записанных данных.

Время записи каждый раз смещается примерно на 2 секунды, это связано с тем, что при каждой записи контроллер должен проверить наличие SD карты. Если убрать проверку карты, то при каждом извлечении карты устройство нужно будет перезапускать.

Полученные данные с наклонной панели с 12 по 16 апреля 2012 г. представлены на рисунках 7, 8 и содержат 5000 записей, черная линия отображает значение усредненных данных за те же промежутки времени.

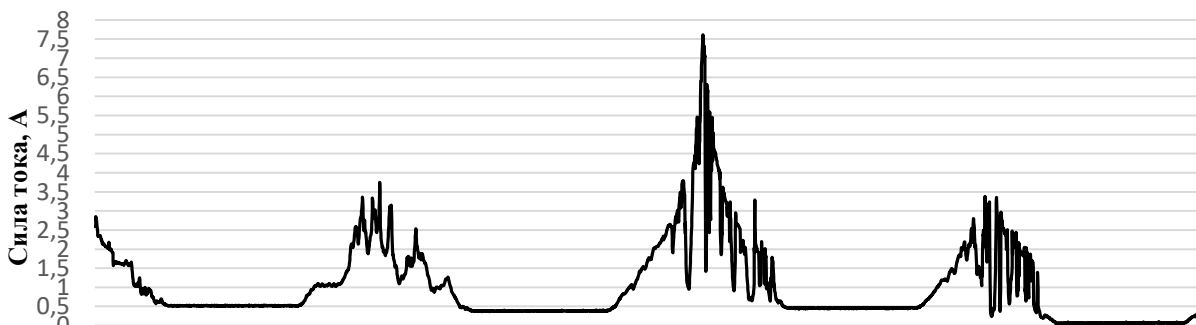


Рис. 7. Показания силы тока с наклонно установленной панели.

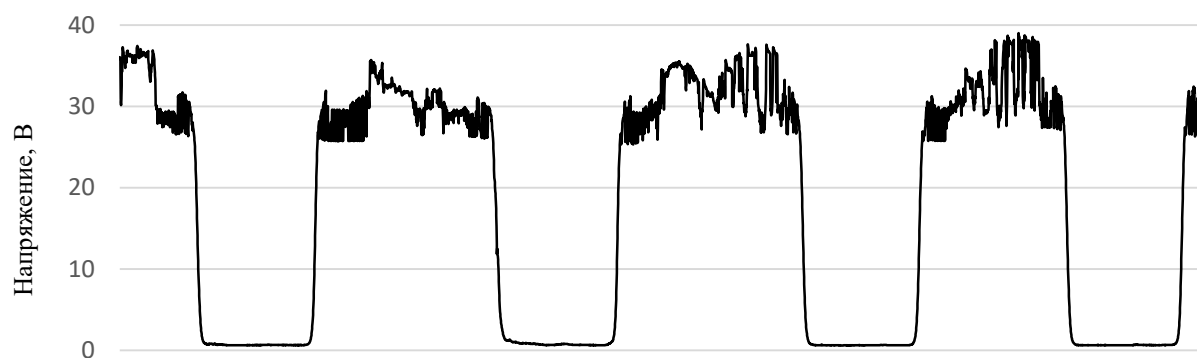


Рис. 8. Показания напряжения с наклонно установленной панели.

Полученные данные с горизонтально установленной панели за тот же период времени представлены на рисунках 9, 10.

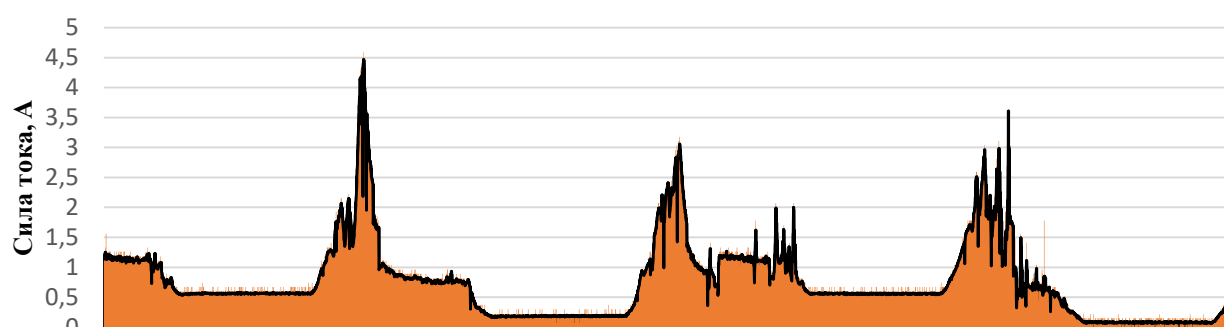


Рис. 9. Показания силы тока с горизонтально установленной панели.

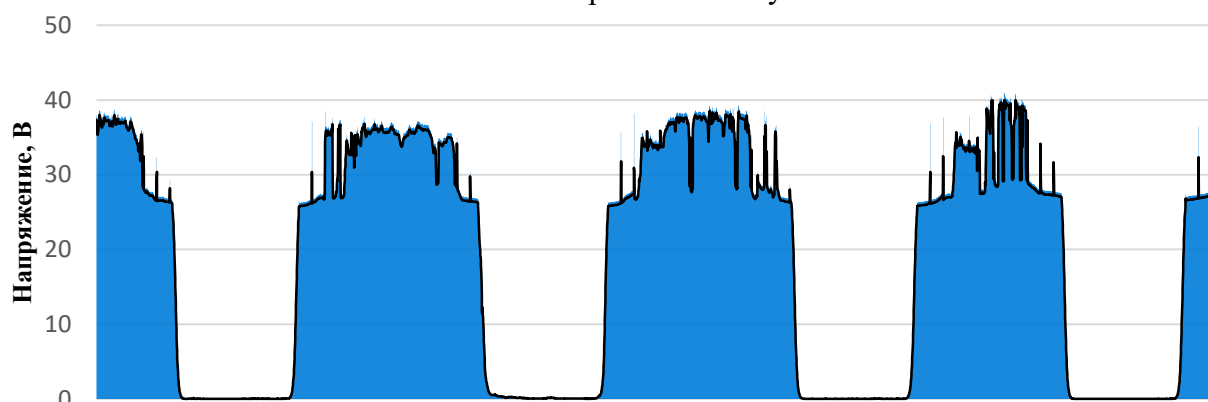


Рис. 10. Показания напряжения с горизонтально установленной панели.

Результаты оценок мощности и энергии приведены на рисунках 11, 12. Расчет энергии производился только в полностью зафиксированные дни с 7:00 до 19:00 часов.

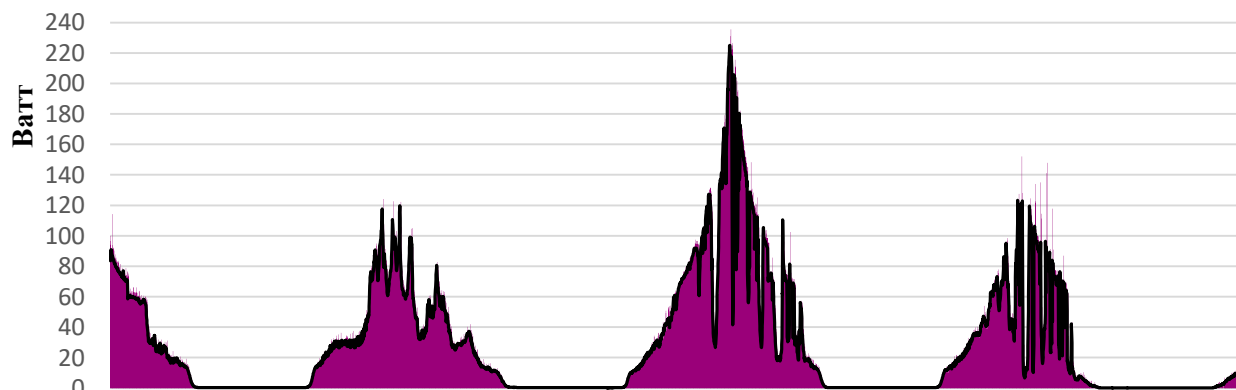


Рис. 11. Мощность наклонно установленной панели.

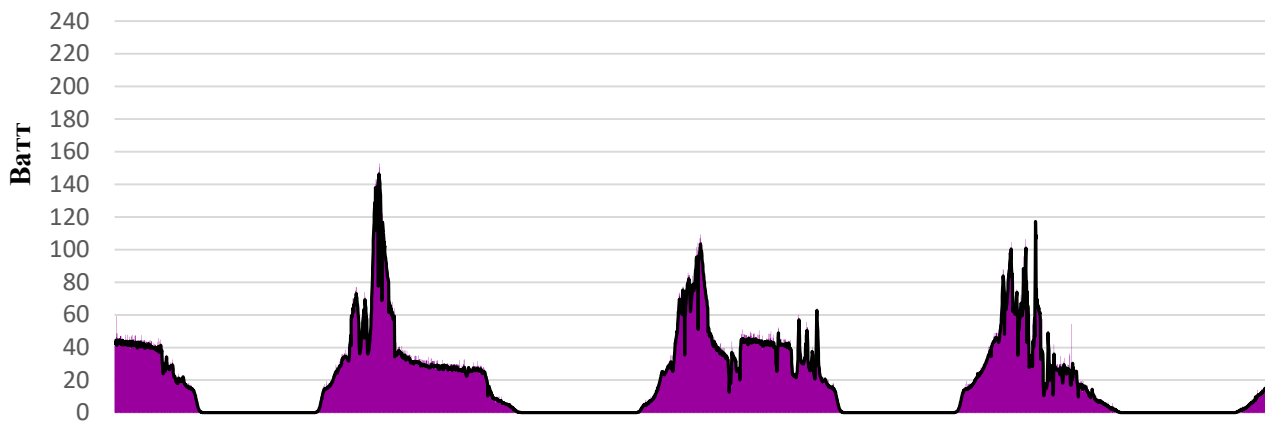


Рис. 12. Мощность горизонтально установленной панели.

Имеющиеся скачки в графиках могут быть вызваны несколькими факторами: дребезг установленных датчиков; кратковременное отключение контактов, т.к. на данном этапе счётчик установлен в тестовом режиме; изменение погодных условий. По полученным оценкам можно сделать вывод, что мгновенная мощность панели, установленной под углом 52° , выше, чем у горизонтально закреплённой панели. Однако глобальные выводы делать пока рано, необходимо накопить архив измерений за длительный период времени, например, сезон или целый год. С 1 сентября 2021 г. счётчик работает в «боевом» режиме и собирает информацию с трех панелей.

Заключение. Для мониторинга данных с солнечных панелей экспериментального стенда в реальном времени разработано авторское устройство, которое позволяет сохранять информацию с датчиков в виде файла, удобного для дальнейшей обработки. В ближайшее время планируется установка дополнительного датчика в непосредственной близости к панелям для обнаружения возможных потерь энергии. В перспективе планируется добавление учёта погодных условий с помощью архива погоды метеостанций или добавлением дополнительных датчиков (освещённости, влажности, температуры).

Также наряду с записью на карту памяти для обеспечения автономности сбора показателей и хранения архива измерений будет реализована передача и синхронизация данных с сервером по Wi-Fi несколько раз в день. Такая возможность необходима для снижения нагрузки на сеть при мониторинге большого числа сигналов или снятия показаний с изолированных источников. Разработанное авторами устройство может быть использовано для мониторинга любого параметра или сигнала, для которого есть модуль расширения для микроконтроллера Arduino.

Делать выводы о эффективности и целесообразности систем слежения за солнцем пока рано. Необходимо получить данные за достаточно долгосрочный период времени (например, квартал или год).

Благодарности. Работа выполнена в рамках проекта государственного задания FWEU-2021-0004 программы фундаментальных исследований РФ (рег. №АААА-А21-121012090010-7).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аржанов К.В. Фотоэлектрическая энергетическая установка с наведением на Солнце // Энергетика России в XXI веке. Инновационное развитие и управление. 2015. С. 579-581.
2. Юрченко А.В. Система слежения за Солнцем для солнечной энергоустановки // Ресурсоэффективные технологии для будущих поколений. 2010. С. 210-221.

3. Azizi K., Ghaffari A. Design and Manufacturing of a High-Precision Sun Tracking System Based on Image Processing // International Journal of Photoenergy. 2013. Vol. 2013. Article ID 754549. 7 p.
4. Ozcelik S., Prakash H., Chaloo R. Two-axis solar tracker analysis and control for maximum power generation // Procedia Computer Science. 2011. Vol. 6. Pp. 457-462.
5. Митрофанов С.В., Немальцев А.Ю., Байкаменов Д.К. Первичная апробация автоматизированного двухкоординатного солнечного трекера в климатических условиях Оренбургской области как перспектива создания программно-аппаратного комплекса // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). 2018 (07-09). С.43-54.
6. Wang J.-M. Design and Implementation of a Sun Tracker with a Dual-Axis Single Motor for an Optical Sensor-Based Photovoltaic System // Sensors. 2013. Vol. 13. Iss. 3. Pp. 3157-3168.
7. Magibalan S. Fabrication of dual axis solar tracking system // International Journal of Emerging Technologies and Innovative Research. 2018. Vol. 5. Iss. 3. Pp. 1109-1113.
8. Abid A.J. Arduino based blind solar tracking controller // International Journal of Open Information Technologies. 2017. Vol. 5. No. 10. Pp. 24-29.
9. Kassem A., Hammad M. A Microcontroller-Based Multi-Function Solar Tracking System // 2011 IEEE International Systems Conference. 2011. Pp. 13-16.
10. Удаленный мониторинг солнечных электростанций и ИБП Victron. Режим доступа: <https://www.solnechnye.ru/news/victron-remote-monitoring.htm>. (дата обращения: 20.11.2021).
11. РНА-М – Система для мониторинга солнечных панелей. Режим доступа: <https://www.energometrika.ru/catalog/rna-m-sistema-dlya-monitoringa-solnechnykh-paneley.html>. (дата обращения: 20.11.2021).
12. Дистанционный мониторинг и визуализация данных солнечных контроллеров EPSolar A, LS-B Series. Режим доступа: <https://nsk-electro.ru/blog-news/epsolar-controller-monitoring> (дата обращения: 20.11.2021).
13. Система мониторинга солнечных панелей ЗИТ. Режим доступа: http://zit21.ru/products/al_ternativnaya_energetika/sistema_monitoringa_solnechnyh-panelej.html (дата обращения: 20.11.2021).
14. A brief overview of Allegro ACS712 current sensor. Режим доступа: <https://www.radiolocman.com/shem/schematics.html?di=113339> (дата обращения: 20.11.2021).
15. Electronic Components Datasheet Search. Режим доступа: <https://www.alldatasheet.com/> (дата обращения: 20.11.2021).

PARAMETERS MONITORING ORGANIZATION OF THE SOLAR PANELS EXPERIMENTAL STAND

Roman A. Ivanov

Candidate of engineering sciences, research officer,
e-mail: crowndriver@gmail.com

Nikita V. Maksakov

Bachelor, research engineer,
e-mail: nikita.max@isem.irk.ru

Melentiev Energy Systems Institute SB RAS,
664033 Irkutsk, Lermontov Street, 130.

Abstract. The relevance of the presented development is due to the need to create a device to read and process information from an experimental array of solar panels. The purpose of the array is to obtain reliable data for the verification of models for estimating photovoltaic power potential indicators used in justifying the feasibility of the adoption of solar power plants in the eastern regions of Russia. We present a description of the main and auxiliary equipment of the experimental array. The array's solar panels are arranged in different ways so as to determine the most efficient tilt angle and justify the need to use a sun tracking system. The proprietary device based on the Arduino microcontroller was designed to read and write the value of instantaneous power of solar panels. To monitor the readings of the amperage, a shunt ammeter is used, which is connected to the gap of the power circuit. The study provides a diagram of the current meter and describe its operation. We outlined the main stages of subsequent data processing.

Keywords: solar panels, arduino, shunt ammeter, solar tracking system.

Acknowledgments: The work was carried out within the framework of the state assignment project FWEU-2021-0004 of the program of fundamental research of the Russian Federation (registration No. AAAA-A21-121012090010-7).

REFERENCES

1. Arzhanov K.V. Fotoelektricheskaya energeticheskaya ustanovka s navedeniyem na Solntse [Photovoltaic power plant with guidance on the Sun] // Energetika Rossii v XXI veke. Innovatsionnoye razvitiye i upravleniye = Energy of Russia in the XXI century. Innovative development and management. 2015. Pp. 579-581. (in Russian).
2. Yurchenko A.V. Sistema slezheniya za Solntsem dlya solnechnoy energoustanovki [System for tracking the sun for a solar power plant] // Resursoeffektivnyye tekhnologii dlya budushchikh pokoleniy = Resource-efficient technologies for future generations. 2010. Pp. 210-221. (in Russian).
3. Azizi K., Ghaffari A. Design and Manufacturing of a High-Precision Sun Tracking System Based on Image Processing // International Journal of Photoenergy. 2013. Vol. 2013. Article ID 754549. 7p.
4. Ozcelik S., Prakash H., Chaloo R. Two-axis solar tracker analysis and control for maximum power generation // Procedia Computer Science. 2011. Vol. 6. Pp. 457-462.
5. Mitrofanov S.V., Nemal'tsev A.Yu., Baykasenov D.K. Pervichnaya aprobatsiya avtomatizirovannogo dvukhkoordinatnogo solnechnogo trekera v klimaticheskikh usloviyakh Orenburgskoy oblasti kak perspektiva sozdaniya programmno-apparatnogo kompleksa [Primary approbation of an automated two-coordinate solar tracker in the climatic conditions of the Orenburg region as a prospect for creating a software and hardware complex] // Mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal "Al'ternativnaya energetika i

- ekologiya" (ISJAEE) = International scientific journal "Alternative energy and ecology" (ISJAEE). 2018 (07-09). Pp. 43-54. (in Russian).
6. Wang J.-M. Design and Implementation of a Sun Tracker with a Dual-Axis Single Motor for an Optical Sensor-Based Photovoltaic System // Sensors. 2013. Vol. 13. Iss. 3. Pp. 3157-3168.
 7. Magibalan S. Fabrication of dual axis solar tracking system // International Journal of Emerging Technologies and Innovative Research. 2018. Vol. 5. Iss. 3. Pp. 1109-1113.
 8. Abid A.J. Arduino based blind solar tracking controller // International Journal of Open Information Technologies. 2017. Vol. 5. No. 10. Pp. 24-29.
 9. Kassem A., Hammad M. A microcontroller-Based Multi-Function Solar Tracking System // 2011 IEEE International Systems Conference. 2011. Pp. 13-16.
 10. Udalennyy monitoring solnechnykh elektrostantsiy i IBP Victron [Remote monitoring of solar power plants and Victron UPS]. Available at: <https://www.solnechnye.ru/news/victron-remote-monitoring.htm> (accessed 20.11.2021) (in Russian).
 11. PHA-M – Sistema dlya monitoringa solnechnykh paneley [PHA-M - System for monitoring solar panels]. Available at: <https://www.energometrika.ru/catalog/rna-m-sistema-dlya-monitoringa-solnechnykh-paneley.html> (accessed 20.11.2021) (in Russian).
 12. Distantionnyy monitoring i vizualizatsiya dannykh solnechnykh kontrollerov EPSolar A, LS-B Series [Remote monitoring and data visualization of EPSolar A, LS-B Series solar controllers]. Available at: <https://nsk-electro.ru/blog-news/epsolar-controller-monitoring> (accessed 20.11.2021) (in Russian).
 13. Distantionnyy monitoring i vizualizatsiya dannykh solnechnykh kontrollerov EPSolar A, LS-B Series [Remote monitoring and data visualization of EPSolar A, LS-B Series solar controllers]. Available at: <https://nsk-electro.ru/blog-news/epsolar-controller-monitoring> (accessed 20.11.2021) (in Russian).
 14. A brief overview of Allegro ACS712 current sensor. Available at: <https://www.radiolocman.com/shem/schematics.html?di=113339> (accessed 20.11.2021).
 15. Electronic Components Datasheet Search. Available at: <https://www.alldatasheet.com/> (accessed 20.11.2021).

Статья поступила в редакцию 06.12.2021; одобрена после рецензирования 15.12.2021; принята к публикации 20.12.2021.

The article was submitted 06.12.2021; approved after reviewing 15.12.2021; accepted for publication 20.12.2021.