

УДК 621.314

UDC 621.314

ПОТЕНЦИАЛ, ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОЛНЕЧНЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

POTENTIAL, FEATURES OF WORK AND ECONOMIC EFFICIENCY OF SOLAR PHOTO-ELECTRIC STATIONS

Усков Антон Евгеньевич
старший преподаватель, 9184349285@mail.ru

Uskov Anton Evgenevich
senior lecturer, 9184349285@mail.ru

Буторина Екатерина Олеговна
студентка

Butorina Ekaterina Olegovna
student

Беспалов Евгений Геннадьевич
студент, Jeka686@yandex.ru
Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия

Bespalov Evgenie Gennadievich
student, Jeka686@yandex.ru
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

В статье рассматриваются области применения и эффективность применения солнечных фотоэлектрических установок на территории Краснодарского края, а так же определения их основных параметров

The article describes scopes and efficiency of application of solar photo-electric installations on the territory of the Krasnodar region, and as definitions of their key parameters

Ключевые слова: СОЛНЕЧНАЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ, МОЩНОСТЬ, СОЛНЕЧНАЯ БАТАРЕЯ

Keywords: SYSTEM OF INDEPENDENT ELECTROSUPPLY, UNIVERSAL STATIC CONVERTER OF ELECTRIC POWER

Известно, что при существующих темпах научно-технического прогресса органическое топливо не сможет в полном объеме удовлетворять потребности мировой энергетики уже к 2020 г. Одним из перспективных направлений решения проблемы энергоснабжения и повышения энергоэффективности является разработка и внедрение возобновляемых источников электроэнергии (ВИЭ) и прежде всего солнечных фотоэлектрических станций (СФЭС) [1].

Солнце является источником жизни планеты Земля. Хотя солнечная энергия и бесплатна, получение электричества из нее не всегда достаточно дешево. Поэтому специалисты непрерывно стремятся усовершенствовать солнечные элементы и сделать их эффективнее.

Как известно солнечное излучение преобразуется в электрическую энергию постоянного тока фотоэлементами. Статические преобразователи напряжение постоянного тока, преобразуют в напряжение переменного тока [2]. При этом большинство фотоэлементов представляют собой кремни-

евые полупроводниковые фотодиоды. При облучении полупроводниковой структуры солнечной энергией, энергия полученных фотонов передаётся электронам, что вызывает появление свободных носителей электрического заряда, разделённых $p - n$ переходом. Носители заряда: электроны и дырки создают потенциальный градиент в области перехода и создают ток при наличии внешней электрической цепи.

Энергетические характеристики фотоэлементов в основном определяются следующими параметрами: интенсивностью солнечного излучения, величиной нагрузки, рабочей температурой [1].

Влияние интенсивности солнечного излучения на вид вольт-амперной характеристики (ВАХ) солнечной батареи (СБ) иллюстрируется кривыми приведёнными на рисунке 1, а.

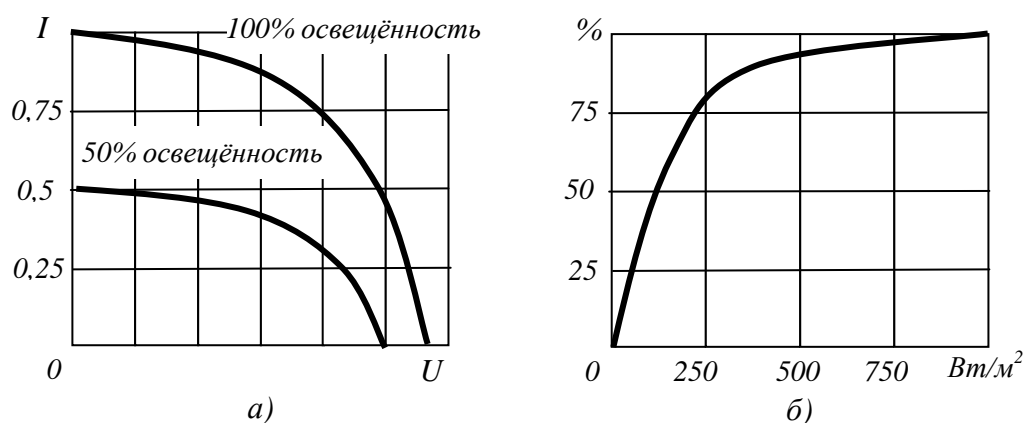


Рисунок 1 – ВАХ фотоэлемента (а) и зависимость эффективности фотопреобразования (б) от интенсивности солнечного излучения

При снижении интенсивности солнечного излучения ВАХ фотоэлемента сдвигается вниз, что определяет значительное снижение тока короткого замыкания. Напряжение холостого хода при этом уменьшается незначительно.

Угол падения солнечных лучей на поверхность оказывает влияние на интенсивность облучения фотоэлектрической СБ. Ток нагрузки, источником которого являются СБ, определяется по формуле

$$I_H = I_o c \cos \alpha , \quad (1)$$

где I_o – максимальный ток панели, облучаемой перпендикулярно падающими световыми лучами; α – угол падения солнечных лучей, отложенный от нормали приёмной поверхности панели.

Зависимость (1) даёт удовлетворительный результат для углов $\alpha = 0 - 50^\circ$. При увеличении угла α параметры фотопреобразовательного модуля заметно отклоняются от косинусоидальной зависимости и при $\alpha = 85^\circ$ фотоэлемент прекращает генерировать электроэнергию. КПД фотопреобразовательного модуля (элемента) мало зависит от интенсивности солнечного излучения в рабочем диапазоне. По рисунку 1, б видно, что в диапазоне изменения интенсивности солнечного излучения $800 - 1000 \text{ Вт/м}^2$ эффективность фотопреобразования меняется незначительно. Следовательно, мощность СБ в облачный день снижается по сравнению с солнечным только из-за меньшей солнечной энергии, падающей на приёмную поверхность фотопреобразователя. Обычно, при небольшой облачности, СБ может выдавать до 80% своей максимальной мощности. В пасмурную погоду эта величина снижается до 30%.

Краснодарский край является одним из перспективных регионов России для внедрения СФЭС. Этому свидетельствуют данные о валовом, техническом и экономическом потенциалах солнечной энергетики Краснодарского края, и данные по среднемесячной облачности и среднемесячному прямому излучению солнца (рисунок 2 и 3) и информация о суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность на территории Краснодарского края (рисунок 4).

Как видно из рисунков 6.6 и 6.7, больше 50 % времени в году в Краснодарском крае средняя облачность превышает 55 %, при этом среднемесячное прямое излучение солнечной энергии превышает 2 кВт/м^2 .

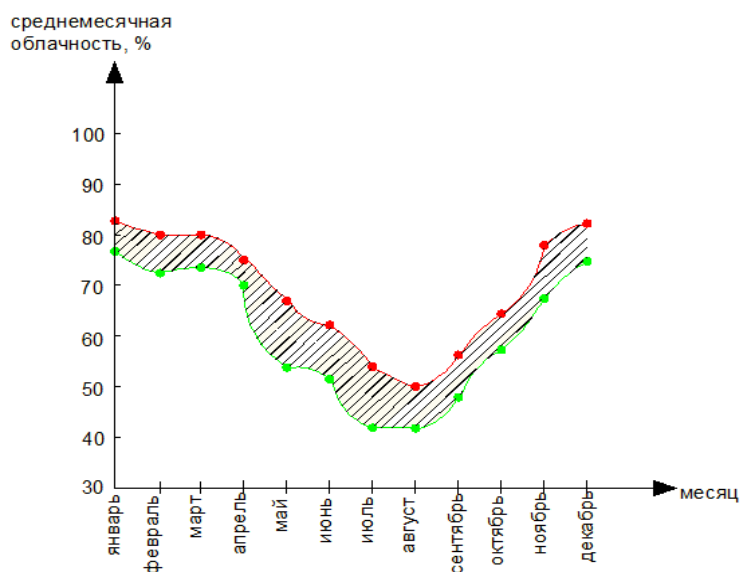


Рисунок 2 – Среднемесячная облачность по Краснодарскому краю

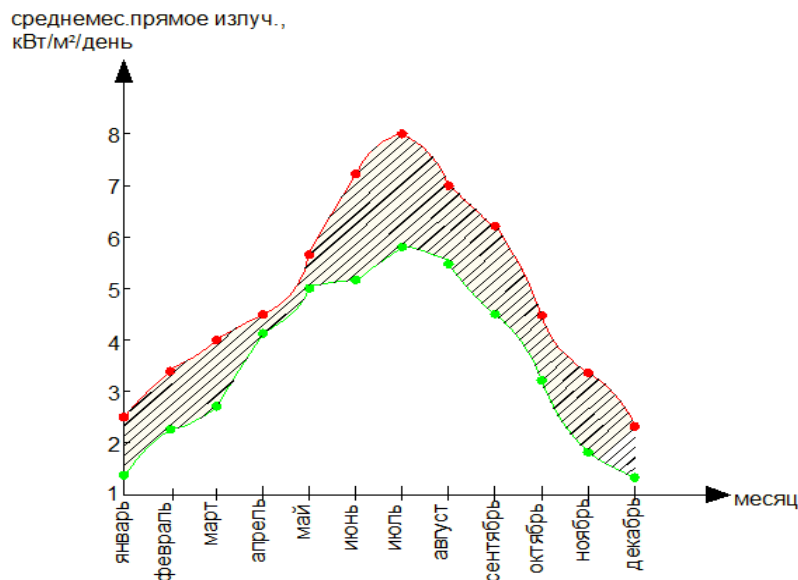


Рисунок 3 – Среднемесячное прямое солнечное излучение по Краснодарскому краю

Как известно, фотоэлектрические солнечные модули (ФСМ), работают на принципе прямого преобразования солнечного излучения в электроэнергию постоянного тока.

Основными параметрами, определяющими разделение ФСМ по типам, являются:

- пиковая мощность на выходе модуля при стандартных условиях испытания;

– номинальное напряжение, которое может обеспечить модуль потребителю электроэнергии без применения дополнительных преобразований.

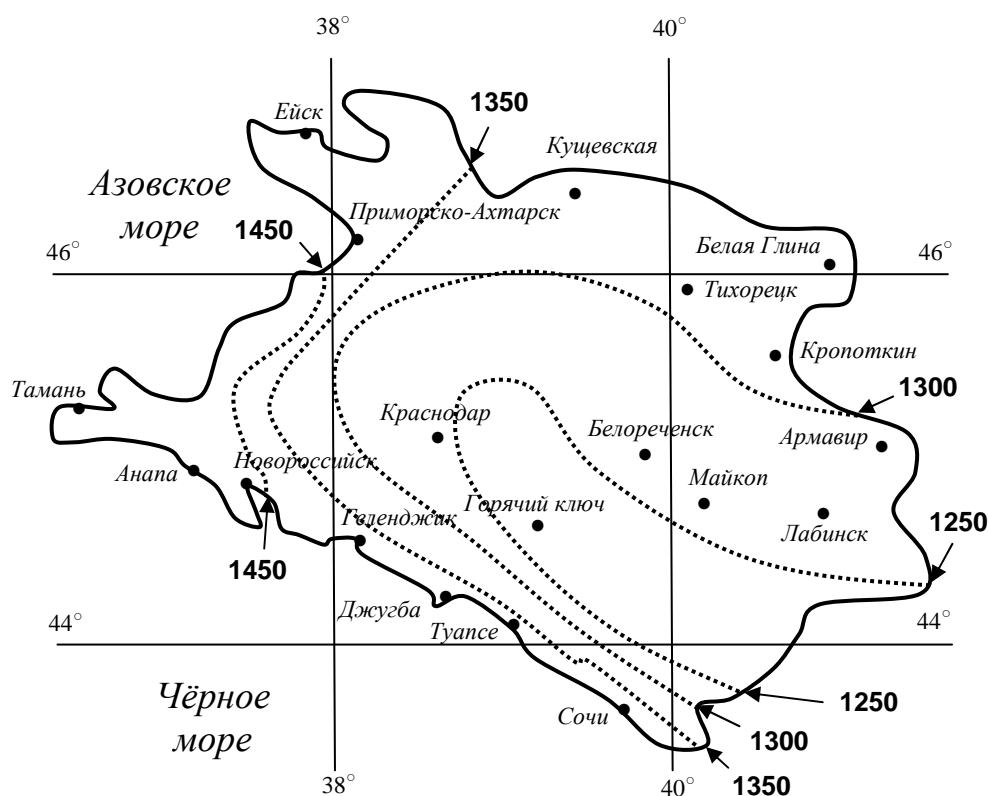


Рисунок 4 – Суммарная солнечная радиация на горизонтальную поверхность на территории Краснодарского края ($Вт\ ч/м^2$)

Стандартные условия испытания ФСМ – это условия испытаний, регламентированные по интенсивности солнечного излучения 1000 Вт/м^2 , спектральному распределению излучения при $AM = 1.5$ и температуре солнечных элементов $25 \pm 2^\circ\text{C}$ [1]. AM – атмосферная (воздушная) масса – это длина пути солнечных лучей в атмосфере, $AM = 1/\sin h_0$, где h_0 – высота видимого положения Солнца над горизонтом ($AM = 1.5$ при $h_0 = 42^\circ\text{C}$).

Стандартом (ГОСТ Р 51597–2000) установлены значения пиковой мощности ФСМ которые выбираются из ряда 2, 5, 8, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 65, 80, 100, 120, 150 Вт. Предельные отклонения от указанных значений

не должны превышать $\pm 10\%$. Значения КПД солнечных элементов, используемых в ФСМ, не нормируются.

Величина номинального напряжения ФСМ устанавливается в зависимости от номинального напряжения подключаемой нагрузки. Номинальное напряжение выбирается из ряда 3,0; 4,5; 6,0; 9,0; 12; 24; 27; 48 В по ГОСТ 18275–72.

Методика определения рабочих параметров ФСМ.

1. Собирается принципиальная электрическая схема для измерения вольт-амперной характеристики (ВАХ) ФСМ (рисунок 5).

2. Регистрируется ВАХ ФСМ при стандартных условиях испытания. По максимальному значению произведения тока на напряжение определяется пиковая мощность и выбирается величина номинального напряжения из выше рассмотренного ряда как ближайшее меньшее значение напряжения при пиковой мощности.

3. Для определения термических коэффициентов измерение ВАХ по п.2 методики повторяются при температуре (50 ± 3) , 198°C .

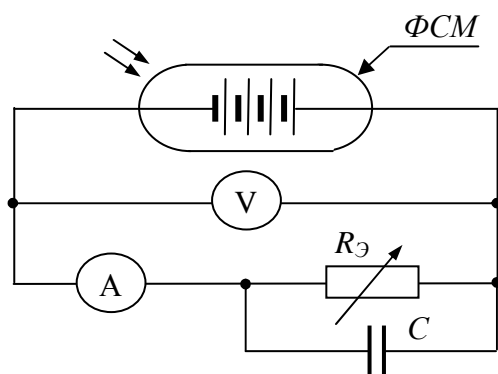


Рисунок 5 – Принципиальная электрическая схема измерения ВАХ ФСМ: $R_{э}$ – регулируемая нагрузка, эквивалентная переменному резистору; C – измерительный конденсаторной расчётной ёмкости

4. Световой поток от осветительного прибора настраивается по фототоку эталонного солнечного элемента, измеренному при стандартных условиях испытания.

5. Схема, методика и средства измерения основных рабочих параметров, освещённости и температуры ФСМ указываются в инструкции по эксплуатации испытательного стенда.

Исходными данными для определения экономической эффективности использования солнечных фотоэлектрических станций являются:

- среднемесячная дневная энергетическая освещённость E (кВт/м²);
- средние годовые суммы суммарной радиации на горизонтальную поверхность $E_{\text{ГОД}}$ (кВт ч/м²);
- среднемесячные суммы суммарной радиации на горизонтальную поверхность $E_{\text{МЕС}}$ (кВт ч/м²).

Технически приемлемый уровень солнечной радиации в настоящее время может быть определён из выражения

$$E \geq 0,2 \text{ кВт} / \text{м}^2. \quad (2)$$

Средняя удельная стоимость фотоэлектрических модулей в настоящее время составляет 100 – 150 руб/Вт.

Для производства электрической энергии переменного тока, кроме собственного фотоэлектрического преобразователя и автономных инверторов необходимы аккумуляторные батареи (АБ) и коммутационная аппаратура, согласующие устройства и др. [2]. Удельная стоимость полноконтактной солнечной фотоэлектрической станции соответственно возрастает до $C_{\text{уд}} = 200000 - 250000$ руб/кВт [1].

Полная стоимость солнечной электростанции определяется по формуле

$$C_{\text{СФЭС}} = C_{\text{уд}} P_{\text{СФЭС}}, \quad (3)$$

где $P_{\text{СФЭС}}$ – мощность СФЭС, кВт.

К капитальным затратам на солнечных электростанций относят стоимость проектных $C_{\text{ПР}}$ и строительных $C_{\text{СТР}}$ работ по определению местоположения и установки станции.

Для определения требуемой мощности СБ необходимо использовать данные не о полной установленной мощности потребителей электроэнергии, а о среднесуточном потреблении электроэнергии W . Эксплуатация автономных солнечных электростанций в режиме многолетней непрерывной работы предполагает отсутствие периодической подзарядки АБ от внешней сети. В этом случае СБ при минимуме её пиковой мощности должна полностью обеспечить электроэнергией автономный объект.

Для определения мощности солнечной электростанции необходимо рассчитать общее количество электроэнергии, которое может выработать один солнечный модуль за расчётный промежуток времени. Для расчёта необходимо значение солнечной радиации, которое берётся за период работы станции, когда солнечная радиация минимальная $E_{\text{мес}}$. В случае круглогодичного использования, как правило, это за декабрь.

Определив значение солнечной радиации за интересующийся период и разделив его на 1000, получается так называемое количество пикочасов, т.е., условное время, в течение которого солнце светит как бы с интенсивностью 1000 Вт/м^2 . Солнечный модуль мощностью P_M в течение выбранного периода вырабатывает количество энергии

$$W_M = \frac{kP_M E}{1000}, \text{ кВтч}, \quad (4)$$

где E – значение инсоляции за выбранный период, кВт ч/м^2 ; k – коэффициент, учитывающий поправку на потерю мощности солнечных элементов при нагреве на солнце, а также наклонное падение лучей на поверхность модулей в течение дня.

Величина $k = 0,5$ летом и $k = 0,7$ в зимний период. Разница в его значении зимой и летом обусловлена меньшим нагревом элементов в зимний период эксплуатации солнечной электростанции [1].

Полная мощность солнечной электростанции определяется по формуле

$$P_{\text{СФЭС}} = \frac{30P_M W}{W_M}, \text{ кВт}, \quad (5)$$

где W – среднесуточное потребление электроэнергии потребителями, кВт ч.

Критерием для определения рационального режима работы солнечной электростанции (круглогодичный или сезонный) служат данные о суммарной радиации на поверхности земли

$$k_{\text{РАД}} = \frac{E_{\text{ГОД}}}{E_{\text{МЕС}}}. \quad (6)$$

При значениях $k > 50$ возможно только сезонное применение солнечных фотоэлектрических станций. В эксплуатационные расходы солнечных электростанций входят затраты на обслуживание $C_{\text{ЭКС}}$ и ремонт $C_{\text{РЕМ}}$

$$C_{\text{РЕМ}} = K_{\text{РЕМ}} P_H (C_{\text{СФЭС}} + C_{\text{СТР}}), \quad (7)$$

где $K_{\text{РЕМ}}$ – коэффициент затрат на ремонт.

Таким образом, рассмотренные основные аналитические выражения позволяет на этапе проектирования определять рабочие параметры фотоэлементов и экономическую эффективность солнечных электростанций, поскольку автономные инверторы, преобразующие напряжение постоянного тока СБ в напряжение переменного тока имеют стоимость составляющую 5-7% от стоимости солнечных электростанций.

Важным является тот факт, что практически от ресурса работы автономных инверторов, который практически определяется характеристиками силовых электронных приборов, зависит ресурс работы СФЭС. Перспективным является направление применение в составе силовых схем автономных инверторов трансформаторов с вращающимся магнитным полем и промежуточных звеньев, генерирующих переменный ток повышенной частоты [3, 4, 5].

Таким образом, в статье раскрыты особенности работы и расчета экономической эффективности СФЭС, а также раскрыты их перспективы применения в Краснодарском крае.

Литература

1. Григораш О.В. Возобновляемые источники электроэнергии / О.В. Григораш, Ю. П. Степура, Р. А. Сулейманов и др. Краснодар, 2012, с. 272.
2. Богатырев Н. И. Преобразователи электрической энергии: основы теории, расчета и проектирования / Н. И. Богатырев, О. В. Григораш, Н. Н. Курзин и др. Краснодар, 2002. с.358.
3. Богатырев Н. И., Григораш О.В., Темников В. Н., и др. Однофазно-трехфазный трансформатор с вращающимся магнитным полем / Патент на изобретение RUS 2335027. 29.06.2007.
4. Богатырев Н. И., Григораш О.В., Вронский О. В., и др. Однофазно-однофазный трансформатор с вращающимся магнитным полем / Патент на изобретение RUS 2335028. 29.06.2007.
5. Степура Ю. П., Григораш О.В., Власенко Е. А., и др. Преобразователи напряжения постоянного тока на реверсивном выпрямителе / Патент на изобретение RUS 2420855. 11.05.2010.
6. Григораш О.В. Ресурсы солнечной энергии, особенности конструкции и работы солнечных фотоэлектрических установок / О.В. Григораш, А.Е. Усков, А.Г. Власов. Труды Кубанского государственного аграрного университета, Краснодар, 2013. Т.1 № 43. С. 263-266.
7. Усков А.Е. Автономные Инверторы солнечных электростанций. монография / А.Е. Усков. Краснодар, 2011. – 119с.

Refences

1. Grigorash O.V. Vozobnovljaemye istochniki jelektrojenergii / O.V. Grigorash, Ju. P. Stepura, R. A. Sulejmanov i dr. Krasnodar, 2012, s. 272.
2. Bogatyrev N. I. Preobrazovateli jelektricheskoy jenergii: osnovy teorii, rascheta i proektirovaniya / N. I. Bogatyrev, O. V. Grigorash, N. N. Kurzin i dr. Krasnodar, 2002. s.358.
3. Bogatyrev N. I., Grigorash O.V., Temnikov V. N., i dr. Odnofazno-trehfaznyj transformator s vrashhajushhimsja magnitnym polem / Patent na izobretenie RUS 2335027. 29.06.2007.
4. Bogatyrev N. I., Grigorash O.V., Vronskij O. V., i dr. Odnofazno-odnofaznyj transformator s vrashhajushhimsja magnitnym polem / Patent na izobretenie RUS 2335028. 29.06.2007.
5. Stepura Ju. P., Grigorash O.V., Vlasenko E. A., i dr. Preobrazovateli naprjazhenija postojannogo toka na reversivnom vyprjamitele / Patent na izobretenie RUS 2420855. 11.05.2010.
6. Grigorash O.V. Resursy solnechnoj jenergii, osobennosti kon-strukcii i raboty solnechnyh fotojelektricheskikh ustanovok / O.V. Grigorash, A.E. Uskov, A.G. Vlasov. Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, Krasnodar, 2013. T.1 № 43. S. 263-266.

7. Uskov A.E. Avtonomnye Invertory solnechnyh jelektrostanacij. monografija / A.E. Uskov. Krasnodar, 2011. – 119s.