

**Влияние погодных факторов на работу
солнечной электростанции на тонкопленочных фотоэлектрических модулях***А. В. Смирнов, В. Д. Кочаков*

В данной работе раскрываются результаты анализа мониторинга работы солнечной станции в зимнее время. Система мониторинга обеспечивает представление информации о мощности, напряжений и токов солнечных батарей, а также включает в себя беспроводную метеостанцию Davis Vantage Pro2 и камеру видеонаблюдения, установленной на крыше здания.

Ключевые слова: солнечная энергетика, солнечные электростанции, мониторинг солнечной энергоустановки, погодные факторы.

Ссылка: Смирнов А. В., Кочаков В. Д. // Прикладная физика. 2020. № 3. С. 90.

Reference: A. V. Smirnov and V. D. Kochakov, Applied Physics, No. 3, 90 (2020).

Введение

В настоящее время на территории РФ реализован ряд пилотных проектов автономных и сетевых солнечных энергоустановок (СЭУ). Помимо эксплуатации представляется важным проведение мониторинга работы этих установок для технико-экономических оценок [1] и усовершенствования методов прогнозирования генерации электроэнергии СЭУ.

Для апробации возможных технических решений и получения экспериментальных данных о функционировании сетевых фотоэлектрических систем в рамках работ по Государственному контракту между Министерством образования и науки РФ и Физико-техническим институтом им. А. И. Иоффе РАН было принято решение о создании в Чувашском государственном университете опытного образца на 2 кВт (СЭУС-С), сетевой

фотоэлектрической станции. Опытная солнечная сетевая энергоустановка работает параллельно с централизованной сетью. Сетевая солнечная станция подключена во внутреннюю сеть предприятия и генерирует энергию напрямую в нагрузку. Таким образом, за счет дополнительного источника генерации снижается потребление от сети. Станция предназначена для проведения мониторинга количества и качества выработанной электроэнергии. На станции установлены тонкопленочные фотоэлектрические модули в количестве 16 штук, которые изготовлены по технологии Oerlikon Solar (Швейцария) [2]. Параметры модуля – площадь 1,43 м², вес 26 кг и максимальная выходная мощность – 125 Вт. Модули установлены под углом 41 градус. Станция состоит из двух блоков, каждый мощностью 1 кВт, работающих параллельно. Для солнечной станции СЭУС-С разработана система сбора цифровых данных на основе программируемых контроллеров CP6700, выпускаемых СКБ ПСИС (г. Чебоксары) и проводится мониторинг, начиная с 2013 года по текущее время.

В систему мониторинга включена видеочамера для наблюдения состояния поверхности солнечных панелей, с помощью которой исследовано влияние снежного покрова на выработку электроэнергии солнечной станцией. Установка снабжена системой сбора дан-

Смирнов Александр Вячеславович, инженер.

Кочаков Валерий Данилович.

Чувашский государственный университет
имени И. Н. Ульянова.

Россия, 428034, Чувашская Республика, г. Чебоксары,
ул. Университетская, 38.

E-mail: fizteh21@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 21 апреля 2020 г.

© Смирнов А. В., Кочаков В. Д., 2020

ных, контролирующей ток на каждом из инверторов и мощность, выдаваемую в сеть. Мониторинг погодных условий осуществляется метеостанцией WeatherLink. Станция позволяет вести мониторинг метеоусловий совместно с мониторингом выработки электроэнергии. В системе мониторинга установлены два интеллектуальных счетчика «Меркурий», обеспечивающими дистанционный мониторинг линии нагрузки и солнечных батарей с выдачей данных в сеть Интернет. В данной работе рассмотрены зимние особенности работы солнечной электростанции в Средней полосе России на примере пилотной сетевой солнечной энергоустановки на основе тонкопленочных фотоэлектрических модулей.

Методика эксперимента

В данной работе раскрываются результаты анализа мониторинга работы солнечной станции в зимнее время. Система мониторинга обеспечивает представление информации о мощности, напряжений и токов солнечных батарей, а также включает в себя беспроводную метеостанцию Davis Vantage Pro2 и камеру видеонаблюдения, установленной на крыше здания. Контроль тока осуществляется преобразователями на основе эффекта Холла. Сигналы, поступающие от датчиков тока и напряжения, полностью изолированы от силовых цепей. Состояние оборудования отображается на графическом дисплее, с помощью программы визуализации технологических процессов – Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) системы EISA, работающей на платформе ОС Windows. SCADA-система EISA предназначена для создания верхнего уровня автоматизированных систем (подсистем) управления технологическими процессами (АСУ ТП). EISA является системой, которая работает в реальном времени и позволяет оператору, используя входящие в систему аппаратные и программные средства, обеспечивать автоматизированное управление, надежную и экономичную работу технологического оборудования.

Результаты и их обсуждение

Рассмотрим солнечную радиацию 20 и 21 января 2015 года. В эти дни стояла ясная

солнечная погода. Совмещенные графики солнечной радиации представлены на рис. 1. В 10 часов уровень инсоляции составил 105 Вт/м^2 .

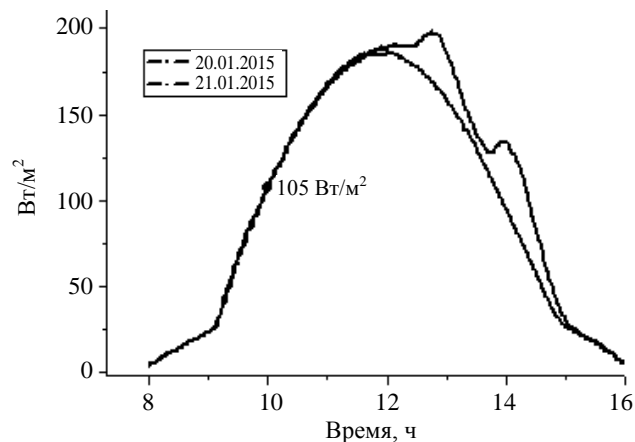


Рис. 1. Уровень солнечной радиации 20 и 21 января 2015 года.

До 12 часов солнечная радиация 20 и 21 января была одинаковой. После 12 часов 21 января наблюдаются два пика.

Проведены прямые снимки участка небосвода без светофильтра и через интерференционный фильтр с максимумом полосы пропускания 439 нм .

Появление пиков объясняется наличием прямого и рассеяного солнечного излучения от облаков, которые не перекрывают видимый диск солнца [3].

Влияние снега на выработку электроэнергии представлено на рис. 2, где указана выработка энергии в 10 часов 20 и 21 января равная $179,7$ и $371,8 \text{ Вт}$ соответственно.

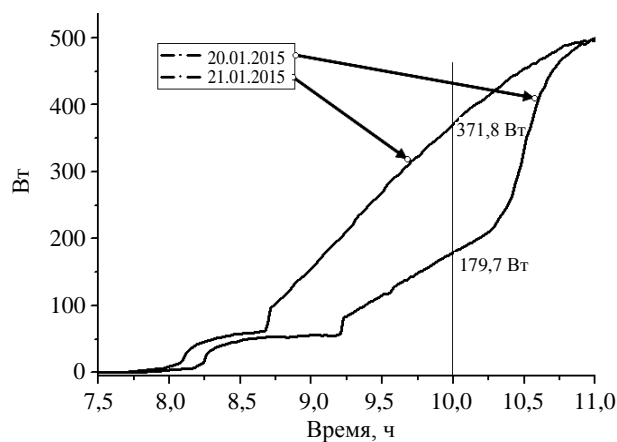


Рис. 2. Зависимость выработанной электроэнергии 20 и 21 января от времени, где указаны мгновенные значения мощности в 10 часов $179,7 \text{ Вт}$ и $371,8 \text{ Вт}$ соответственно.

С момента включения инверторов и до полной очистки панелей от снега 20 января в сеть было подано 439 (Вт ч), за это же время 21 января выработано 691 (Вт ч), что на 252 (Вт ч) больше. Потери составили 36,5 %.

Из проанализированных данных 29 января (Wed) 2019 г. в отсутствие УФ-излучения солнечная радиация выше на 80 Вт/м^2 , чем 1 февраля (Sat) 2019 г. Первого февраля имело

место появление ультрафиолетового излучения (УФ индекс 0,6).

Из сравнения графиков на рис. 3, где показаны зависимости выработанной электроэнергии 29 января (кривая 2) и 1 февраля (кривая 1) следует, что УФ-излучение внесло ощутимую прибавку в величину выработанной электрической энергии

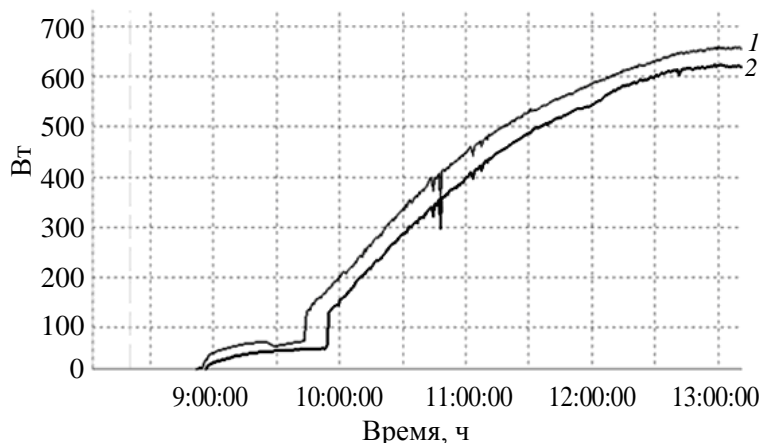


Рис. 3. Зависимость генерируемой мощности от времени для 1 февраля с всплеском УФ-излучения (кривая 1) и 29 января без УФ-излучения (кривая 2).

Как известно, одним из недостатков фотоэлектрических преобразователей на основе аморфного и микрокристаллического кремния является явление светоиндуцированной деградации (эффект Стаблера-Вронского) [4], приводящей к снижению эффективности работы установок, на величину 10–15 % (при нормальных условиях), и более 15 % при снижении средней температуры эксплуатации [5]. Этот нежелательный эффект срабатывает в результате внутренней аннигиляции – процесс рекомбинации заряда, который не был извле-

чен из солнечного элемента. Выделяемая энергия рекомбинации вызывает дефекты в аморфной сети, и именно поэтому этот эффект не наблюдается в кристаллических пластинах солнечных батарей [6]. Колебания мощности солнечного излучения и температуры оказывают влияние на величину деградации [7].

На рисунках 4 и 5 представлены графики зависимости выработанной мощности солнечных модулей от генерируемых токов за апрель 2017 и 2019 гг., февраль 2017 и 2019 гг. соответственно.

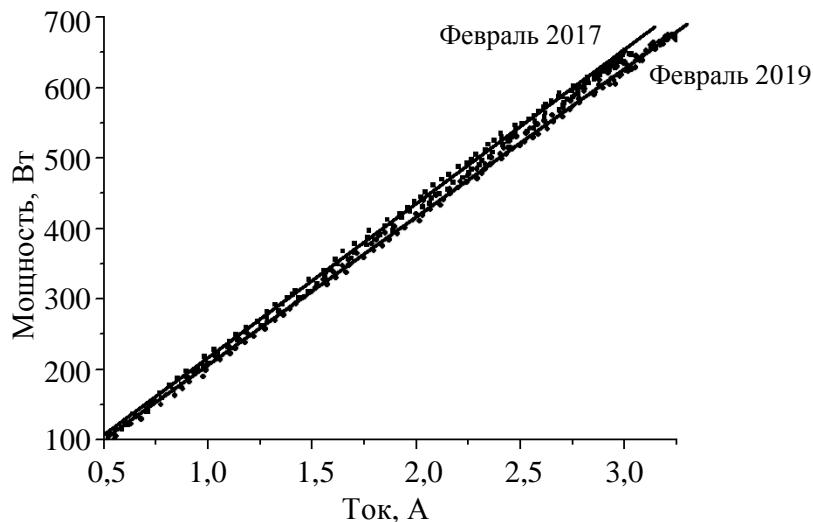


Рис. 4. Зависимость мощности генерируемой СЭУС-С от тока для февраля 2017 г. и февраля 2019 г.

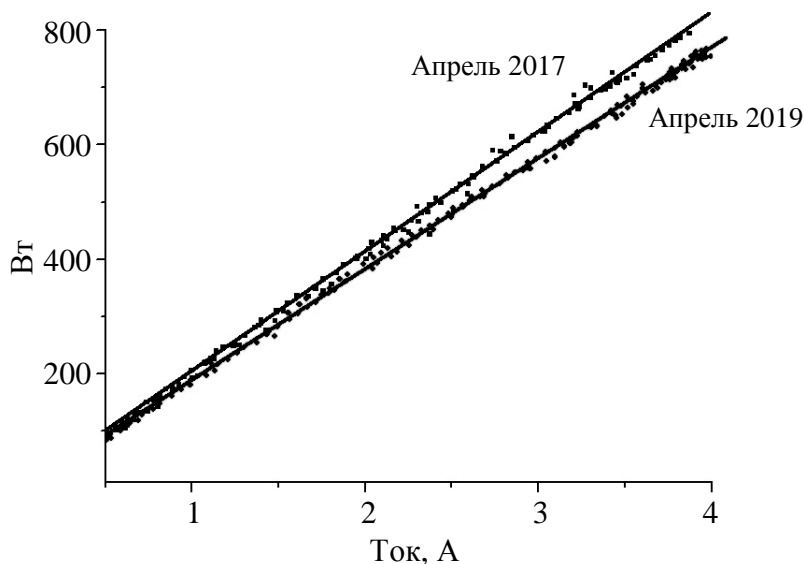


Рис. 5. Зависимость мощности генерируемой СЭУС-С от тока для апреля 2017 г. и апреля 2019 г.

Наклон аппроксимирующей кривой за 2 года эксплуатации солнечной станции (2017–2019 гг.) существенно уменьшился, что свидетельствует о снижении эффективности работы СЭУ и проявлении деградации в самих солнечных модулях [8]. Причем в холодное время, в феврале деградация меньше, чем в более теплое время в апреле месяце.

Заключение

Проведен анализ влияния погодных явлений на работу солнечной электростанции на тонкопленочных фотоэлектрических модулях. Выявлены зависимости влияния УФ-излучения, снежного покрова, облачности на генерируемые мощности солнечной электростанцией, оценен уровень влияния указанных явлений на работу СЭУ. Для солнечной станции (СЭУ-С) разработана система сбора цифровых данных на основе программируемых контроллеров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tokmoldin N., Kryuchenko Yu. V., Sachenko A. V., Bobyl A. V., Kostlyov V. P., Sokolovskiy I. O., Terukov E. I., Tokmoldin S. Z., Smirnov A. V. // *Energy Policy*. 2014. Vol. 65.
2. Goldbach H., Roschek T. Thin-film silicon tandem solar cell and method for manufacturing the same. European Patent EP2517267 A2.
3. Smith G. L., Wilber A. C., Gupta S. K., Stackhouse P. W. // *Applied Optics*. 2002. Vol. 15. P. 1175.
4. Staebler D. L., Wronski C. R. // *Appl. Phys. Lett.* 1977. Vol. 31. P. 292.
5. Schwingshackla C., Petittaa M., Wagnera J. E., Belluardoc G. et al. // *Energy Procedia*. 2013. Vol. 40. P. 77.
6. Voswinckel S., Wesselak V., Luster mann B. // *Solar Energy*. 2013. Vol. 92. P. 206.
7. Sharma V., Sastry O. S., Kumar A., Bora B., Chandel S. S. // *Energy*. 2014. Vol. 72. P. 536.
8. Takigawa K., Kobayashi H., Takeda Y. A field evaluation of power efficiency degradation on amorphous PV modules // *Proceedings of the 4th International PV Science and Engineering Conference (Sydney, Australia, 1989)*. P. 777–782.

Features of the influence of weather factors on work of solar power plant on thin film photoelectric modules

A. V. Smirnov and V. D. Kochakov

Ulyanova Chuvash State University
38 University st., Cheboksary, Chuvash Republic, 428034, Russia
E-mail: fizteh21@yandex.ru

Received April 21, 2020

In this paper, the results of the analysis of the solar station in winter are revealed. The monitoring system provides information on the power, voltage and power of solar panels, and also includes a Davis Vantage Pro2 wireless weather station and a video surveillance camera mounted on the roof of the building.

Keywords: solar energy, solar power plants, power density, conversion factor, prediction, data mining, artificial neural network.

REFERENCES

1. N. Tokmoldin, Yu. V. Kryuchenko, A. V. Sachenko, A. V. Bobyl, V. P. Kostilyov, I. O. Sokolovskyi, E. I. Terukov, S. Z. Tokmoldin, A. V. Smirnov, *Energy Policy* **65** (2014).
2. H. Goldbach and T. Roschek, Thin-film silicon tandem solar cell and method for manufacturing the same. European Patent EP2517267 A2.
3. G. L. Smith, A. C. Wilber, S. K. Gupta, and P. W. Stackhouse, *Applied Optics* **15**, 1175 (2002).
4. D. L. Staebler and C. R. Wronski, *Appl. Phys. Lett.* **31**, 292 (1977).
5. C. Schwingshackla, M. Petittaa, J. E. Wagnera, G. Belluardoc et al., *Energy Procedia* **40**, 77 (2013).
6. S. Voswinckel, V. Wesselak, and B. Luster mann, *Solar Energy* **92**, 206 (2013).
7. V. Sharma, O. S. Sastry, A. Kumar, B. Bora, and S. S. Chandel, *Energy* **72**, 536 (2014).
8. K. Takigawa, H. Kobayashi, and Y. Takeda, *A field evaluation of power efficiency degradation on amorphous PV modules. Proceedings of the 4th International PV Science and Engineering Conference* (Sydney, Australia, 1989), pp. 777–782.