

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

УДК 620.92

DOI: 10.22213/2413-1172-2020-3-77-83

Увеличение выработки солнечных электростанций энергосистемы Республики Крым и города Севастополя путем повышения эксплуатационных характеристик фотоэлектрического модуля RS250

В. В. Гурьев, аспирант, Институт ядерной энергии и промышленности Севастопольского государственного университета, Севастополь, Россия

В. В. Кувшинов, кандидат технических наук, Институт ядерной энергии и промышленности Севастопольского государственного университета, Севастополь, Россия

Б. А. Якимович, доктор технических наук, профессор, Институт ядерной энергии и промышленности Севастопольского государственного университета, Севастополь, Россия

Развитие солнечных электростанций для Крымского полуострова играет значимую роль в целях достижения экологической безопасности и развития экономического потенциала региона. Обосновано приоритетное использование солнечных электростанций в регионе, а также решение возникающих проблем при увеличении доли таких электростанций в составе суммарной генерации. Увеличение потенциала действующих солнечных электростанций, а также меры, направленные на привлечение инвесторов для строительства солнечных электростанций, положительно скажутся на экологической и экономической составляющей региона. Появление избытка электроэнергии в энергосистеме и наличие возможности балансирования вырабатываемой мощности солнечных электростанций увеличит возможность маневрирования генерирующими мощностями при аварийных режимах.

Представлено изучение мирового опыта по увеличению выработки солнечных электростанций, их фактического влияния на энергосистему в условиях дефицита электроэнергии, работа солнечных электростанций в различное время года, аспекты, влияющие на выработку солнечной энергии.

Проведены натурные испытания серийных фотоэлектрических модулей типа RS250. Мощность модуля составляет 250 Вт, коэффициент полезного действия солнечных элементов – 17 %. Его вольт-амперные характеристики также близки к другим промышленным модулям. Цель данного исследования – получение зависимостей изменения выходной мощности фотоэлектрического модуля в разные месяцы года. Экспериментальные значения вольт-амперных характеристик модуля были получены при различных температурных показателях. Получены теоретические и экспериментальные значения различных параметров фотоэлектрического модуля RS250 в зависимости от угла установки. Экспериментальные данные, полученные для модуля RS250, показали различие с теоретическими данными при изменении угла установки плоскости модуля относительно горизонта.

Дальнейшие натурные испытания должны проводиться в условиях реального электроэнергетического режима работы энергосистемы, для чего требуется внедрение современных информационных технологий, обеспечивающих обмен технологической информацией и реализацию соответствующих управляющих воздействий на солнечные панели.

Ключевые слова: увеличение вырабатываемой мощности, баланс мощности, экология, солнечные электростанции, натурные испытания.

Введение
Планирование и поддержание балансов мощности и энергии в энергосистеме неразрывно связано с оперативно-диспетчерским управлением объектами электросетевого хозяйства и генерации. Планирование и поддержание балансов мощности и энергии в энергосистеме осуществляется структура-

ми коммерческого и системного операторов на основе правил и регламентов оптового рынка путем прогнозирования графиков нагрузки, планирования графиков генерации и их оперативной коррекции.

При проектировании и строительстве солнечных фотоэлектрических станций необходимо учитывать множество факторов, влияющих на

выработку модулей. Это могут быть как климатические изменения, например, облачность, изменение прозрачности атмосферы, температуры окружающей среды, выпадение осадков и т. д., так и производственные факторы, такие как различные сбои в работе сетей и оборудования [1].

Выработка электроэнергии солнечных модулей зависит от значений солнечной инсоляции, а пиковая мощность солнечной электростанции может превышать установленные значения в летние солнечные дни за счет изменения солнечной освещенности и угла наклона панелей возможны перепады по напряжению. Следовательно, схема выдачи мощности по электросетям должна разрабатываться с соответствующим запасом. При проектировании солнечных станций также необходимо учитывать изменение углового коэффициента падения лучей на плоскости модулей; при некоторых предельных значениях даже в зимние месяцы выработка солнечной электростанции может быть выше с учетом изменения угла наклона панелей.

Что касается зарубежного опыта, то в данном случае хотелось бы отметить европейские страны, такие как Германия, Италия, Франция, как передовые государства в освоении солнечных электростанций, где доля солнечных электростанций с регулировкой углового коэффициента падения лучей составляет значительную часть, что позволяет получать максимальную выработку электроэнергии круглогодично [2].

Внезапные падения или скачки в подаче электроэнергии являются большой проблемой для сохранения статической и динамической устойчивости энергосистемы. Например, после частичного солнечного затмения 20 марта 2015 г. немецким операторам энергосетей пришлось сбалансировать падение на 2674 МВт и скачок солнечной энергии в 4111 МВт в течение 15 минут, когда мощность электричества менялась в четыре раза быстрее, чем обычно [3]. Но с ростом доли возобновляемых источников энергии, отличающейся непостоянностью, подобные скачки становятся нередкостью.

Избежать увеличения доли возобновляемых источников энергии в энергосистемах не представляется возможным в связи с главным преимуществом – неисчерпаемостью и экологической безопасностью при эксплуатации данных установок, в связи с чем вопросы по управлению и оптимизации режимов работы уже сейчас выходят на первый план [4].

В рамках данной работы рассмотрена возможность увеличения выработки солнечных

электростанций и оптимизации их работы в крымской энергосистеме.

Используя практические рекомендации, можно с определенной уверенностью показать, какие энергетические параметры будут иметь солнечные электростанции в тех или иных погодных условиях и какое влияние будут оказывать на энергосистему в целом [5].

Целью данной работы является исследование мощностных характеристик промышленного фотоэлектрического модуля в природных условиях, а также изучение возможности применения полученных результатов на крупных солнечных электростанциях. Исследование рабочих характеристик модуля дает возможность оценить эффективность его работы и, как следствие, возможность строительства новых солнечных электростанций и увеличения выработки электроэнергии в энергосистеме.

Для достижения поставленной цели необходимо провести натурные исследования сетевого модуля в условиях максимальной освещенности (близкой к 1000 Вт/м^2), а также в условиях облачности, низкой атмосферной температуры и при наличии снегового покрова. При проведении исследования использовался метод прямых измерений тока и напряжения при заданных нагрузочных характеристиках.

Увеличение потенциала выработки солнечных электростанций в энергосистеме Республики Крым

На экспериментальной площадке кафедры энергосбережения и нетрадиционных источников энергии Института ядерной энергии и промышленности Севастопольского государственного университета проводились натурные испытания серийных фотоэлектрических модулей типа RS250 (рис. 1).

Модуль состоит из поликремниевых элементов с характеристиками, сходными с элементами других типовых модулей, используемых на сетевых фотоэлектрических станциях. Мощность модуля составляет 250 Вт, КПД солнечных элементов 17 %. Его вольт-амперные характеристики также близки к другим промышленным модулям.

Исследование сезонной работы фотоэлектрических модулей RS 250

Исследования проводились на открытой территории в ясные солнечные дни при постоянной освещенности. В результате исследования были получены зависимости изменения выходной мощности фотоэлектрического модуля в разные месяцы года.



Рис. 1. Натурные испытания фотоэлектрического модуля RS250

Fig. 1. Full-scale tests of the RS250 photoelectric module

На графиках (рис. 2) приведены усредненные вольт-амперные и мощностные характеристики модуля RS250, полученные при испытаниях за 2018–2019 гг.

Заводские значения номинальной мощности модуля RS250 соответствуют значениям 30,6 В и 8,21 А. Однако при испытаниях значение напряжения в рабочей точке с уменьшением температуры увеличивается до 36 В, при этом мощностные характеристики сохраняются.

Экспериментальные значения вольт-амперных характеристик модуля были получены при различных температурных показателях. На графиках (рис. 3) видно, что при одинаковых значениях освещенности мощность модуля была наибольшей при низких температурах, также увеличивались значения напряжений и менялась форма вольт-амперной характеристики [6].

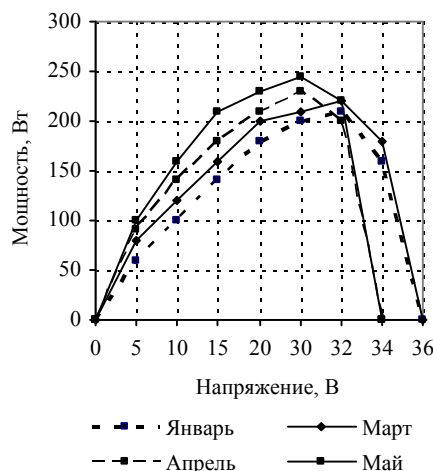
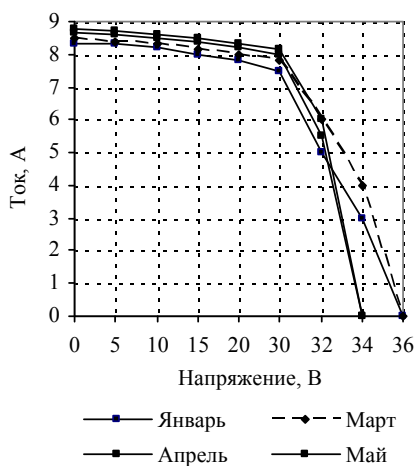


Рис. 2. Вольт-амперные и мощностные усредненные характеристики модуля RS250 для разных месяцев года

Fig. 2. Current-voltage and power average characteristics of the RS250 module for different months of the year

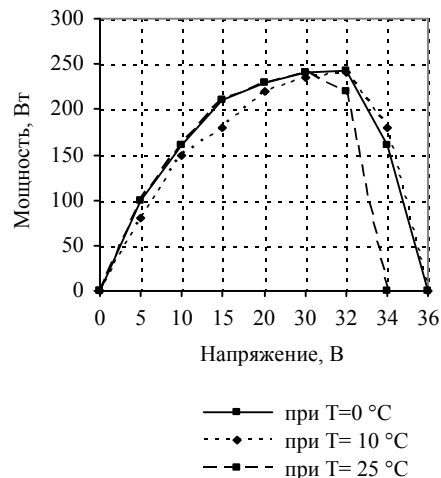
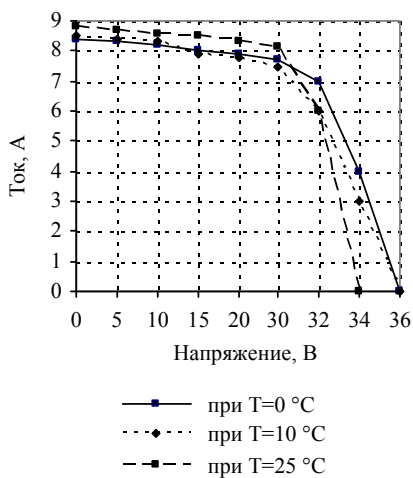


Рис. 3. Зависимости вольт-амперной и мощностной характеристик модуля RS250, полученные в разное время года при одинаковой освещенности (около 900 Вт/м²) и различной атмосферной температуре

Fig. 3. Dependences of the current-voltage and power characteristics of the RS250 module, received at different times of the year with the same illumination (about 900 W/m²) and various atmospheric temperatures

Коэффициент преобразования модуля в зависимости от освещенности улучшается в холодную ясную погоду (особенно эффективно работал модуль зимой при $T = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$) и снижается в весенние месяцы при повышении температуры рабочей поверхности. Как видно из результатов, наилучший режим работы модуля наблюдался при низких температурах. Холодная температура воздуха положительно сказывается на работе модуля, причем хорошо видно увеличение коэффициента преобразования модуля в отличие от плюсовых температур.

В условиях облачности (освещенность менее 200 Вт/м^2) зависимость мощностных характеристик модуля от угла наклона меняется по другим характеристикам (рис. 4).

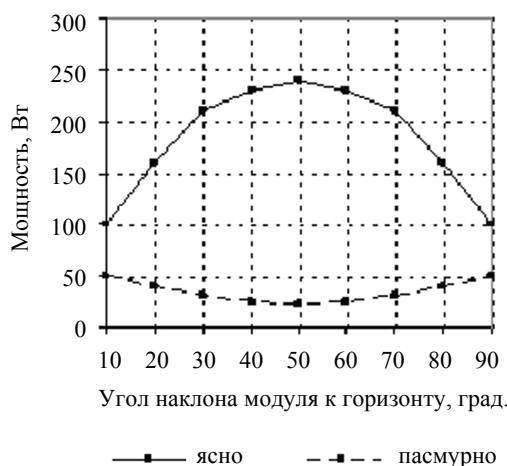


Рис. 4. Изменение мощности модуля RS250 в зависимости от угла наклона при различной облачности

Fig. 4. RS250 module power variation depending on the angle of inclination with various clouds

При отклонении плоскости модуля от перпендикулярного направления на точку, в которой находится солнце, фототок и вырабатываемая мощность начинают расти и достигают своего максимума при горизонтальном расположении модуля (см. рис. 4). Это происходит в момент, когда солнечный диск полностью закрыт облаками, и модуль преобразовывает только рассеянное излучение, приходящее со всех сторон небосвода [7]. При высокой облачности угол установки модуля к горизонту составляет 0° , при ясной погоде, наоборот, угол установки плоскости модуля соответствовал направлению на солнце, то есть равнялся углу солнечного склонения. При этом при равной освещенности коэффициент преобразования модуля был выше в ясную погоду, чем при вы-

сокой облачности, то есть на работу модуля влияет спектр солнечного излучения, который различен в пасмурную и ясную погоду.

Также необходимо отметить резкое повышение мощности (более 10 %) при небольшой облачности, при выходе солнца из-за облака. Повышение мощности наблюдалось около 1...2 мин, затем мощность снижалась до значения, соответствующего постоянной освещенности для ясной погоды. Повышение мощности связано с увеличением освещенности, которая при небольшой облачности в некоторых точках земной поверхности может быть выше за счет суммирования прямого и отраженного от облаков потока солнечной радиации [8].

Представляет интерес зависимость при работе модуля при наличии снегового покрова (рис. 5).

Значительное увеличение мощности происходило при отражении света от снежного покрытия, то есть при увеличении альбедо. В этот день освещенность без учета снегового покрова была 700 Вт/м^2 . За счет отражения света от поверхности снега прибавка в освещенности составила более 30 %, то есть освещенность соответствовала 1000 Вт/м^2 . При этом модуль вырабатывал меньшую мощность, чем при освещенности 1000 Вт/м^2 без снегового покрова. На графиках (рис. 5) заметно увеличение мощности модуля за счет отраженного потока от снеговой поверхности, однако коэффициент преобразования падает. Это можно объяснить отличной спектральной составляющей отраженного от снегового покрова света, которая хуже преобразовывается модулем.

Данные, полученные в результате проведения настоящих экспериментов, необходимы при расчетах годовой выработки электроэнергии солнечными электростанциями. Как видно из данных, конечные значения выработки электроэнергии при учете указанных в данной статье факторов могут различаться более чем на 30 % как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения.

Исследование работы фотоэлектрического модуля RS250 в зависимости от изменения падения солнечных лучей на рабочую поверхность

При движении солнца по небосводу угол падения лучей на плоскую поверхность, установленную под углом, постоянно меняется в течение суток. Ориентируя модуль перпендикулярно солнечным лучам и изменяя его угол наклона к горизонту, можно имитировать работу модуля в зависимости от изменения угла падения солнечных лучей на его поверхность [9].

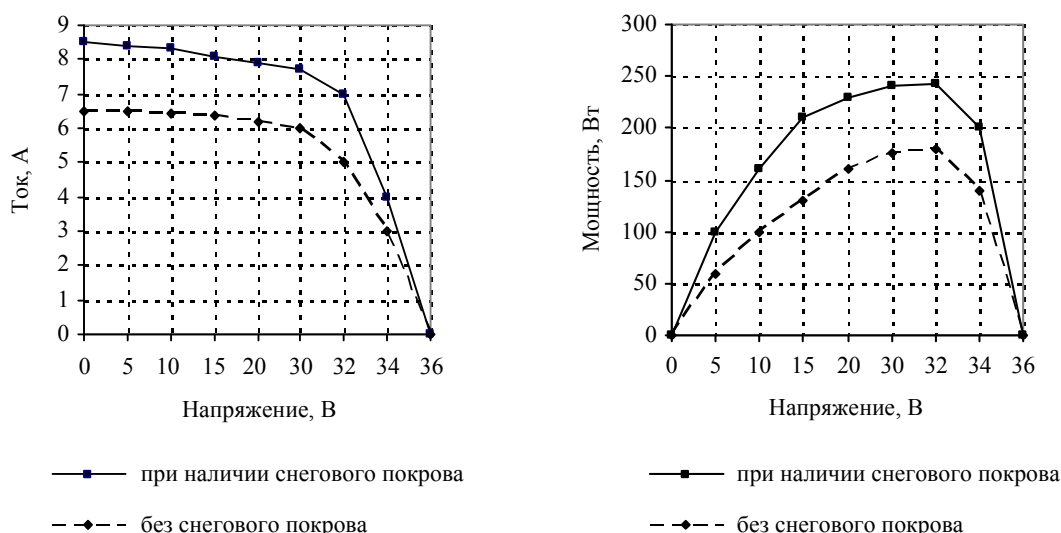


Рис. 5. Вольт-амперные и мощностные характеристики, полученные при наличии снегового покрова (мощность падающего солнечного излучения 700 Вт/м²)

Fig. 5. Current-voltage and power characteristics obtained in the presence of snow cover (power of incident solar radiation 700 W/m²)

На рисунке 6 приведены теоретические и экспериментальные значения различных параметров фотоэлектрического модуля RS250 в зависимости от угла установки. Экспериментальные данные, полученные для модуля RS250, показали различие с теоретическими данными при изменении угла установки плоскости модуля относительно горизонта.



Рис. 6. Зависимость изменения выходной мощности фотоэлектрического модуля RS250 при изменении угла наклона модуля к горизонту

Fig. 6. The dependence of the change in the output power of the photovoltaic module RS250 when changing the angle of inclination of the module to the horizon

Для расчетов вырабатываемой мощности солнечной фотоэлектрической батареи используется известная формула

$$P_{\text{мод}} = E_0 \eta_{\text{эл}} S_{\text{мод}} F \cos \alpha_0, \quad (1)$$

где $\eta_{\text{эл}}$ – КПД элементов; E_0 – солнечная освещенность; $S_{\text{мод}}$ – площадь солнечной батареи; F – фактор, учитывающий особенности солнечной батареи (заполнение элементами и возможную деградацию ее параметров); α_0 – суммарный угол между нормалью к плоскости модуля и падающими солнечными лучами.

По экспериментальным данным, угол наклона модуля по отношению к падающим солнечным лучам сильно влияет на показатели модуля, в результате изменяются энергетические и мощностные характеристики. При перпендикулярном падении лучей на рабочую поверхность экспериментальные и теоретические данные совпадают. Как видно из графиков (см. рис. 6), при определенных углах падения реальные значения мощности могут падать в два раза [10].

Формула (1) подходит только для теоретических расчетов. Для фотоэлектрического модуля, имеющего поверх элементов несколько видов защитных покрытий, где каждый тип прозрачного защитного покрытия имеет определенный оптический коэффициент преломления, непосредственно для расчетов фотоэлектрических модулей целесообразно использовать формулу

$$P_{\text{мод}} = E_0 \eta_{\text{эл}} S_{\text{мод}} F \cos K \alpha_0,$$

где K – суммарный коэффициент ослабления светового потока, зависящий от конкретной конструкции и количества защитных покрытий модуля [11].

Коэффициент K отвечает за ослабление солнечной интенсивности при прохождении сол-

нечных лучей через защитные покрытия модуля. Этот коэффициент зависит от конкретной конструкции модуля, а также от количества и формы защитных покрытий.

Выводы

На основе проведенных натурных испытаний при различных климатических условиях получены данные о наиболее эффективных режимах работы серийного фотоэлектрического модуля RS250, показано изменение мощностных характеристик и коэффициента преобразования модуля.

Проведенные испытания промышленных фотоэлектрических модулей RS250 показали, что при учете климатических факторов мощность, вырабатываемая солнечным модулем, может изменяться на 30 % и более [12].

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании солнечных электростанций, что, в свою очередь, позволит повысить выработку солнечных электростанций.

Данное исследование увеличит экономический потенциал и привлекательность строительства новых генерирующих мощностей на территории Республики Крым.

Библиографические ссылки

1. Белокрылова Е. А., Кологерманская Е. М. Современные политико-правовые аспекты развития возобновляемых источников энергии в Российской Федерации // Вестник Удмуртского университета. Серия «Экономика и право». 2017. Т. 27, № 2. С. 85–93.
2. Amelang K. A. Variable but predictable: Forecasting renewable power generation. *Cleanenergy Wire*, 2016, no. 7, pp. 1-7.
3. Широков А. В., Шимон Н. С. Проблемы энергоснабжения в Республике Крым // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2017. Т. 1, № 8. С. 47–49.
4. Кривцов В. С., Олейников А. М., Яковлев А. И. Неисчерпаемая энергия. Кн. 3. Альтернативная энергетика. Харьков : Изд-во ХАИ, 2007. 660 с.
5. Усачёв А. М. Анализ динамики мировой индустрии солнечной энергетики // Науковедение. 2015. Т. 7, № 4.
6. Оптимальное управление структурой и эксплуатационными режимами интегрированных энергетических систем / В. П. Жуков, Д. А. Осипов, Д. А. Уланов, Г. В. Ледуховский, Е. В. Барочкин // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2016. № 2. С. 33–37.
7. Перминов Э. М. Энергетика Республики Крым: состояние и проблемы развития. Новая возобновляемая энергетика – выбор Крыма // Энергетик. 2014. № 5. С. 7–10.
8. Жилина Н. А. Расчет нагрузочных мощностей электрической энергии вероятностно-статистическим методом // Научный вестник Новосибирского

государственного технического университета. 2014. № 2 (55). С. 176–182.

9. Гурьев В. В., Кувишинов В. В. Оптимизация методов прогнозирования вырабатываемой мощности солнечных электростанций в энергосистеме Республики Крым и города Севастополя // Материалы Международ. науч.-практ. конф. «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2018» (Севастополь, 24–27 сентября 2018 г.) / под ред. Л. И. Лукиной, Н. А. Бежина, Н. В. Ляминой. С. 325–327.

10. Джумаев А. Я. Анализ влияния температуры на рабочий режим фотоэлектрической солнечной станции // Сб. статей XLVI Междунар. науч.-практ. конф. «Технические науки – от теории к практике» (Новосибирск, 27 мая 2015 г.). 2015. № 5 (42). С. 33–40. Новосибирск : Изд-во СибАК, 2015.

11. Рыбкина Я. А. Правовая природа отбора проектов ВИЭ и применение норм антимонопольного законодательства к процедуре отбора проектов ВИЭ // Правовой энергетический форум. 2018. № 4. С. 38–45.

12. Гурьев В. В., Кувишинов В. В., Якимович Б. А. Перспективы развития возобновляемых источников энергии на территории Крымского полуострова // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2019. Т. 22, № 4. С. 116–123 DOI: 10.22213/2413-1172-2019-4-116-123.

References

1. Belokrylova E.A., Kologermanskaya E.M. [Modern political and legal aspects of the development of renewable energy in the Russian Federation]. *Vestnik udmurtskogo universiteta, Seriya "Ekonomika i pravo"*, 2017, vol. 27, no. 2, pp. 85-93 (in Russ.).
2. Amelang K.A. Variable but predictable: Forecasting renewable power generation. *Cleanenergy Wire*, 2016, no. 7, pp. 1-7.
3. Shirokov A.V., Shimon N.S. [Problems of energy supply in the Republic of Crimea]. *Pozharnaya bezopasnost': problem i perspektivy*, 2017, vol. 1, pp. 47-49 (in Russ.).
4. Krivtsov V.S., Oleinikov A.M., Yakovlev A.I. *Alternativnaya energetika* [Alternative energy]. Khar'kov, KhAI Publ., 2007, 660 p. (in Russ.).
5. Usachev A.M. [Analysis of the dynamics of the global industry of solar energy]. *Naukovedenie*, 2015, vol. 7, no. 4 (in Russ.).
6. Zhukov V.P., Osipov D.A., Ulanov D.A., Ledukhovskii G.V., Barochkin E.V. [Optimal control of the structure and operational modes of integrated energy systems]. *Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta*, 2016, no. 2, pp. 33-37 (in Russ.).
7. Perminov E.M. [Energy of the Republic of Crimea - state and problems of development]. *Energetik*, 2014, no. 5, pp. 7-10 (in Russ.).
8. Zhilina N.A. [Calculation of load capacities of electric energy by the probabilistic-statistical method]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2014, no. 2, pp. 176-182 (in Russ.).

9. Guryev V.V., Kuvshinov V.V. *Optimizatsiya metodov prognozirovaniya vyrabatyvaemoi moshchnosti solnechnykh elektrostantsii v energosisteme Respubliki Krym i goroda Sevastopolya* [Optimization of methods for predicting the generated capacity of solar power plants in the power system of the Republic of Crimea and the city of Sevastopol]. *Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Ekologicheskaya, promyshlennayai energeticheskaya bezopasnost' – 2018"* (Sevastopol', 24–27 sentyabrya 2018 g.) [Proc. Int. scientific-practical conf. "Ecological, industrial and energy security - 2018" (Sevastopol, September 24-27, 2018)]. Sevastopol, 2018, pp. 325-327 (in Russ.).

10. Dzhumayev A.Ya. *Analiz vliyaniya temperatury na rabochii rezhim fotoelektricheskoi solnechnoi stantsii* [Analysis of the effect of temperature on the operating mode of a photovoltaic solar station]. *Sb. statei XLVI*

Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Tekhnicheskienauki - otteorii k praktike» (Novosibirsk, 27 maya 2015 g.) [Proc. XLVI International scientific-practical conf. "Engineering - from theory to practice" (Novosibirsk, May 27, 2015)], 2015, no. 5, pp. 33-40 Novosibirsk, SibAK Publ, 2015 (in Russ.).

11. Rybkina Ya. A. [Legal nature of the selection of renewable energy projects and the application of antitrust laws to the procedure for selecting renewable energy projects]. *Pravovoi energeticheskii forum*, 2018, no. 4, pp. 38-45 (in Russ.).

12. Guriev V.V., Kuvshinov V.V., Yakimovich B.A. [Prospects for increasing the production of solar power plants of the power system of the Republic of Crimea and the city of Sevastopol]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2019, vol. 22, no. 4, pp. 116-123 (in Russ.). DOI:10.22213/2413-1172-2019-4-116-123.

Prospects for Increasing the Production of Solar Power Plants of the Power System of the Republic of Crimea and the City of Sevastopol

V.V. Guryev, Post-graduate, Institute of Nuclear Energy and Industry of Sevastopol State University, Sevastopol, Russia
V.V. Kuvshinov, PhD in Engineering, Institute of Nuclear Energy and Industry of Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

B.A. Yakimovich, DSc in Engineering, Professor, Institute of Nuclear Energy and Industry of Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

The development of solar power plants for the Crimean peninsula plays a significant role in achieving environmental safety and betraying the region's economic potential. The priority use of solar power plants in the region is justified, as well as the solution of emerging problems with an increase in the share of these power plants in total generation. The increase in the potential of existing solar power plants and measures aimed at attracting investors for the construction of solar power plants will positively affect the region's environmental and economic component. The appearance of excess electricity in the power system and the possibility of balancing the generated power of solar power plants will increase the possibility of maneuvering generating capacities in emergency conditions.

A study is made of the world experience in increasing the production of solar power plants, their actual impact on the energy system in the face of a shortage of electricity, the work of solar power plants at different times of the year, and aspects affecting the production of solar energy.

Field tests of serial RS250 photovoltaic modules were performed. The power of the module is 250 W; the efficiency of solar cells is 17 %. Its current-voltage characteristics are also close to other industrial modules. This study aimed to obtain the dependencies of changes in the photovoltaic module's output power in different months of the year. The experimental values of the current-voltage characteristics of the module were obtained at various temperature indices. Theoretical and experimental values of various parameters of the RS250 photoelectric module are obtained, depending on the installation angle. The experimental data collected for the RS250 module showed a difference with analytical data when the angle of installation of the plane of the module relative to the horizon changes.

Further full-scale tests should be carried out under the conditions of a real electric power mode of the power system, which requires the introduction of modern information technologies that ensure the exchange of technological information and the implementation of appropriate control actions on solar panels.

Keywords: increase in generated capacity, power balance, ecology, solar power plants, field tests.

Получено 27.04.2020

Образец цитирования

Гурьев В. В., Кувшинов В. В., Якимович Б. А. Увеличение выработки солнечных электростанций энергосистемы Республики Крым и города Севастополя путем повышения эксплуатационных характеристик фотоэлектрического модуля RS250 // Вестник ИЖГТУ имени М. Т. Калашникова. 2020. Т. 23, № 3. С. 77–83. DOI: 10.22213/2413-1172-2020-3-77-83.

For Citation

Guryev V.V., Kuvshinov V.V., Yakimovich B.A. [Prospects for Increasing the Production of Solar Power Plants of the Power System of the Republic of Crimea and the City of Sevastopol]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2020, vol. 23, no. 3, pp. 77-83 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2020-3-77-83.