
НЕТРАДИЦІЙНІ І ПОНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

УДК 620.9:33

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В СЕТЕВЫХ СОЛНЕЧНЫХ СТАНЦИЯХ

В.В. Кувшинов, к.т.н.

Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности

Описаны результаты исследования серийного фотоэлектрического модуля RS 250 мощностью 250 Вт, используемого для выработки электрической энергии на некоторых солнечных электростанциях юга Украины. Полученные результаты дают возможность оценивать его рабочие характеристики в натурных условиях в зависимости от различных климатических факторов.

Введение

На сетевых солнечных станциях Украины для выработки электроэнергии в настоящее время используются фотоэлектрические модули, на основе поли- или монокремния (рис. 1). Их различные типы используются как в мощных сетевых электростанциях, так и в фотоэлектрических установках для автономных потребителей. Мощность одного модуля на сетевых электростанциях составляет около 200...300 Вт.



Рис. 1. Крупнейшая в Европе сетевая солнечная электростанция суммарной мощностью более 100 МВт, расположенная около г. Симферополя (с. Перово)

В настоящее время в Украине действует несколько солнечных электростанций общей мощностью более 300 МВт. Согласно энергетическим планам, в ближайшей перспективе мощности работающих сетевых солнечных электростанций по всей территории юга Украины могут составить более 1000 МВт. Учитывая вышесказанное, можно говорить, что Украина вполне способна обеспечивать себя электрической энергией в значительной мере за счет солнечной фотоэнергетики, причем этот показатель будет значительно выше, чем в других европейских странах. При этом еще несколько лет назад в Украине более 99 % электроэнергии вырабатывалась за счет традиционных энергоресурсов [1].

При строительстве солнечных фотоэлектрических станций необходимо учитывать различные факторы, влияющие на работу сетевых модулей. Это могут быть как производственные факторы, такие как различные сбои в работе сетей, оборудования и т.д., так и климатические изменения, например облачность, изменение прозрачности атмосферы, температуры окружающей среды, выпадение осадков и др. Для того чтобы свести к минимуму потери при выработке электрической энергии, необходимо при проектировании станций по возможности их учитывать.

На солнечных станциях отдельные модули последовательно соединяют в группы для увеличения напряжения и группы модулей могут соединяться последовательно для передачи максимально вырабатываемого тока. Соответственно в сетях могут возникать сбои и поломки при несоблюдении электрических параметров при одновременной работе большого количества модулей.

Годовая выработка солнечных модулей зависит от значений солнечной инсоляции, а пиковая мощность станции может превышать установленные значения в летние солнечные дни, также, за счет изменения солнечной освещенности и других климатических факторов, возможны перепады по напряжению. Следовательно, расчет сетей должен производиться с соответствующим запасом. При проектировании солнечных станций также необходимо учитывать изменение углового коэффициента падения лучей на плоскости модулей, при некоторых предельных значениях (обычно в зимние месяцы) работа станции может являться неэффективной даже в ясные дни.

При строительстве фотоэлектрических станций также желательно учитывать типы почв, на которых расположены модули, и преобладающее направление ветров в целях недопущения сильного запыления рабочей поверхности модулей и, как следствие, сокращения выработки всей станции.

Используя практические рекомендации, можно с определенной уверенностью показать, какие энергетические параметры будет вырабатывать солнечная батарея в тех или иных погодных условиях [2].

Постановка цели и задач научного исследования

Целью данной работы является исследование мощностных характеристик промышленного фотоэлектрического модуля в натуральных условиях. Исследование рабочих характеристик модуля дает возможность оценить эффективность его работы и, как следствие, возможность увеличения выработки электроэнергии сетевыми станциями.

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 снежного покрова. При проведении исследования используется метод прямых измерений тока и напряжения при заданных нагрузочных характеристиках.

Результаты экспериментальных исследований

На экспериментальной площадке кафедры энергосбережения и нетрадиционных источников энергии Севастопольского университета ядерной энергии и промышленности, в течение 2012 - 2013 гг. проводились натурные испытания серийных фотоэлектрических модулей типа RS 250 (рис. 2). Модуль состоит из поликремневых элементов с характеристиками, сходными с элементами других типовых модулей, используемых на



Рис. 2. Натурные испытания фотоэлектрического модуля RS 250

сетевых фотоэлектрических станциях. Мощность модуля составляет 250 Вт, КПД солнечных элементов составляет 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. Главной целью данного исследования было получение зависимостей изменения выходной мощности фотоэлектрического модуля в разные месяцы года. На графиках (рис. 3) приведены усредненные вольт-амперные и мощностные характеристики модуля RS 250, полученные при испытаниях за 2012 – 2013 гг.

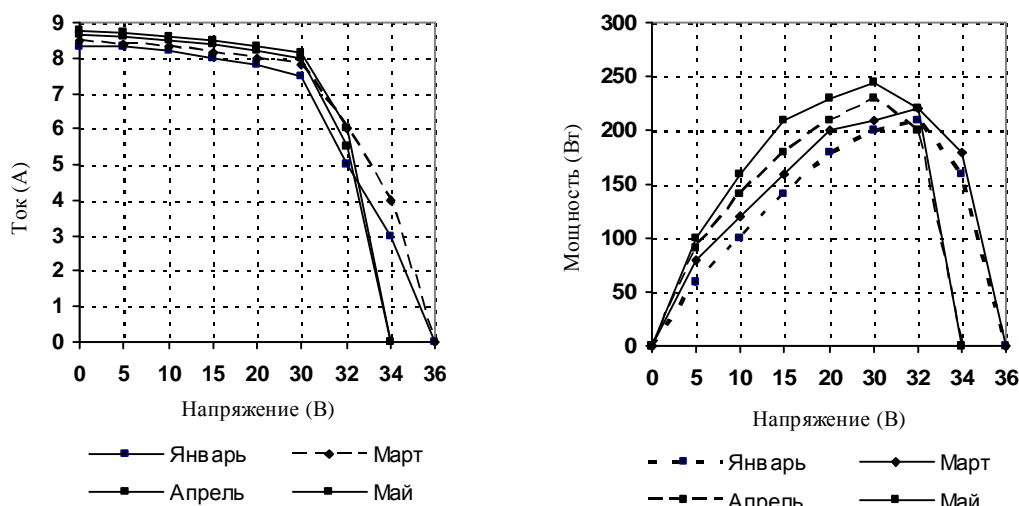


Рис. 3. Вольт-амперные и мощностные усредненные характеристики модуля RS 250 для разных месяцев года

Заводские значения номинальной мощности модуля RS 250 соответствуют значениям 30,6 В и 8,21 А. Однако при натурных 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. 4 видно, что при одинаковых значениях освещенности мощность модуля была наибольшей при низких температурах, также увеличивались значения напряжений и менялась форма вольт-амперной характеристики.

Коэффициент преобразования модуля, в зависимости от освещенности, улучшается в холодную ясную погоду, особенно эффективно работал модуль зимой при $T = 0^{\circ}\text{C}$, и снижается в весенние месяцы при повышении температуры рабочей поверхности. Как видно из результатов, наилучший режим работы модуля наблюдался при низких температурах.

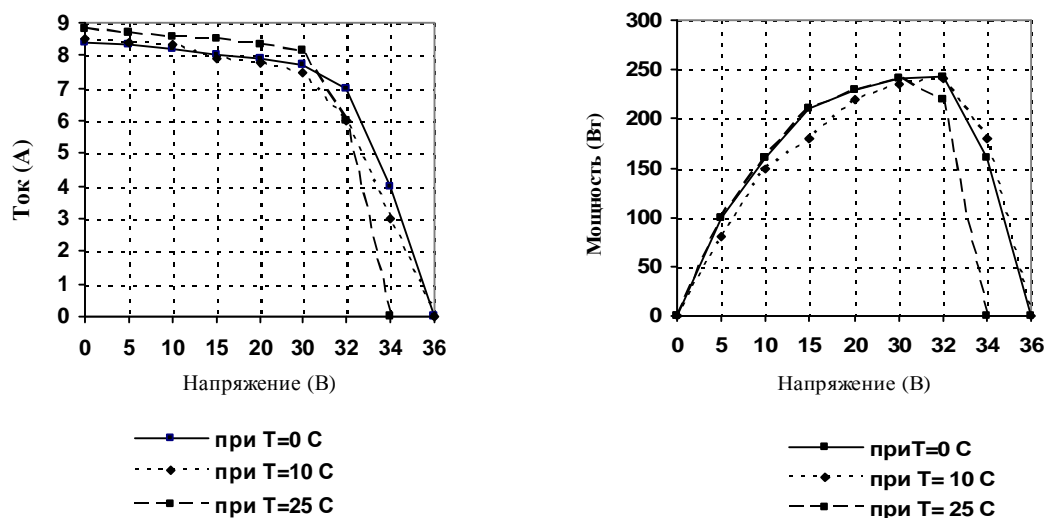


Рис. 4. Зависимости вольт-амперной и мощностной характеристик модуля RS 250 полученные в разное время года при одинаковой освещенности (около 900 Вт/м^2) и различной атмосферной температуре

Холодная температура воздуха положительно сказывается на работе модуля [3], 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. 5).

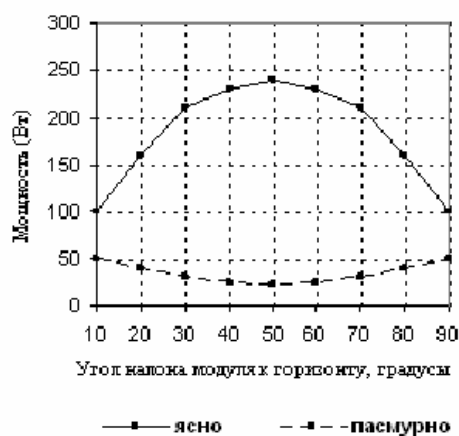


Рис. 5. Изменение мощности модуля RS 250 в зависимости от угла наклона при различной облачности

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 (рис. 5). Это происходит в момент, когда солнечный диск полностью закрыт облаками и модуль преобразовывает только рассеянное излучение, приходящее со всех сторон небосвода [4]. 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 высокой облачности, то есть на работу модуля влияет спектр солнечного излучения, который различен в пасмурную и ясную погоду [3].

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 [4].

Представляет интерес зависимость при работе модуля при наличии снегового покрова (рис. 6). 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 составляла более 30 %, то есть освещенность составляла около 1000 Вт/м^2 . При этом модуль вырабатывал меньшую мощность, чем при освещенности 1000 Вт/м^2 без снегового покрова. На графиках (см. рис. 6) 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 [3].

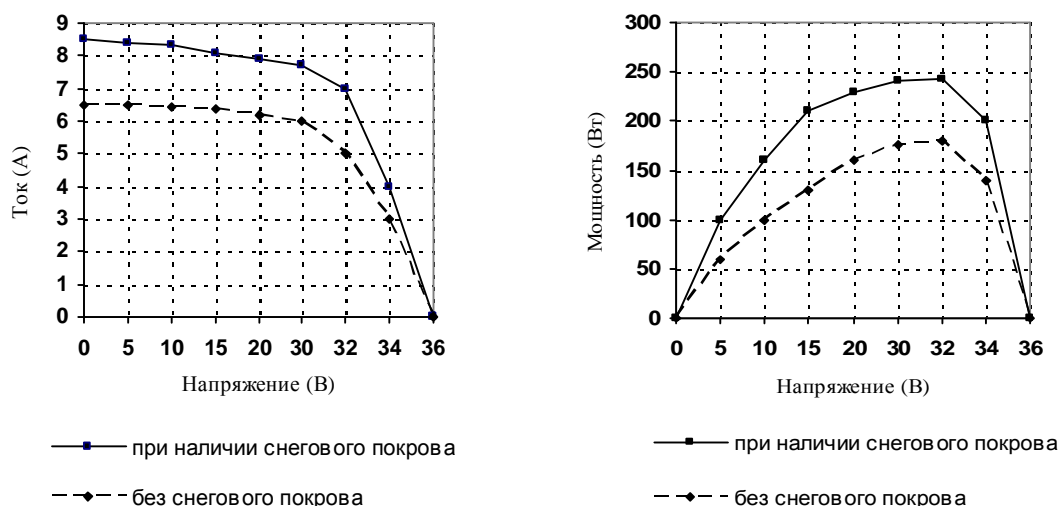


Рис. 6. Вольт-амперные и мощностные характеристики, полученные при наличии снегового покрова (мощность падающего солнечного излучения 700 Вт/м^2)

Данные, полученные в результате проведения настоящих экспериментов, необходимы при расчетах годовой выработки электроэнергии солнечными электростанциями [2]. 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 RS 250 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. Ориентировав 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.

На рис. 7 приведены теоретические и экспериментальные значения различных параметров фотоэлектрического модуля RS 250 в зависимости от угла установки. Экспериментальные данные, полученные для модуля RS 250, показали различие с теоретическими данными при изменении угла установки плоскости модуля относительно горизонта.



Рис. 7. Зависимость изменения выходной мощности фотоэлектрического модуля RS 250 при изменении угла наклона модуля к горизонту

Для расчетов вырабатываемой мощности солнечной фотоэлектрической батареи используется известная формула [2]

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

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, только при перпендикулярном падении лучей на рабочую поверхность экспериментальные и теоретические данные совпадают. Как видно из графиков (см. рис. 7), при определенных углах падения реальные значения мощности могут падать в два раза.

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

$$P_{\text{мод}} = E_0 \eta_{\text{эл}} S_{\text{мод}} F \cos K \alpha_0, \quad (2)$$

где K — суммарный коэффициент ослабления светового потока, зависящий от конкретной конструкции и количества защитных покрытий модуля.

Коэффициент K отвечает за ослабление солнечной интенсивности при прохождении солнечных лучей через защитные покрытия модуля [2]. 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 RS 250, показано изменение мощностных характеристик и коэффициента преобразования модуля.

Проведенные испытания промышленных фотоэлектрических модулей RS 250 показали, что при учете климатических факторов мощность, вырабатываемая солнечным модулем, может изменяться на 30 % и более.

Используя при проектировании солнечных электростанций полученные экспериментальные данные, можно значительно поднять выработку электрической энергии.

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ МОДУЛІВ, ВИКОРИСТОВУВАНИХ У МЕРЕЖЕВИХ СОНЯЧНИХ СТАНЦІЯХ

В.В. Кувшинов

Описані результати дослідження серійного фотоелектричного модуля RS 250 потужністю 250 Вт, використовуюваного для вироблення електричної енергії на деяких сонячних електростанціях півдня України. Отримані результати дають можливість оцінювати його робочі характеристики в натурних умовах залежно від різних кліматичних чинників.

RESEARCH of PHOTO-ELECTRIC MODULES CHARACTERISTICS IN-USE in the NETWORK SUN STATIONS

V. Kuvshinov

The research results of the serial 250V-RS 250 photo-electric module in-use for the electric energy producing on some sun power-stations of the Ukrainian South were described. The findings enable to estimate its operating performances in the full-scale conditions depending on different climatic factors.

Список использованных источников

1. *Кувшинов В.В.* Перспективы развития солнечной энергетики в Крыму / В.В. Кувшинов // Зб. наук. праць СНУЯЕтаП. – Севастополь: СНУЯЕтаП, 2013. – Вып. 1 (45). – С. 182 - 189.
2. *Раушенбах Г.* Справочник по проектированию солнечных батарей / Г. Раушенбах. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 397 с.
3. *Колтун М.М.* Оптика и метрология солнечных элементов / М.М. Колтун. – М.: Наука, 1985. – 300 с.
4. *Кондратьев К.Я.* Актинометрия / К.Я. Кондратьев. – Л.: Гидрометеиздат, 1965. – 220 с.

Надійшла до редакції 22.11.2013 р.