

УДК 621.3

05.00.00 Технические науки

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Усков Антон Евгеньевич
старший преподаватель
9184349285@mail.ru
SPIN-код: 7461-9490

Отмахов Георгий Сергеевич
студент

Семёнов Ярослав Александрович
студент

Дауров Адам Вячеславович
студент

Гиркин Артём Сергеевич
студент
*Кубанский государственный аграрный университет,
Краснодар, Россия*

Известно, что сегодня одно из перспективных направлений, позволяющее эффективно решать вопросы энергосбережения, является внедрение возобновляемых источников энергии. Несмотря на то, что в настоящее время солнечные фотоэлектрические станции имеют основной недостаток, связанный с высокой их стоимостью, перспективы применения их в автономных системах электроснабжения очевидны при использовании их в составе комбинированных (гибридных) системах. В таких системах могут применяться и другие виды возобновляемых и традиционных источников, и которые кроме электроэнергии, вырабатывают тепловую энергию. Раскрыты перспективы солнечной энергетики, и для оценки солнечной энергии рассмотрены аналитические выражения позволяющие определить энергию, получаемую от солнечной радиации для конкретных поверхностей. Расчёты начинаются с получения статистических данных полученных на метеостанциях, где ведётся учёт интенсивность суммарного (прямого плюс рассеянного) излучения на горизонтальную поверхность и интенсивности прямого солнечного излучения. Раскрыты особенности расчёта с учётом климатических и территориальных условий местности на примере г.Краснодара. Рассмотренный порядок расчёта является первым этапом проектирования солнечных электростанций. Далее определяется общая мощность потребителей электроэнергии, а также требования к качеству электроэнергии, в том числе бесперебойности электроснабжения, приступают к построению структурной схемы электроснабжения. В этой схеме должны быть предусмотрены основные и резервные источники энергии. Осуществляется выбор основного оборудования солнечной электростанции (солнечных батарей, инверторов,

UDC 621.3

Engineering

TO THE QUESTION OF THE ESTIMATION OF THE SOLAR ENERGY

Uskov Anton Evgenievich
senior lecturer
9184349285@mail.ru
Spin-code 7461-9490

Otmahov Georgii Cergeevich
student

Semenov Yaroslav Aleksandrovich
student

Daurov Adam Viacheslavovich
student

Girkin Artem Sergeevich
student
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

It is known that today one of the promising areas to effectively solve issues of energy saving, is the introduction of renewable energy sources. Despite the fact that the current solar PV stations have the main drawback associated with the high cost, the prospects of their application in autonomous systems of electrosupply are evident when they are used in combined (hybrid) systems. In such systems there may be other types of renewable and traditional sources of electricity. In addition, they produce heat. We have disclosed prospects of solar industry, and also, for solar energy assessment, we have examined analytical expressions allowing defining the energy derived from solar radiation for specific surfaces. Calculations start from obtaining statistical data gathered at meteorological stations which keeps records of the intensity of the total (direct plus diffuse) radiation on a horizontal surface, and the intensity of direct solar radiation. The article presents features of the calculation taking into account the climatic and territorial conditions on the example of the Krasnodar region. The given calculation procedure is the first stage for designing solar power plants. Further, the total capacity is determined by electricity consumers, as well as the quality requirements of electricity, including continuity of supply, embarking to the construction of the block diagram electricity supply. In this scheme, we must provide primary and backup power sources. It selects the main equipment of solar power plant (solar panels, inverters, storage batteries)

аккумуляторных батарей)

Ключевые слова: АВТОНОМНЫЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, СОЛНЕЧНЫЕ ФОТО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ, СОЛНЕЧНЫЕ БАТАРЕИ

Keywords: INDEPENDENT SYSTEMS OF ELECTRO SUPPLY, SOLAR PHOTO-ELECTRIC STATIONS, SOLAR BATTERIES

Doi: 10.21515/1990-4665-124-091

Известно, что сегодня одно из перспективных направлений, позволяющее эффективно решать вопросы энергосбережения, является внедрение возобновляемых источников энергии [1, 2]. Несмотря на то, что в настоящее время солнечные фотоэлектрические станции (СФЭС) имеют основной недостаток, связанный с высокой их стоимостью перспективы применения их в автономных системах электроснабжения (АСЭ) очевидны при использовании их в составе комбинированных (гибридных) системах. В таких системах могут применяться и другие виды возобновляемых и традиционных источников, и которые кроме электроэнергии, вырабатывают тепловую энергию.

С экономической точки зрения, собственнику СФЭС выгодно в настоящее время продавать электроэнергию энергосистеме в дневное время, и покупать её у энергетической компании в ночные часы (из-за заниженных ночных тарифов).

Важные факты глобального масштаба.

1. Известно, что 1 кг кремния, применяемого в солнечных батареях (СБ) вырабатывает за 30 лет около 300 МВт·ч электроэнергии. Если подсчитать нефтяной эквивалент кремния равный 300 МВт·ч с учетом теплоты сгорания нефти 43,7 МДж/кг, то получится 25 т нефти на 1 кг кремния. Если принять КПД тепловых электростанций, работающей на мазуте, 33%, то 1 кг кремния по вырабатываемой электроэнергии эквивалентен примерно 75 тоннам нефти.

2. Срок службы СФЭС по основной компоненте – кремнию может быть увеличен до 50 и более. Для этого потребуется исключить из техно-

логии герметизации полимерные материалы. Единственным ограничением может явиться необходимость их замены на более эффективные. КПД 25 – 30% будет достигнут в производстве в ближайшие 10 лет. В случае замены солнечных элементов кремний может быть использован повторно и количество циклов его использования не имеет ограничений во времени.

Для оценки солнечной энергии целесообразно рассмотреть основные аналитические выражения для расчёта мощности и энергии получаемые от солнечной радиации.

Если бы не было атмосферы, то энергию, поступающую на определённую площадь Земли, расположенную под любым углом β к её поверхности в любой точке и в любой момент дня, легко можно было бы посчитать, поскольку вращение Земли вокруг своей оси и вокруг Солнца детерминировано. Однако наличие атмосферы усложняет расчет. Даже при ясном небе часть солнечного излучения поглощается и рассеивается ею. До Земли доходит в основном излучение в интервале длин волн 0,29–2,5 мкм, и то частично ослабленное и с несколько измененным спектром.

Поэтому на специально оборудованных метеостанциях непрерывно измеряют интенсивность суммарного (прямого плюс рассеянного) излучения на горизонтальную поверхность. Одновременно измеряют интенсивность прямого солнечного излучения.

Ослабление лучей при ясном небе характеризуется так называемой атмосферной массой M , под которой понимается условная длина пути излучения в атмосфере с учетом ее состояния. Длина пути по вертикали (зенитный угол $\theta = 0$), отсчитываемая от уровня моря, принимается равной единице, $M = 1$. Для других значений зенитного угла

$$M \cong \frac{2}{\cos\theta + \sqrt{\cos^2\theta + 0,06}} \cong \frac{1}{\cos\theta}, \quad (1)$$

при этом, второе выражение справедливо лишь до $\theta = 70^\circ$ (т. е. $M = 3$), поскольку при больших значениях существенным становится влияние кривизны поверхности Земли и, соответственно, верхней границы атмосферы.

С учётом, что атмосфера однородна и интенсивность I_M , падающего на Землю прямого излучения перпендикулярно солнечным лучам при $M = 1$ равна 1000 Вт/м^2

$$I_M = 1000 \left(\frac{1000}{1356} \right)^{M-1}. \quad (2)$$

Кривая 1 на рисунке 1 косвенно показывает влияние атмосферной массы на интенсивность излучения, доходящего до поверхности Земли в окрестностях Краснодара. 15 июня высота стояния Солнца в полдень в Краснодаре равна $44,955^\circ$ ($\theta = 45,045^\circ$), следовательно, $M = 1,375$ (формула (1)). Расчет по формуле (2) дает $I_M = 892 \text{ Вт/м}^2$, что неплохо совпадает с опытным значением (850 Вт/м^2) в солнечный полдень на рисунок 1, а.

Не сложно посчитать и интенсивность прямого солнечного излучения в ясный день, падающего на площадку, наклоненную под любым углом β к горизонту:

$$I_\beta = I_M \cdot \cos \xi, \quad (3)$$

где ξ – угол между направлением на Солнце и нормалью к наклонной поверхности. Как правило, поверхность приемника излучения ориентирована строго на юг, тогда

$$\cos \xi = \cos(\varphi - \beta) \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin(\varphi - \beta) \cdot \sin \delta., \quad (4)$$

Кроме прямого излучения I_β на наклонную поверхность даже в ясный день падает рассеянное атмосферой излучение I_p , а также излучение, отраженное от поверхности земли, зданий, сооружений и т. д. $I_{отр}$. Если распределение рассеянного излучения по небосводу равномерное (яркость

неба, за исключением Солнца, одинакова), его энергия, падающая на приемник, зависит только от того, какую часть небосвода он «видит»:

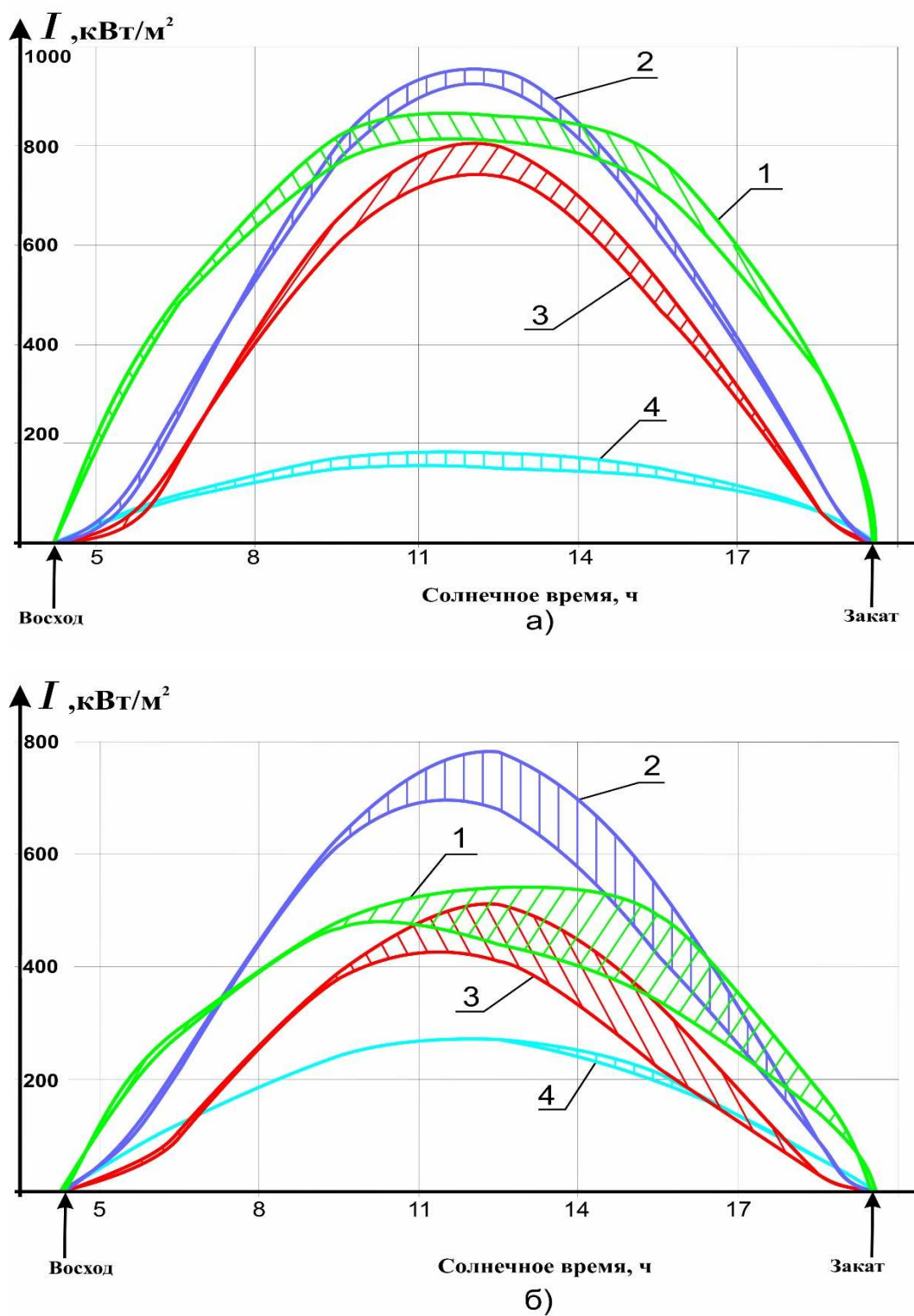


Рисунок 1 – Энергетическая освещенность солнечной радиацией при ясном небе (а) и при средней облачности (б) в июне. Средний арифметический показатель на при-

мере городов Краснодар и Сочи: 1 – прямое излучение I_M на поверхность, перпендикулярную солнечным лучам; 2 – суммарное солнечное излучение I_{Σ}^{top} на горизонтальную поверхность; 3 – прямое излучение на горизонтальную поверхность $I_M \cdot \cos\theta$; 4 – рассеянное излучение на горизонтальную поверхность. Солнечное время восхода и заката указано на 15 июня.

$$I_p = I_d(1 + \cos\beta)/2. \quad (5)$$

В (5) I_d – интенсивность рассеянного излучения на горизонтальную поверхность.

Отраженное от земли излучение, падающее на наклонную поверхность, в предположении равномерного отражения по всем направлениям, зависит от того, под каким углом «видит» землю этот приемник.

$$I_{отр} = \rho(I_{гор} + I_d)(1 - \cos\beta)/2 = \rho I_{\Sigma}^{top} (1 - \cos\beta)/2, \quad (6)$$

где $I_{\Sigma}^{top} = I_{гор} + I_d$, а $I_{гор} = I_M \cdot \cos\theta$. Здесь ρ – коэффициент отражения земной поверхности (альбедо), зависящий от многих факторов и изменяющийся, к примеру, на Урале в диапазоне от 0,2 (летом) до 0,8 (зимой, при наличии снежного покрова).

Таким образом, суммарная интенсивность излучения на наклонную поверхность при ясном небе выражается формулой:

$$I = I_M \cdot \cos\xi + I_d(1 + \cos\beta)/2 + \rho I_{\Sigma}^{top} (1 - \beta)/2. \quad (7)$$

Самым сложным является учет состояния неба, в частности облачности. Надежно предсказать его на каждый день в абсолютном большинстве случаев невозможно. Поэтому в расчетах используются статистические данные, полученные на метеостанциях за длительный (десятки лет) период наблюдений при средней за этот период облачности в данный отрезок времени. В справочниках приводятся так называемые среднемесячные суточные характеристики, полагающие, что в каждый день данного месяца распределение интенсивности I излучения по времени одинаково. Суммарная энергия E , приходящаяся на единицу поверхности за каждые сутки полу-

чается одинаковой, поэтому месячная энергия получается умножением суточной энергии на число суток в данном месяце. При этом обычно указывают среднеквадратичное отклонение величин от их среднего значения, чтобы можно было оценить вероятную ошибку при их использовании для конкретных временных условий.

Принято считать, что для подсчета интенсивности излучения на приёмник в этом случае также можно пользоваться уравнением (7), заменяя в нем мгновенные значения средними для данного момента времени, взятыми из справочника. При этом надо иметь в виду, что время восхода и захода Солнца для наклонной поверхности не совпадает с таковым для горизонтальной, т. е. с действительным временем восхода и захода. Т.е. если представить вертикальный ($\beta = 90^\circ$) приёмник, обращенный строго на юг. Летом в северных широтах Солнце восходит на северо-востоке, а заходит на северо-западе. Понятно, что с момента прохождения Солнцем плоскости приемника при его заходе солнечные лучи уже не будут падать на лицевую сторону приемника, т. е. для него Солнце «зашло», хотя оно все еще освещает горизонтальную поверхность и даже тыльную сторону приемника.

Для приёмника, ориентированного на юг, время восхода и захода определяется при $\xi = 90^\circ$ ($\cos \xi = 0$), т. е. $\cos \omega_c = \pm \operatorname{tg} \delta \cdot \operatorname{tg}(\varphi - \beta)$ (отсчитываемое от полудня время восхода и захода по абсолютной величине одинаково):

$$\Delta \tau_c = \left| \frac{12}{180^\circ} \operatorname{arc} \cos(-\operatorname{tg} \delta \cdot \operatorname{tg}[\varphi - \beta]) \right|. \quad (8)$$

Часто приёмник устанавливают под углом по отношению к горизонту, равным широте местности ($\varphi = \beta$). В этом случае $\Delta \tau_c = 6$ ч, т. е. Солнце начинает освещать прямыми лучами лицевую поверхность приемника за 6

ч до полдня и прекращает освещать через 6 ч после полудня (соответственно, в 6 и 18 часов по солнечному времени).

Обычно представляет интерес не изменение интенсивности излучения I на приемник, а общее количество энергии E , которое он получает за сутки, МДж/(м²сут).

$$E = \int I d\tau = \int I_M \cos \xi d\tau + \int \frac{I_D (1 + \cos \beta)}{2} d\tau + \int \frac{\rho I_\Sigma^{\text{гор}} (1 - \cos \beta)}{2} d\tau. \quad (9)$$

Первый интеграл в правой части уравнения в общем случае берется от времени восхода Солнца до времени его захода для данного угла β установки приемника при подстановке $\cos \xi$, из уравнения (7) и I_M из рисунка 1. Второй и третий интегрируются от времени астрономического восхода до астрономического захода, поскольку рассеянное и отраженное излучения считаются равномерными. В этих же пределах берется и первый интеграл при $\beta=0$ (горизонтальная поверхность).

В справочниках приведены величины прямой, рассеянной и суммарной (прямая плюс рассеянная) радиации за сутки и за месяц на единицу горизонтальной поверхности при средних условиях облачности, полученные численным интегрированием опытных данных, пример которых приведен на рисунке 1 б.

$$\left. \begin{aligned} E_{\text{гор}} &= \int I_{\text{гор}} d\tau = I_M \cos \theta d\tau \\ E_{\Sigma}^{\text{гор}} &= \int (I_{\text{гор}} + I_D) d\tau \\ E_D &= \int I_D d\tau \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Интегрирование во всех случаях ведется от астрономического времени восхода до захода Солнца. Приведены там и коэффициенты отражения ρ от деятельной поверхности. В качестве примера в таблице 1 представлены эти величины для районов г. Краснодара.

Имея, рассмотренные данные, нетрудно посчитать 2-й и 3-й члены уравнения (9), умножив, соответственно, E_D на $(1 + \cos \beta)/2$ и $E_{\Sigma}^{\text{гор}}$ на

$\rho(1-\cos\beta)/2$, поскольку угол β не зависит от времени и содержащие этот угол члены можно вынести за знак интеграла. С первым интегралом (а он часто оказывается самым значимым) дело обстоит сложнее. В нем и интенсивность прямого излучения I_M , падающего на приемник, и угол его падения ξ , зависят от времени суток. Это видно из рисунка 1 б, например, относительно I_M и из формулы (7) относительно $\cos\xi$. К тому же и пределы интегрирования зависят от величины угла β , пусть расчет их и не представляет сложности.

Таблица 1 – Среднемесячные величины прямого $E_{гор}$, рассеянного E_D и суммарного $E_{\Sigma}^{гор}$ излучений на горизонтальную поверхность за сутки, МДж/(м²сут), и среднемесячный коэффициент отражения ρ

месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$E_{\Sigma}^{гор}$	7,74	12,68	18,08	22,92	27,17	29,70	27,24	23,50	19,42	13,94	9,12	6,70
$E_{гор}$	5,42	9,32	13,66	17,55	20,64	22,46	20,24	17,54	14,74	10,53	6,93	4,88
E_D	2,32	3,36	4,42	5,37	6,53	7,24	7	5,96	4,68	3,41	2,19	1,82
ρ	0,32	0,26	0,19	0,16	0,18	0,18	0,18	0,17	0,18	0,17	0,18	0,28

С учетом (9) уравнение (10) общее количество энергии

$$E = \int_{\tau_{восх}}^{\tau_{зах}} I_M \cos\xi d\tau + E_D \frac{1 + \cos\beta}{2} + \rho E_{\Sigma}^{гор} \frac{1 - \cos\beta}{2}. \quad (11)$$

Выше уже говорилось, что при отсутствии атмосферы этот интеграл берется аналитически. Аналитическое решение возможно и при однородной атмосфере (без облаков) с использованием уравнений (1), (2) и (7) (последнее только для поверхности, ориентированной на юг).

При сильном влиянии облачности, например, в условиях г. Краснодара (рисунок 1, б) наиболее надежным представляется численное интегрирование опытных среднемесячных зависимостей от времени суток пря-

мого излучения I_m на перпендикулярную солнечным лучам поверхность (кривая 1 на рисунке 1, б), умноженных на $\cos \xi$ (для поверхности, ориентированной на юг по формуле (7)).

Для случаев, когда известно только суммарное суточное излучение на горизонтальную поверхность E_{Σ}^{rop} диффузионную составляющую вычисляют используя коэффициент ясности $K_T = E_{\Sigma}^{rop} / E_o$, под которым понимается отношение среднемесячной дневной суммарной E_{Σ}^{rop} (прямой плюс рассеянной) радиации, падающей на горизонтальную поверхность на земле (МДж/м²день), к радиации E_o , которая упала бы за день на ту же поверхность при отсутствии атмосферы.

Интеграл от первого члена в скобке даст $\sin \delta \sin \varphi (\tau_{зах} - \tau_{восх})$. Интеграл по времени τ от $\cos \omega d\tau$, учитывая, что $d\tau = 240 d\omega$ (τ подставляется в секундах, поскольку I_o измеряется в Вт/м², т. е. Дж/(м²·с)) даст $-240(\sin \omega_{зах} - \sin \omega_{восх})$. В результате получим

$$E_o = I_o \sin \delta \cdot \sin \varphi (\tau_{зах} - \tau_{восх}) - I_o \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot 240 (\sin \omega_{зах} - \sin \omega_{восх}). \quad (12)$$

При расчетах нужно иметь в виду, что $\tau_{зах} - \tau_{восх}$ равняется полной длительности светового дня в секундах, и углы ω подсчитываются тоже для полной длительности светового дня (т. е. для горизонтальной поверхности).

На этапе проектирования СФЭС должны в начале проводиться расчёты рассмотренные выше. Далее определив общую мощность потребителей электроэнергии, а также требования к качеству электроэнергии, в том числе бесперебойности электроснабжения, приступают к построению структурной схемы электроснабжения. В этой схеме должны быть предусмотрены основные и резервные источники энергии [3].

Оценив возможности местности по солнечной радиации в течение года необходимо осуществить выбор основного оборудования (СБ, инвер-

торов, аккумуляторных батарей). Особенности расчёта и выбора инверторов рассмотрены в [4, 5].

Таким образом, рассмотренные в статье аналитические выражения по определению солнечной энергии повысят эффективность предпроектных работ по созданию комбинированных систем АСЭ, выполненных с использованием СФЭС.

Список литературы

1. Григораш О.В., Степура Ю.П., Усков А.Е., Квитко А.В. Возобновляемые источники электроэнергии: термины, определения, достоинства и недостатки // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2011. - № 32. – С. 189-192.
2. Григораш О.В., Тропин В.В., Оськина А.С. Об эффективности и целесообразности использования возобновляемых источников энергии в Краснодарском крае // Политематический сетевой электронный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар: КубГАУ, 2012. – № 83 (09). С. 188 – 199.
3. Григораш О.В., Божко С.В., Нормов Д.А. и др. Модульные системы гарантированного электроснабжения. Краснодар. 2005. С. 306.
4. Богатырев Н.И., Григораш О.В., Курзин Н.Н. и др. Преобразователи электрической энергии: основы теории, расчета и проектирования. Краснодар. 2002. С.358.
5. Григораш О. В. Выбор оптимальной структуры систем автономного электроснабжения / О. В. Григораш, С. А. Симоненко, А. Е. Усков // Механизация и электрификация с.-х. – 2007. – № 8. – С. 31–33.
6. Григораш О. В. Особенности расчета КПД и МГП статических преобразователей / О. В. Григораш, А. А. Шевченко, А. Е. Усков, В. В. Энговатова // Тр. КубГАУ. – 2011. – № 3. – С. 248–252.
7. Григораш О. В. Универсальные статические преобразователи электроэнергии / О. В. Григораш, А. В. Бутенко, А. Е. Усков // Тр. КубГАУ. – 2008. – № 1. – С. 55–57.
8. Григораш О. В. Статические преобразователи и стабилизаторы автономных систем электроснабжения: монография / О. В. Григораш, Ю. П. Степура, А. Е. Усков. – Краснодар, 2011. – 188 с.
9. Пат. РФ № 2414802, МПК H02M 7/539. Преобразователь напряжения постоянного тока с промежуточным звеном повышенной частоты / Григораш О. В., Степура Ю. П., Усков А. Е., Власенко Е. А., Винников А. В., заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет». – № 2010112018/07, заявл. 29.03.2010; опубл. 20.03.2011; бюл. № 8. – 8 с.
10. Пат. РФ № 2417471, МПК H02F30/14. Однофазно–трёхфазный трансформатор с вращающимся магнитным полем / Григораш О. В., Усков А. Е., Власенко Е. А., Бутенко А. В., Григораш А. О., заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет». – № 2010102288/07 заявл. 25.10.2010; опубл. 27.04.2011; бюл. № 12. – 5 с.
11. Пат. РФ № 2420854, МПК H02M7/539. Однофазный автономный инвертор с широтно–импульсной модуляцией / Григораш О. В., Степура Ю. П., Усков А. Е., Тонкошкоров Ю. Н., Сулейманов А. Э., заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Кубан-

ский государственный аграрный университет». – № 2010119105/07, заявл. 11.05.2010; опубл. 10.06.2011; бюл. № 16. – 7 с.

12. Пат. РФ № 2420855, МПК H02M7/539. Преобразователь напряжения постоянного тока на реверсивном выпрямителе / Степура Ю. П., Григораш О. В., Власенко Е. А., Усков А. Е., Перенко Ю. М., заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет». – № 201011906/07, заявл. 11.05.2010; опубл. 10.06.2011; бюл. № 16. – 9 с.

13. Пат. РФ № 2421871, МПК H02M7/539. Автономный инвертор с широтно-импульсной модуляцией / Григораш О. В., Степура Ю. П., Усков А. Е., Тонкошкур Ю. Н., Сулейманов А. Э. заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет». – № 2010119202/07, заявл. 12.05.2010; опубл. 20.06.2011; бюл. № 17.– 7 с.

14. Пат. РФ № 2426216, МПК H02M 7/53. Трёхфазный инвертор / Григораш О. В., Степура Ю. П., Власенко Е. А., Усков А. Е., Шиян Ю. В., заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет». – № 2010105573/07, заявл. 16.02.2010; опубл. 10.08.2011; бюл. № 22. – 9 с.

15. Пат. РФ № 2457598, МПК H02J 9/06. Устройство бесперебойного электроснабжения / Григораш О. В., Степура Ю. П., Усков А. Е., Соболев А.Н., Павлов И. А., заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет». – № 2011123069/07, заявл. 07.06.2011; опубл. 27.07.2012; бюл. № 21. – 6 с.

16. Пат. РФ № 2488938, МПК H02M 7/539. Преобразователь напряжения постоянного тока в трёхфазное напряжение переменного тока на реверсивном выпрямителе / Усков А. Е., Власов А. Г., Буторина Е. О., заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет». – № 2012110439/07, заявл. 19.03.2012; опубл. 27.07.2013; бюл. № 21. – 10 с.

17. Пат. РФ № 2494437, МПК G05F 5/04. Устройство для обеспечения параллельной работы автономных инверторов солнечных электростанций / Григораш О. В., Усков А. Е., Власов А. Г., Буторина Е. О., Сыроваткин А. Р., заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет». – № 2012128406/08, заявл. 05.07.2012; опубл. 27.09.2013; бюл. № 27. – 10 с.

18. Упрощенный расчет однофазно-трёхфазного трансформатора с вращающимся магнитным полем: свидетельство об официальной регистрации для ЭВМ № 2012617112, Российская Федерация / А. Е.Усков, заявитель и правообладатель ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет». – № 2012614803; заявл. 13.06.2012; зарегистр. 08.08.2012.

19. Усков А. Е. Выбор оптимальной структуры системы автономного электроснабжения / А. Е. Усков // Механизация и электрификация с.-х. – 2007. – № 8. – С. 30–31.

20. Усков А. Е. Автономные инверторы солнечных электростанций: монография / А. Е. Усков. – Краснодар: КубГАУ, 2011. – 126 с.

21. Усков А. Е. Обоснование выбора параметров электроэнергии автономных систем электроснабжения // Тр. КубГАУ. – 2010. – №6. – С. 121–124.

22. Усков А.Е. Статические преобразователи электроэнергии с улучшенными эксплуатационно-техническими характеристиками / А.Е. Усков, П.Г. Корзенков, А.П. Донсков // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №03(097). С. 237 – 248. – IDA [article ID]: 0971403016. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/03/pdf/16.pdf>, 0,75 у.п.л.

23. Усков А.Е. Потенциал, особенности работы и экономическая эффективность солнечных фотоэлектрических станций / А.Е. Усков, Е.О. Буторина, Е.Г. Беспалов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного

го аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №04(098). С. 353 – 363. – IDA [article ID]: 0981404027. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/04/pdf/27.pdf>, 0,688 у.п.л.

24. Усков А.Е. Солнечная энергетика: состояние и перспективы / А.Е. Усков, А.С. Гиркин, А.В. Дауров // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №04(098). С. 342 – 352. – IDA [article ID]: 0981404026. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/04/pdf/26.pdf>, 0,688 у.п.л.

25. Григораш О.В. Инверторы солнечных электростанций с улучшенными техническими характеристиками / О.В. Григораш, А.Е. Усков, Я.А. Семёнов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №05(099). С. 101 – 111. – IDA [article ID]: 0991405006. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/05/pdf/06.pdf>, 0,688 у.п.л.

26. Статический преобразователь, требования и конструктивные отличия / А.Е. Усков, В.А. Горбачёв, А.В. Дизендорф, С.С. Лучков // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №10(104). С. 476 – 487. – IDA [article ID]: 1041410034. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/10/pdf/34.pdf>, 0,75 у.п.л.

27. Усков А.Е. Солнечные фотоэлектрические станции как основной источник энергии / А.Е. Усков // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №10(104). С. 467 – 475. – IDA [article ID]: 1041410033. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/10/pdf/33.pdf>, 0,562 у.п.л.

References

1. Grigorash O.V., Stepura Ju.P., Uskov A.E., Kvitko A.V. Vozobnovljaemye istochniki jelektrojenergii: terminy, opredelenija, dostoinstva i nedostatki // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2011. - № 32. – S. 189-192.

2. Grigorash O.V., Tropin V.V., Os'kina A.S. Ob jeffektivnosti i celesoobraznosti ispol'zovanija vozobnovljaemyh istochnikov jenergii v Krasnodarskom krae // Politematicheskij setevoj jelektronnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU). – Krasnodar: KubGAU, 2012. – № 83 (09). S. 188 – 199.

3. Grigorash O.V., Bozhko S.V., Normov D.A. i dr. Modul'nye sistemy garantirovannogo jelektrosnabzhenija. Krasnodar. 2005. S. 306.

4. Bogatyrev N.I., Grigorash O.V., Kurzin N.N. i dr. Preobrazovateli jelektricheskoj jenergii: osnovy teorii, rascheta i proektirovanija. Krasnodar. 2002. S.358.

5. Grigorash O. V. Vybor optimal'noj struktury sistem avtonomnogo jelektrosnabzhenija / O. V. Grigorash, S. A. Simonenko, A. E. Uskov // Mehanizacija i jelektrifikacija s.-h. – 2007. – № 8. – S. 31–33.

6. Grigorash O. V. Osobennosti rascheta KPD i MGP staticheskikh preobrazovatelej / O. V. Grigorash, A. A. Shevchenko, A. E. Uskov, V. V. Jengovatova // Tr. KubGAU. – 2011. – № 3. – S. 248–252.

7. Grigorash O. V. Universal'nye staticheskie preobrazovateli jelektrojenergii / O. V. Grigorash, A. V. Butenko, A. E. Uskov // Tr. KubGAU. – 2008. – № 1. – S. 55–57.

8. Grigorash O. V. Sticheskie preobrazovateli i stabilizatory avtonomnyh sistem jelektrosnabzhenija: monografija / O. V. Grigorash, Ju. P. Stepura, A. E. Uskov. – Krasnodar, 2011. – 188 s.

9. Pat. RF № 2414802, MPK N02M 7/539. Preobrazovatel' naprjazhenija postojanno-go toka s promezhutochnym zvenom povyshennoj chastoty / Grigorash O. V., Stepura Ju. P., Uskov A. E., Vlasenko E. A., Vinnikov A. V., zajavitel' i patentoobladatel' FGBOU VPO «Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet». – № 2010112018/07, zajavl. 29.03.2010; opubl. 20.03.2011; bjul. № 8. – 8 s.

10. Pat. RF № 2417471, MPK N02F30/14. Odnofazno–trjohfaznyj transformator s vrashhajushhimsja magnitnym polem / Grigorash O. V., Uskov A. E., Vlasenko E. A., Butenko A. V., Grigorash A. O., zajavitel' i patentoobladatel' FGBOU VPO «Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet». – № 2010102288/07 zajavl. 25.10.2010; opubl. 27.04.2011; bjul. № 12. – 5 s.

11. Pat. RF № 2420854, MPK H02M7/539. Odnofaznyj avtonomnyj invertor s shirotno–impul'snoj moduljaciej / Grigorash O. V., Stepura Ju. P., Uskov A. E., Tonkosh-kurov Ju. N., Sulejmanov A. Je., zajavitel' i patentoobladatel' FGBOU VPO «Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet». – № 2010119105/07, zajavl. 11.05.2010; opubl. 10.06.2011; bjul № 16. – 7 s.

12. Pat. RF № 2420855, MPK H02M7/539. Preobrazovatel' naprjazhenija postojanno-go toka na reversivnom vyprjamatele / Stepura Ju. P., Grigorash O. V., Vlasenko E. A., Uskov A. E., Perenko Ju. M., zajavitel' i patentoobladatel' FGBOU VPO «Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet». – № 201011906/07, zajavl. 11.05.2010; opubl. 10.06.2011; bjul. № 16. – 9 c.

13. Pat. RF № 2421871, MPK H02M7/539. Avtonomnyj invertor s shirotno–impul'snoj moduljaciej / Grigorash O. V., Stepura Ju. P., Uskov A. E., Tonkoshkurov Ju. N., Sulejmanov A. Je. zajavitel' i patentoobladatel' FGBOU VPO «Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet». – № 2010119202/07, zajavl. 12.05.2010; opubl. 20.06.2011; bjul № 17.– 7 s.

14. Pat. RF № 2426216, MPK N02M 7/53. Trjohfaznyj invertor / Grigorash O. V., Stepura Ju. P., Vlasenko E. A., Uskov A. E., Shijan Ju. V., zajavitel' i patentooblada-tel' FGBOU VPO «Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet». – № 2010105573/07, zajavl. 16.02.2010; opubl. 10.08.2011; bjul. № 22. – 9 s.

15. Pat. RF № 2457598, MPK H02J 9/06. Ustrojstvo besperebojnogo jelektrosnabzhenija / Grigorash O. V., Stepura Ju. P., Uskov A. E., Sobol' A.N., Pavlov I. A., zajavi-tel' i patentoobladatel' FGBOU VPO «Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj uni-versitet». – № 2011123069/07, zajavl. 07.06.2011; opubl. 27.07.2012; bjul. № 21. – 6 s.

16. Pat. RF № 2488938, MPK N02M 7/539. Preobrazovatel' naprjazhenija postojanno-go toka v trjohfaznoe naprjazhenie peremennogo toka na reversivnom vyprjamatele / Uskov A. E., Vlasov A. G., Butorina E. O., zajavitel' i patentoobladatel' FGBOU VPO «Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet». – № 2012110439/07, zajavl. 19.03.2012; opubl. 27.07.2013; bjul. № 21. – 10 s.

17. Pat. RF № 2494437, MPK G05F 5/04. Ustrojstvo dlja obespechenija paral-lel'noj raboty avtonomnyh invertorov solnechnyh jelektrostancij / Grigorash O. V., Uskov A. E., Vlasov A. G., Butorina E. O., Syrovatkin A. R., zajavitel' i patentoobla-datel' FGBOU VPO «Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet». – № 2012128406/08, zajavl. 05.07.2012; opubl. 27.09.2013; bjul. № 27. – 10 s.

18. Uproshhennyj raschet odnofazno-trjohfaznogo transformatora s vrashhajushhimsja magnitnym polem: svidetel'stvo ob oficial'noj registracii dlja JeVM№ 2012617112, Rossijskaja Federacija / A. E.Uskov, zajavitel' i pravoobladatel' FGBOU VPO «Kubanskij

gosudarstvennyj agrarnyj universitet». – № 2012614803; zajavl. 13.06.2012; zaregistr. 08.08.2012.

19. Uskov A. E. Vybora optimal'noj struktury sistemy avtonomnogo jelektrosnabzhenija / A. E. Uskov // *Mehanizacija i jelektrifikacija s.-h.* – 2007. – № 8. – S. 30–31.

20. Uskov A. E. Avtonomnye inventory solnechnyh jelektrostantsij: monografija / A. E. Uskov. – Krasnodar: KubGAU, 2011. – 126 s.

21. Uskov A. E. Obosnovanie vybora parametrov jelektroenergii avtonomnyh sistem jelektrosnabzhenija // *Tr. KubGAU.* – 2010. – №6. – S. 121–124.

22. Uskov A.E. Sticheskie preobrazovateli jelektroenergii s uluchshennymi jekspluacionno-tehnicheskimi harakteristikami / A.E. Uskov, P.G. Korzenkov, A.P. Donskov // *Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs].* – Krasnodar: KubGAU, 2014. – №03(097). S. 237 – 248. – IDA [article ID]: 0971403016. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2014/03/pdf/16.pdf>, 0,75 u.p.l.

23. Uskov A.E. Potencial, osobennosti raboty i jekonomicheskaja jeffektivnost' solnechnyh fotojelektricheskikh stancij / A.E. Uskov, E.O. Butorina, E.G. Bespalov // *Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs].* – Krasnodar: KubGAU, 2014. – №04(098). S. 353 – 363. – IDA [article ID]: 0981404027. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2014/04/pdf/27.pdf>, 0,688 u.p.l.

24. Uskov A.E. Solnechnaja jenergetika: sostojanie i perspektivy / A.E. Uskov, A.S. Girkin, A.V. Daurov // *Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs].* – Krasnodar: KubGAU, 2014. – №04(098). S. 342 – 352. – IDA [article ID]: 0981404026. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2014/04/pdf/26.pdf>, 0,688 u.p.l.

25. Grigorash O.V. Inventory solnechnyh jelektrostantsij s uluchshennymi tehniceskimi harakteristikami / O.V. Grigorash, A.E. Uskov, Ja.A. Semjonov // *Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs].* – Krasnodar: KubGAU, 2014. – №05(099). S. 101 – 111. – IDA [article ID]: 0991405006. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2014/05/pdf/06.pdf>, 0,688 u.p.l.

26. Sticheskie preobrazovateli, trebovanija i konstruktivnye otlichija / A.E. Uskov, V.A. Gorbachjov, A.V. Dizendorf, S.S. Luchkov // *Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs].* – Krasnodar: KubGAU, 2014. – №10(104). S. 476 – 487. – IDA [article ID]: 1041410034. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2014/10/pdf/34.pdf>, 0,75 u.p.l.

27. Uskov A.E. Solnechnye fotojelektricheskie stancii kak osnovnoj istochnik jenerгии / A.E. Uskov // *Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs].* – Krasnodar: KubGAU, 2014. – №10(104). S. 467 – 475. – IDA [article ID]: 1041410033. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2014/10/pdf/33.pdf>, 0,562 u.p.l.