



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-22-5-89-94>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 004.3+697.7

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ УСТАНОВКАМИ

В. А. РЫБАК¹, И. М. РИМАРЕВ²

¹Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(г. Минск, Республика Беларусь)

²Белорусская государственная академия связи (г. Минск, Республика Беларусь)

Поступила в редакцию 08.08.2024

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2024
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2024

Аннотация. Сегодня актуальными являются вопросы перевода частных домовладений на независимые источники энергии, включая солнечные панели и гелиоколлекторы. В статье рассматриваются варианты программного обеспечения аппаратных комплексов, с помощью которых можно управлять системами обеспечения энергией частных домов. Представлены технологии использования независимых источников энергии в системе энергопотребления, а также математическая модель их оптимизации для удаленных загородных домов.

Ключевые слова: солнечные панели, гелиоколлекторы, аккумуляция электроэнергии, аппаратно-программный комплекс, система управления.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Рыбак, В. А. Аппаратно-программный комплекс управления энергетическими установками / В. А. Рыбак, И. М. Римарев // Доклады БГУИР. 2024. Т. 22, № 5. С. 89–94. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-22-5-89-94>.

HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX FOR POWER PLANT MANAGEMENT

VICTOR A. RYBAK¹, IGORY M. RIMAREV²

¹Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Republic of Belarus)

²Belarusian State Academy of Communications (Minsk, Republic of Belarus)

Submitted 08.08.2024

Abstract. Today, the issues of transferring private households to independent energy sources, including solar panels and solar collectors, are relevant. The article examines software options for hardware systems that can be used to manage energy supply systems for private homes. Technologies for using independent energy sources in the energy consumption system are presented, as well as the mathematical model for their optimization for remote country houses.

Keywords: solar panels, solar collectors, energy storage, hardware and software complex, control system.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

For citation. Rybak V. A., Rimarev I. M. (2024) Hardware and Software Complex for Power Plant Management. *Doklady BGUIR*. 22 (5), 89–94. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-22-5-80-85> (in Russian).

Введение

В настоящее время уделяется большое внимание вопросам зеленой экономики, что оказывает влияние на технические решения систем энергообеспечения. Сегодня на рынке представлен широкий спектр вариантов программного обеспечения аппаратных комплексов, с помощью которых можно управлять системами обеспечения энергией частных домов. Некоторые разработчики предоставляют бесплатные пробные версии, чтобы можно было получить практический опыт работы с программным обеспечением [1, 2].

Цель исследований авторов – проектирование аппаратно-программного комплекса (АПК) управления режимами работы солнечных панелей с возможностью переключения режимов гелиоколлекторов, а также изучение возможности аккумуляции электроэнергии в гелиоколлекторе. Представлены сравнительный анализ передовых АПК и их оптимальное внедрение в частные домовладения.

Результаты исследований и их обсуждение

Солнечная электростанция коммунального масштаба может состоять из множества солнечных коллекторов. Для достижения высокой энергоэффективности операторам предприятий необходимо собирать и обрабатывать данные с многочисленных устройств, расположенных на удаленных объектах. Когда речь идет о централизованной работе контролируемых систем, важной характеристикой АПК является встроенный периферийный компьютер промышленного уровня для удаленного мониторинга, сбора, регистрации и преобразования протоколов данных. Кроме того, важны такие характеристики, как:

- низкое энергопотребление для максимизации электрической мощности солнечной электростанции;
- надежная работа в условиях наружной установки при высоких температурах;
- удаленный веб-мониторинг производительности солнечных батарей, нагрузки на аккумулятор и данные об окружающей среде от датчиков.

Перечисленные характеристики важны и для частного домовладения. Так, многие установщики предлагают внедрение программного обеспечения (ПО), которое позволит работать с поставщиками энергии не только в рамках контроля и удаленного мониторинга, но и в системе индивидуального управления и регулирования АПК энергетическими установками. В табл. 1 представлены некоторые АПК управления энергетическими установками, существующие на рынке.

Таблица 1. Аппаратно-программные комплексы управления энергетическими установками [2, 3]

Table 1. Hardware and software complex for controlling power plants [2, 3]

Название АПК	Функция	Плюсы	Минусы
MOXA	Мониторинг и управление солнечной электростанцией, рассчитанной как на отдельное жилое помещение, так и на многоэтажный жилой дом	Наличие программного решения ThingsPro для сбора данных Modbus и преобразования протокола Modbus в MQTT позволяет контролировать яркость, работу подачи и распределения энергии, ее накопления в разные времена года, управлять инвертором удаленно	Электростанция коммунального масштаба будет контролироваться удаленно фирмой-поставщиком
DeltaSol и ее версии	Подача энергии для освещения и обогрева помещений	Меню содержит ясные и однозначные указания по эксплуатации АПК. Разнообразные датчики позволяют поворачивать панели, обращать их в нужную сторону как в рамках запрограммированной системы, так и вручную	Установка требует вмешательства специалистов, что связано с большим количеством датчиков и аксессуаров, их вводом в работу и последующей эксплуатацией. Такое сложное устройство потребует регулярного взаимодействия с компанией-установщиком

Окончание табл. 1
Ending of Tab. 1

Название АПК	Функция	Плюсы	Минусы
Oracle Utilities	Распределение системы АПК энергетических установок, предупреждение сбоев и аналитика данных	Наличие нескольких протоколов работы с клиентами, возможность реализации сложных задач передачи и обработки данных, экстренного реагирования и управления активами. Работает в режиме онлайн и локально	Визуальное предоставление отчета о неполадках доступно только устанавливающей компании
Retgen	Имеет разнообразную аналитику, что расширяет возможности профилактического обслуживания и полной интеграции с устройствами ИИ или ВЧ, что зависит от выбранной конфигурации	Для управления солнечными установками становится бесценным инструментом, так как позволяет использовать весь потенциал своих активов. Работа на ИИ позволяет электростанциям принимать решения на основе данных и способствовать развитию культуры постоянного совершенствования	Больше подходит для коммунальных систем, но при регулярном сотрудничестве с технической службой возможно внедрение в частное домовладение
«ЭкоСтруктура»	Управление системой распределения энергии, накопленной, возобновленной, полученной из того или иного источника	Простое устройство системы сборки, установки и последующего сообщения с пользователями и контролирующими фирмами	Гибкая система, но больше подходит для крупных коммунальных систем
МПК H02J 3/32	Автоматическая ориентация панелей и батарей, накапливающих энергию от естественных источников (солнца)	Компактный комплекс, предоставляет максимальные мощности и возможности по получению энергии в разные времена года и время суток	Устаревшая версия (2006 г.), из-за чего процесс вращения осуществляется благодаря вспомогательным системам и устройствам, что делает его энергозатратным
RU 216282 U1	Поддерживает ориентацию солнечных панелей, их передвижение (вращение), оптимальное накопление энергии и ее распределение (введен в эксплуатацию в 2023 г.)	Хорошо применим к автономным, частным домовладениям, позволяет эффективно использовать энергоресурсы, распределять, накапливать и экономить в разные сезоны и разное время суток	Сложное техническое устройство

Режимы работы гелиоколлекторов, возможность аккумуляции электроэнергии ими являются значимыми в процессе автоматизации. Многое также зависит от выбора клиента и климатических условий, поскольку солнечные коллекторы разнообразны по способам использования (рис. 1).

Как видно из представленных на рис. 1 данных, оптимальным решением для частного домовладения являются трубчатые вакуумные коллекторы, которые будут работать в рамках системы RU 216282 U1. Но в систему АПК необходимо внести ряд данных для произведения расчетов, которые лягут в основу контроля движения и эффективности работы солнечных систем сбора и распределения энергии. В частности, для того, чтобы программа понимала, что необходимо изменять место ориентации, в алгоритм работы следует занести данные об отклонениях в температуре, о временных промежутках светового дня, а также о необходимости охлаждения самой панели и вентиляции составных элементов [1, 4, 5].

ВИДЫ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

ОТКРЫТЫЕ	ВОЗДУШНЫЕ	ПЛОСКИЕ	ТРУБЧАТЫЕ ВАКУУМНЫЕ
			
Самый простой вариант, используются только летом в частных домах, имеют низкий КПД и срок службы (от 1 до 3 лет)	Используются для отопления и кондиционирования помещений, сушильных установок, систем рекуперации воздуха и т. д. Это ребристая металлическая пластина с избирательным черным покрытием, надежна и проста, срок службы – 10–20 лет	Это пластина из теплоемкого металла, которую можно покрыть черным селективным составом. Эффективность может быть низкой даже при хорошем уровне поглощения солнечного света	В устройствах присутствует вакуум, а также работает принцип зеркального отражения, что повышает их эффективность. Вместо пластины используется вакуумированная трубка. Простота монтажа и эффективность системы делают ее наиболее привлекательной

Рис. 1. Виды современных гелиоколлекторов [6, 7]

Fig. 1. Solar collectors [6, 7]

Для управления работой спроектированного комплекса предлагается использовать следующую формулу:

$$u(t) = \frac{K_p}{\text{csc } e(t)} + \frac{K_i}{\text{csc} / \ln 0 \rightarrow t} e(t) dt + \frac{K_d}{\text{csc} / \text{frac} \{ de(t) | dt \}'}, \quad (1)$$

где $u(t)$ – выходной сигнал управления в момент времени t ; K_p – пропорциональный результат, полученный автоматически при соотношении данных, заданных перед запуском аппарата; K_i – интегральный член, выполняющий функцию обработки внешнего/входного сигнала; K_d – производная, показывающая, что получилось при сопоставлении новых данных, когда были внесены изменения в соответствии с внешними и входными данными; $e(t)$ – показатель, выдающий наличие ошибки между желаемой и измеренной температурой в конкретный момент времени t .

Последующее управление на основе накопленной ошибки с течением времени осуществляется запущенным алгоритмом, так как полученные данные запускают процесс либо оборота, либо охлаждения, либо накопления поступающей энергии. Коэффициенты усиления K_p , K_i , K_d в (1) определяются путем настройки для достижения оптимальных характеристик управления для конкретной системы солнечных батарей. Процесс настройки включает в себя регулировку коэффициентов усиления для минимизации временных затрат на установление и настройку на обнаруженную ошибку. Выбор оптимального оборудования для конкретного климата будет играть определяющую роль в работе всей системы. Как только вся информация обработана, начинается процесс работы АПК, представленный на рис. 2.

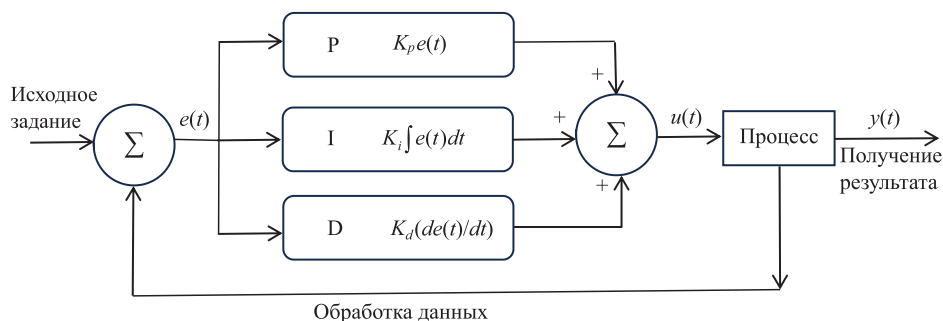


Рис. 2. Схема работы аппаратно-программного комплекса управления энергетической установкой

Fig. 2. Scheme of operation of the hardware and software complex for controlling the power line

В части использования гелиоколлекторов разработаны и запатентованы несколько новых решений, заключающихся в конструктивных изменениях, которые позволяют повысить эффективность их применения [8]. При этом управление режимами работы также осуществляется АПК.

Предложенный алгоритм подходит для разных программ и солнечных установок, но при выборе конфигурации необходимо задавать температурные параметры (максимальные и желаемые), что обеспечит быструю обработку и выдачу ошибки в данный момент времени. Показатели, полученные в результате обработки ошибки, приведут к началу действий установки. По факту такая работа контроллера основывается на прогнозируемом техническом обслуживании, которое обеспечивается внедренным ИИ или вычислительной системой. В зависимости от выбора АПК пользователь получает не только возможность регулирования и управления, но также предупреждения отказов оборудования и обеспечения своевременной передачи данных в специализированные организации, обеспечивающие техническое обслуживание.

Таким образом, выбор и внедрение правильного ПО для управления современными энергетическими установками важны. Отечественные разработки в системе АПК управления энергетическими установками могут максимизировать их эффективность.

Заключение

1. Проанализированы наиболее популярные модели управления энергетическими установками, которые подходят как для частного домовладения, так и для больших коммунальных систем.

2. При проектировании аппаратно-программного комплекса для управления режимами работы солнечных панелей и гелиоколлекторов учитывались затраты на внедрение, включающие лицензирование программного обеспечения, интеграцию аппаратно-программного комплекса, обучение и текущее обслуживание.

3. Внедрение программного обеспечения для управления установками на солнечных электростанциях повысит эксплуатационную эффективность, снизит затраты. Применение солнечных панелей и гелиоколлекторов, управляемых аппаратно-программным комплексом на основе предложенной математической модели, позволит организовать обеспечение удаленных домов тепловой и электрической энергией.

Список литературы

1. Кунелбаев, М. М. Разработка дистанционного мониторинга для систем солнечного теплоснабжения / М. М. Кунелбаев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия Энергетика. 2021. № 1. С. 90–98. DOI: 10.14529/power210110.
2. Muhiki, Y. Automatic Solar Generation Control System / Y. Muhiki, P. Kabarakole // Automatic Control. 2019. No 15. P. 57–88.
3. Кулдашов, О. Х. Автоматизированная система мониторинга температуры рабочей поверхности солнечных панелей / О. Х. Кулдашов, У. Ж. Нигматов // Автоматика и программная техника. 2021. Т. 37, № 3. С. 108–112.
4. Амиргалиев, Е. Н. Разработка автоматизированного контроллера управления для системы солнечного теплоснабжения / Е. Н. Амиргалиев, М. М. Кунелбаев, Т. Р. Сундетов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия Энергетика. 2021. № 3. С. 83–90. DOI: 10.14529/power210310.
5. Кунелбаев, М. М. Численное моделирование для анализа параметров эффективности нового типа плоского солнечного коллектора / М. М. Кунелбаев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия Энергетика. 2020. № 4. С. 77–85. DOI: 10.14529/power200409.
6. Гелиосистема отопления с двухфазной многокомпонентной жидкостью / Л. Л. Васильев [и др.] // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого. 2019. Т. 76, № 1. С. 56–64.
7. Омаров, Р. А. Результаты исследований двухконтурной гелиоустановки с термосифонной циркуляцией в зимний период / Р. А. Омаров, М. М. Кунелбаев, Д. Р. Омаров // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия Энергетика. 2021. № 4. С. 66–72. DOI: 10.14529/power210408.
8. Гелиоводонагревательная установка: изобр. ВУ 23792 / В. А. Рыбак, И. М. Римарев, Аль-Аркауази Али. Опубл. 31.05.2022.

References

1. Kunelbaev M. M. (2021) Development of Remote Monitoring for Solar Heating Systems. *Bulletin of the South Ural State University. Series Power Engineering*. (1), 90–98. DOI: 10.14529/power210110.
2. Muhiki Y., Kabarakole P. (2019) Automatic Solar Generation Control System. *Automatic Control*. (15), 57–88.
3. Kuldashov O. Kh., Nigmatov U. Zh. (2021) Automated System for Monitoring the Temperature of the Working Surface of Solar Panels. *Automation and Software Engineering*. 37 (3), 108–112.
4. Amirgaliev E. N., Kunelbaev M. M., Sundetov T. R. (2021) Development of an Automated Controller for a Solar Heating System. *Bulletin of the South Ural State University. Series Power Engineering*. (3), 83–90. DOI: 10.14529/power210310.
5. Kunelbaev M. M. (2020) Numerical Modeling for the Analysis of the Efficiency Parameters of a New Type of Flat Solar Collector. *Bulletin of the South Ural State University. Series Power Engineering*. (4), 77–85. DOI: 10.14529/power200409.
6. Vasiliev L. L., Harlampidi D. Kh., Tarasova V. A., Zhuravlev A. S., Kuznetsov M. A., Grakovich L. P., et al. (2019) Solar Heating System with a Two-Phase Multicomponent Liquid. *Bulletin of the Gomel State Technical University named after P. O. Sukhoi*. 76 (1), 56–64.
7. Omarov R. A., Kunelbaev M. M., Omarov D. R. (2021) Results of Studies of a Double-Circuit Solar Plant with Thermosiphon Circulation in Winter. *Bulletin of the South Ural State University. Series Power Engineering*. (4), 66–72. DOI: 10.14529/power210408.
8. Rybak V. A., Rimarev I. M., Al-Arkauazi Ali (2022) *Solar Water Heating System, Invention BY 23792*. Publ. 31.05.2022.

Вклад авторов / Authors' contribution

Авторы внесли равный вклад в написание статьи / The authors contributed equally to the writing of the article.

Сведения об авторах

Рыбак В. А., канд. техн. наук, доц., проректор по учебной работе, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Римарев И. М., асп. каф. физических и математических основ информатики, Белорусская государственная академия связи

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. П. Бровки, 6
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
Тел.: +375 17 293-85-11
E-mail: V.Rybak@bsuir.by
Рыбак Виктор Александрович

Information about the authors

Rybak V. A., Cand. of Sci., Associate Professor, Vice-Rector for Academic Affairs, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

Rimarev I. M., Postgraduate at the Department of Physical and Mathematical Foundations of Computer Science, Belarusian State Academy of Communications

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, P. Brovki St., 6
Belarusian State University
of Informatics and Radioelectronics
Tel.: +375 17 293-85-11
E-mail: V.Rybak@bsuir.by
Rybak Victor Aleksandrovich