Аграрный научный журнал. 2023. № 6. С. 156–162
Agrarian Scientific Journal. 2023;(6):156–162

АГРОИНЖЕНЕРИЯ

Научная статья
УДК 620.92
doi: 10.28983/asj.y2023i6pp156-162

Совершенствование методики определения основных параметров солнечных батарей

Сакен Койшыбаевич Шерьязов[1], Ольга Анатольевна Гусева[1], Алексей Сергеевич Чигак[2], Арсен Халитович Доскенов[3]
[1] ФГБОУ ВО «Южно-Уральский ГАУ», Челябинская область, г. Троицк, Россия
[2] АО «Электросеть», г. Челябинск, Россия
[3] ООО «Лаборатория вариатор», г. Челябинск, Россия
e-mail: s.m.bakirov@mail.ru

Аннотация. В статье приводится необходимость надежного и экономичного электроснабжения сельских потребителей. При этом важно развивать распределенную генерацию, в том числе на базе возобновляемых источников, с использованием солнечной и ветровой энергии для снижения затрат. Показана необходимость выбора солнечных батарей с оптимальными параметрами с учетом влияния внешних факторов. Для определения действительной вырабатываемой мощности солнечной батарей вводится понятие «потери мощности при преобразовании потока солнечного излучения в электрическую мощность». Установлено, что недостаточные исследования режимных параметров фотоэлементов, в частности температуры его нагрева и соответствующего изменения КПД с учетом внешних факторов не позволяют выбрать модуль с эффективной мощностью. Для исследования параметров солнечной батарей представлена схема замещения и методы определения ее параметров. Приведена установленная зависимость превышения температуры СМ над температурой окружающей среды от мощности солнечного излучения, которая легла в основу усовершенствованной методики определения параметров солнечных батарей. Приведенные результаты исследования позволяют на стадий проектирования определить ожидаемую мощность солнечной фотоэлектрической установки и выбрать ее оптимальные параметры.

Ключевые слова: солнечная электростанция; фотоэлектрическая установка; солнечная батарея; потери мощности; солнечное излучение; температура фотоэлементов.

Для цитирования: Шерьязов С. К., Гусева О. А., Чигак А. С., Доскенов А. Х. Совершенствование методики определения основных параметров солнечных батарей // Аграрный научный журнал. 2023. № 6. С. 156–162. http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i6pp156-162.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

Improving the methodology for determining the main parameters of solar batteries

Saken K. Sheryazov[1], Olga A. Guseva[1], Aleksey S. Chigak[2], Arsen Kh. Doskenov[3]
[1] South Ural State Agrarian University, Chelyabinsk Region, Troitsk, Russia
[2] AO “Elektroset”, Chelyabinsk, Russia
[3] OOO “ Laboratoriya variator”, Chelyabinsk, Russia
e-mail: s.m.bakirov@mail.ru

Abstract. The article cites the need for a reliable and economical power supply to rural consumers. At the same time, it is important to develop distributed generation, including on the basis of renewable sources, using solar and wind energy to reduce costs. The necessity of choosing solar panels with optimal parameters, taking into account the influence of external factors, is shown. To determine the actual generated power of solar batteries, the concept of “power loss during the conversion of the solar radiation flux into electrical power” is introduced. It has been established that insufficient studies of the regime parameters of photocells, in particular, the temperature of its heating and the corresponding change in efficiency, taking into account external factors, do not allow choosing a module with effective power. To study the parameters of solar batteries, an equivalent circuit and methods for determining its parameters are presented. The established dependence of the excess of the SM temperature over the ambient temperature on the power of solar radiation is presented, which formed the basis of an improved method

©Шерьязов С. К., Гусева О. А., Чигак А. С., Доскенов А. Х., 2023

for determining the parameters of solar batteries. The presented results of the study allow at the design stages to determine the expected power of a solar photovoltaic installation and choose its optimal parameters.

Keywords: solar power plant; photovoltaic installation; solar battery; power loss; solar radiation; photocell temperature.

For citation: Sheryazov S. K., Guseva O. A., Chigak A. S., Doskenov A. Kh. Improving the methodology for determining the main parameters of solar batteries. Agrarnyy nauchnyy zhurnal = The Agrarian Scientific Journal. 2023;(6):156–162. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i6pp156-162.

Введение. Надежное и экономичное электроснабжение потребителей является важной задачей. Надежность электроснабжения, особенно в сельском хозяйстве, является актуальной [1]. При этом сокращение радиуса действия сельской электрической сети и затрат на передачу электроэнергии является комплексной задачей.

Для решения комплексной задачи развивается распределенная генерация, призванная снижать потери электроэнергии при передаче ее и затрат на потребляемую электроэнергию в целом, что соответствует требованиям действующему Федеральному закону РФ № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» [2].

В системе распределенной генерации широко используются возобновляемые источники. При этом активно используются ветровая и солнечная энергия. В мире действует огромный парк солнечной и ветровой электростанций [3–6].

За последние два десятилетия фотовольтаика превратилась из нишевого рыночного продукта в один из основных источников производства электроэнергии. Динамика роста становится менее зависимой от правительственных программ стимулирования и в большей степени определяется рыночными инвестиционными решениями.

В 2020 году глобальная установленная мощность солнечной фотоэлектрической энергетики достигла более 600 ГВт с совокупным годовым темпом роста около 40 % с 2000 года, и она остается вторым по установленной мощности сектором возобновляемой энергетики после ветроэнергетики (650 ГВт). Фотоэлектрические системы доминируют в общем объеме мощности возобновляемых источников с вводами мощностей больше, чем все ископаемое топливо и ядерное топливо вместе [7].

Исходя из сегодняшнего уровня, анализ REmap IRENA показывает, что совокупные мощности солнечных PV установок могут вырасти почти в шесть раз в течение следующих десяти лет, достигнув в 2840 ГВт к 2030 году и увеличившись до 8519 ГВт в 2050 году. На глобальном уровне около 60 % от общей солнечной фотоэлектрической мощности в 2050 году будут сетевыми, а остальные 40 % будут распределенными (крышевыми). Несмотря на то, что в 2050 году все еще преобладают сетевые проекты, анализ REmap предполагает, что распределенные солнечные фотоэлектрические установки будут расти более быстрыми темпами благодаря политическим мерам и мерам поддержки, а также вовлечению потребителей в производство чистой энергии [8].

В России данное направление развивается благодаря механизмам стимулирования использования солнечной энергии на оптовом и розничном рынке, регламентированным нормативными документами и Федеральными законами РФ. Установленная мощность солнечной электростанции составляет более 1300 МВт, 0,55 % от всей мощности ЕЭС России. Эти электростанции являются сетевыми и вырабатывают электроэнергию на оптовый рынок.

При наличии централизованного электроснабжения, владельцам ФЭУ появилась возможность продавать излишне выработанную электроэнергию, согласно Федеральному закону № 471-ФЗ [9, 10]. Это позволяет максимально использовать солнечную энергию без дорогостоящих аккумуляторов, что в целом снижает затраты.

Для сельскохозяйственных потребителей развитие автономной системы электроснабжения важно в случае отсутствия централизованной системы электроснабжения. В этом случае использование фотоэлектрических установок (ФЭУ) позволит замещать дорогостоящие органические топлива для автономных источников и снизить затраты на потребляемую электроэнергию [11].

Таким образом, объективно существуют возможности использования солнечной энергии в системе электроснабжения сельских объектов от ФЭУ. При этом важно повысить эффективность

©Шерьязов С. К., Гусева О. А., Чигак А. С., Доскенов А. Х., 2023

использования солнечной энергии для электроснабжения путем выбора солнечных модулей (СМ) и других элементов, входящих в состав ФЭУ с оптимальными параметрами.

Известные методы позволяют определить мощность, вырабатываемую СМ без учета влияния внешних факторов. Так, при эксплуатации ФЭУ величина солнечной радиации и температура окружающей среды оказывают влияние на выходные параметры СМ, в первую очередь на нагрев солнечных элементов. Величина КПД СМ зависит от его температуры, так повышение температуры фотоэлемента на 10 °С приводит к снижению его эффективности почти в два раза [12].

Снижение КПД в связи с ростом температуры СМ представляется как потеря мощности при преобразовании потока солнечного излучения в электрическую мощность. Недостаточные исследования режимных параметров СМ, в частности температуры его нагрева и соответствующего изменения КПД с учетом внешних факторов не позволяют выбрать модуль с эффективной мощностью.

Производителем СМ учитывается влияние температуры на его работу, для этого в паспорте приводятся температурный коэффициент мощности (ТКМ) для условий при стандартной температуре (STC), равной 25 °С. Однако при выборе модуля по мощности важным является учет его превышения температуры над температурой STC.

Режимные параметры СМ, в частности температуры его нагрева и соответствующего изменения КПД с учетом условий эксплуатации недостаточно исследованы. При этом для эффективного использования солнечной энергии необходимо решить комплекс научных задач, связанных с обоснованием и выбором оптимальных параметров и режимов работы ФЭУ с учетом условий внешних факторов в ходе их эксплуатации.

Выбор СМ по мощности производится на стадий проектирования. При этом существующие методы не позволяют определить основные режимные параметры СМ в составе ФЭУ. Тогда целью исследования является совершенствование существующей методики определения основных параметров СМ

Методика исследований. Превышение температуры СМ над температурой STC приводит к снижению мощности модуля. В тёплое время года модули работают в более тяжелых условиях, чем зимой. Таким образом, при определении его мощности необходимо учитывать и температуру окружающей среды [13].

В паспорте СМ указываются пиковая мощность и КПД в принятых стандартных условиях (STC), когда температура СМ составляет 25 °С и мощность солнечного излучения 1000 Вт/м^2. В общем случае КПД СМ выражается как

$$\eta_{CM} = \frac{P_{CM.д}}{H}, \quad (1)$$

где $P_{CM.д}$ – действительная вырабатываемая мощность; H – мощность солнечного излучения, падающая на рабочую поверхность.

Для оценки действительно вырабатываемой мощности вводим понятие потери мощности СМ. Тогда действительную выработку СМ можно определить следующим образом:

$$P_{CM.д} = P_{STC} - \Delta P, \quad (2)$$

где P_{STC} – максимальная мощность СМ при стандартных условиях, указанных в паспорте; ΔP – потери мощности СМ.

В паспорте СМ приводится γ – температурный коэффициент мощности (ТКМ), показывающий изменение вырабатываемой мощности при изменении температуры модуля относительно 25 °С. Параметр ТКМ является важной характеристикой и показывает, насколько он совершенен как преобразователь, поскольку нагрев СМ приводит к снижению КПД.

Таким образом, при увеличении температуры СМ выше 25 °С вырабатываемая мощность будет уменьшаться на величину потерь

$$\Delta P = P_{STC} \cdot |\gamma| \cdot (T - T_{STC})/100\ \% = P_{STC} \cdot |\gamma| \cdot \Delta t_{25}/100\ \%, \quad (3)$$

где T – температура СМ; γ – температурный коэффициент максимальной мощности СМ, %/°С, принимается по модулю, поскольку в паспорте указывается с отрицательным

©Шерьязов С. К., Гусева О. А., Чигак А. С., Доскенов А. Х., 2023

знаком T_{STC} = 25 °C; Δt_{25} – превышение температуры СМ над температурой STC, равной 25°C.

Результаты исследования потери мощности СМ с учётом превышения его температуры над температурой STC при неизменной величине ТКМ приведены на рис. 1.

Анализ графика показывает, что при повышении температуры СМ, потери его максимальной мощности увеличиваются. Так, например, при повышении температуры над величиной STC на 40 °C, величина потери мощности может составить 20 % от паспортной величины, что приводит к снижению максимальной мощности. Причем, зависимость носит линейный характер.

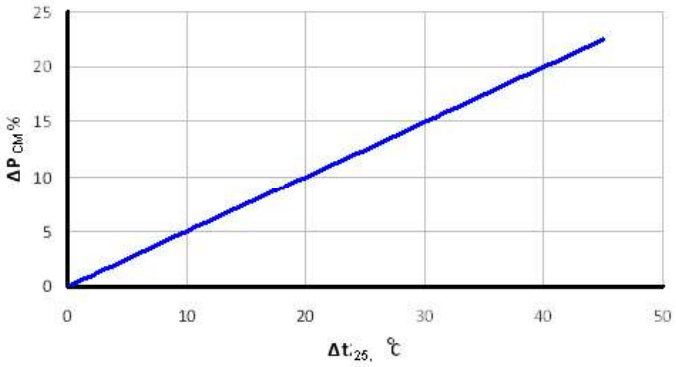

Рис. 1. Зависимость потери мощности СМ от превышения температуры относительно STC

Превышение температуры СМ над 25 °C остается неизвестным, поэтому требуется исследование ожидаемой температуры и потери мощности СМ в процессе преобразования солнечной энергии. Недостаточные исследования режима работы СМ не позволяют установить необходимые зависимости, и изменения других параметров СМ, как, например, напряжения на его выходе.

Для исследования режима работы СМ широкое распространение получили упрощенные математические модели, построенные на основе эквивалентных электрических схем замещения фотоэлементов (ФЭ). Анализ схем замещения показывает, что для повышения точности моделирования требуются более сложные схемы ФЭ. Так, для моделирования режима работы ФЭ рассмотрим схему замещения, представленную на рис. 2, которая является компромиссом между простотой и точностью [13, 14].

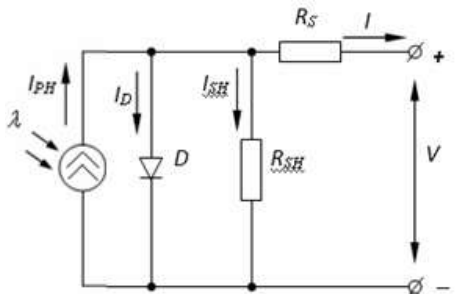

Рис. 2. Эквивалентная схема замещения реального ФЭ

Для исследования режимных параметров СМ разработана модель на основе приведенной эквивалентной схемы замещения. Для СМ, состоящего из N_S последовательных и N_P параллельно соединенных ФЭ ток связан с напряжением:

$$I = N_P \cdot I_{PH} - N_P \cdot I_0 \cdot \left[\exp\left(\frac{q(V + I \cdot R_S)}{N_S \cdot A \cdot k \cdot T} \right) - 1 \right] - \frac{V + I \cdot R_S}{R_{SH}}, \quad (4)$$

где I, V – ток и напряжение на клеммах СМ; I_{PH} – фототок; I_0 – обратный ток насыщения диода; T – абсолютная температура ФЭ; V – напряжения на выходе ФЭ; q – заряд электрона; k – постоянная Больцмана; A – коэффициент идеальности диода; R_S и R_{SH} – последовательное и параллельное сопротивления ФЭ, соответственно.

©Шерьязов С. К., Гусева О. А., Чигак А. С., Доскенов А. Х., 2023

В уравнении содержатся два неизвестных параметра I_{PH} и I_0, которые в свою очередь зависят от величины солнечной энергии H_T и температуры T ФЭ:

$$I_{PH} = \left[\frac{R_{SH} + R_S}{R_{SH}} \cdot I_{SC_STC} + k_I \cdot (T - T_{STC})\right] \cdot \frac{H}{H_{STC}}; \; I_0 = \frac{I_{SC_STC} + k_I \cdot (T - T_{STC})}{\exp\left(\frac{V_{OC_STC} + k_V \cdot (T - T_{STC})}{A \cdot V_T}\right) - 1}, \quad (5)$$

где I_{SC_STC} – ток короткого замыкания фотоэлемента при стандартных условиях; k_I – температурный коэффициент тока короткого замыкания; E_G – ширина запрещенной энергетической зоны полупроводника.

В приведенных выражениях неизвестна зависимость температуры СМ от внешних факторов и требуется исследовать влияние температуры на показатели СМ. Важным является установить зависимость температуры солнечного элемента от внешних факторов, поступающей солнечной радиации и температуры окружающей среды.

Результаты исследований. По результатам экспериментальных исследований и данных Гидрометцентра установлены зависимости температуры модуля от величины мощности солнечного излучения для различных месяцев, представленные на рис. 3.

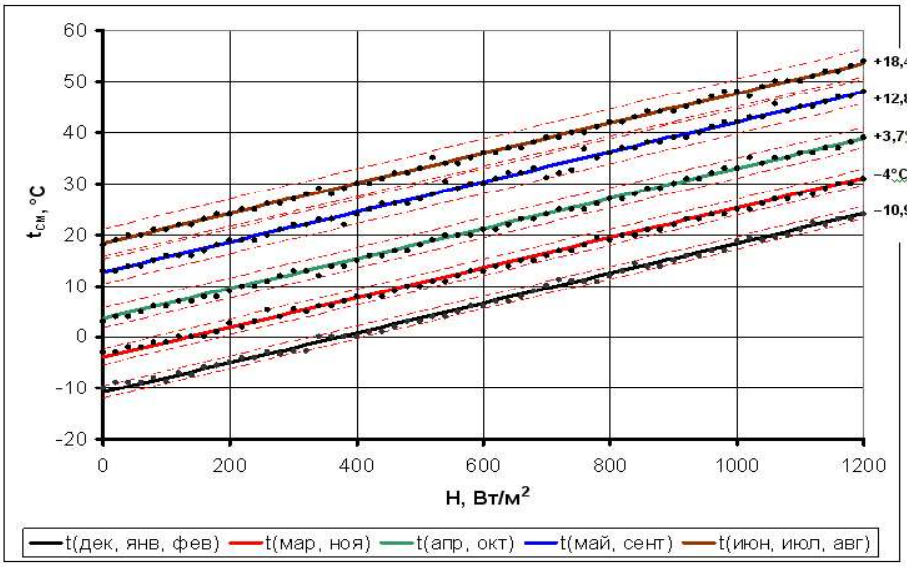

Рис. 3. Зависимость температуры модуля от величины мощности солнечного излучения

Анализ данных показывает, что с ростом температуры окружающей среды и мощности солнечного излучения растет температура нагрева СМ, и исследуемая зависимость носит линейный характер. Полученная линия тренда, хорошо согласуется с опытными данными и на уровне 5 % значимости.

При помощи приведенных графиков можно найти температуру модуля для любого месяца. Однако необходимость учёта сезонности и пространственной ограниченности (графики справедливы только для температурных условий Южного Урала) требует другой способ нахождения температуры модуля в зависимости от величины мощности солнечного излучения и температуры окружающей среды, вне зависимости от указанных ограничений.

Для удобства предлагается нахождение температуры модуля через зависимость превышения его температуры над температурой окружающей среды от мощности солнечного излучения, которая может сохраняться в широком интервале мощностей солнечного излучения независимо времени года. Результаты исследования приведены на рис. 4.

Анализ результатов опыта позволил аппроксимировать данные и получить необходимую зависимость температуры солнечного модуля

$$t_{\text{СМ}} = 0{,}03H + t_{\text{н}}. \quad (6)$$

©Шерьязов С. К., Гусева О. А., Чигак А. С., Доскенов А. Х., 2023

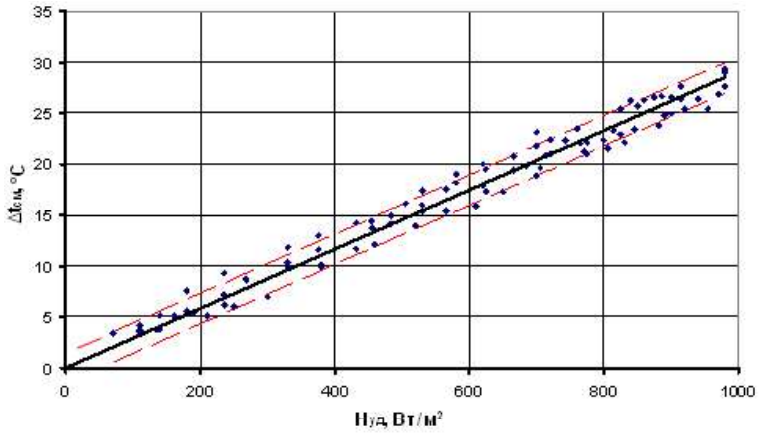

Рис. 4. Превышение температуры СМ над температурой окружающей среды в зависимости от мощности солнечного излучения

Полученная зависимость хорошо согласуется с опытными данными, коэффициент детерминации составляет $R^2 = 0{,}98$. Опытные данные на уровне 5 % значимости находятся в доверительном интервале предлагаемой зависимости.

По заданной величине солнечного излучения и температуры окружающей среды можно определить температуру СМ, действительную вырабатываемую мощность и ожидаемые потери мощности. Для этого на основе полученной зависимости предлагается усовершенствовать модель

$$\begin{cases} I_{PH} = \left[\dfrac{R_{SH}+R_S}{R_{SH}}\cdot I_{SC_STC} + k_I\cdot\left(\left(0{,}03\cdot Í + t_i - t_{STC}\right)+273\right)\right]\cdot\dfrac{H}{H_{STC}} \\ I_0 = \dfrac{I_{SC_STC} + k_I\cdot\left(\left(0{,}03\cdot Í + t_i - t_{STC}\right)+273\right)}{\exp\left(\dfrac{V_{OC_STC} + k_V\cdot\left(\left(0{,}03\cdot Í + t_i - t_{STC}\right)+273\right)}{A\cdot V_T}\right)-1} \\ I = N_P\cdot I_{PH} - N_P\cdot I_0\cdot\left[\exp\left(\dfrac{q\cdot(V+I\cdot R_S)}{N_S\cdot A\cdot k\cdot\left(\left(0{,}03\cdot Í + t_i\right)+273\right)}\right)-1\right] - \dfrac{V+I\cdot R_S}{R_{SH}}. \end{cases} \quad (7)$$

Используя усовершенствованные математические модели, можно определить выходные параметры СМ.

Заключение. В ходе проведённых исследований установлена, что для определения основных параметров солнечной батарей достаточно ее простая эквивалентная схема замещения с одним диодом. Установленная зависимость превышения температуры СМ над температурой окружающей среды от мощности солнечного излучения сохраняется в широком интервале мощностей солнечного излучения позволила совершенствовать методику оценки параметров солнечных батарей. Приведенные результаты исследования позволяют на стадий проектирования определить ожидаемую мощность солнечной фотоэлектрической установки и выбрать ее оптимальные параметры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шерьязов С.К., Пятков А.В. Анализ видов и причин повреждений трансформаторов 10/0,4 кВ в сельских электрических сетях // Достижения науки – агропромышленному производству: материалы LIII Междунар. науч.-техн. конф. Челябинск, 2014. С. 320–325.

2. Российская Федерация. Законы. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации : федер. закон : принят Гос. Думой 23 нояб. 2009 г., № 261 // Российская газета. 2009. 27 ноября.

3. Sheryazov S. K.; Ptashkina-Girina O. S. Estimation of Renewable Energy Resources for Heat Supply Systems // International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2017. Publisher: IEEE 2018. DOI: 10.1109/ICIEAM.2017.8076239.

4. Sheryazov S.K., Shelubaev M.V., Obukhov S.G. Renewable Sources in System Distributed Generation // International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2017. Publisher: IEEE. 2018. DOI: 10.1109/ICIEAM.2017.8076247.

©Шерьязов С. К., Гусева О. А., Чигак А. С., Доскенов А. Х., 2023

5. Шерьязов С.К., Шелубаев М.В. Выбор ветроэнергетической установки // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2010. № 2. С. 7.

6. Шерьязов С.К., Шелубаев М.В. Разработка метода определения параметров ветропарка // Вестник КрасГАУ. 2014. № 10 (97). С. 182-187.

7. file:///G:/REN %2021/gsr_2020_full_report_en.pdf.

8. https://www.irena.org/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Mar/IRENA_RE_Capacity_Highlights_2020.pdf?la=en&hash=B6B].

9. Шерьязов С.К., Мажкенова А.С. Возобновляемые источники энергии и правовое регулирование для их развития // Приоритетные направления развития энергетики в АПК: материалы II Всерос. нац. науч.-практ. конф. Курган, 2018. С. 165–171.

10. Российская Федерация. Законы. О внесении изменений в Федеральный закон «Об электроэнергетике» в части развития микрогенерации»: Федер. закон: принят Гос. Думой 23 дек. 2019 г., № 471 // Российская газета. 2019. 30 декабря.

11. Шерьязов С.К., Новикова В.А. Особенности использования солнечной энергии в системе теплоснабжения // Приоритетные направления развития энергетики в АПК материалы I Всерос. нац. науч.-практ. конф Курган, 2017. С. 28–33.

12. Ваш солнечный дом. Режим доступа: https://www.solarhome.ru.

13. Sheryazov S. K., Chigak A.S., Taimanov S.T. Research of energy characteristics of solar batteries // International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2019. DOI: 10.1109/ICIEAM.2019. 8743093

14. Khezzar R., Zereg M., Khezzar A. Comparative Study of Mathematical Methods for Parameters Calculation of Current-Voltage Characteristic of Photovoltaic Module // Electrical and Electronics Engineering, 2009. ELECO 2009. International Conference on, 5-8 Nov. 2009. P. 25–28.

15. Laudani A., Fulginei F. R., Salvini A. Identification of the one-diode model for photovoltaic modules from datasheet values // Solar Energy. 2014. Vol. 108. P. 432–446.

REFERENCES

1. Sheryazov S.K., Pyatkov A.V. Analysis of the types and causes of damage to 10 / 0.4 kV transformers in rural electrical networks. *Achievements of science - agro-industrial production*: materials of the LIII Intern. sci.-tech. conf. Chelyabinsk, 2014: 320–325.

2. Russian Federation. Laws. On energy saving and on improving energy efficiency and on amending certain legislative acts of the Russian Federation: Feder. law: adopted by the State. Duma 23 Nov. 2009, No. 261. *Russian newspaper.* 2009. November 27.

3. Sheryazov S. K.; Ptashkina-Girina O. S. Estimation of Renewable Energy Resources for Heat Supply Systems. *International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2017*. Publisher: IEEE 2018. DOI: 10.1109/ICIEAM.2017.8076239.

4. Sheryazov S.K., Shelubaev M.V., Obukhov S.G. Renewable Sources in System Distributed Generation. *International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2017*. Publisher: IEEE. 2018. DOI: 10.1109/ICIEAM.2017.8076247.

5. Sheryazov S.K., Shelubaev M.V. Choice of a wind power plant. *Mechanization and electrification of agriculture.* 2010; 2: 7.

6. Sheryazov S.K., Shelubaev M.V. Development of a method for determining the parameters of a wind farm. *Vestnik KrasGAU.* 2014; 10 (97): 182–187.

7. file:///G:/REN %2021/gsr_2020_full_report_en.pdf.

8. https://www.irena.org/media / Files / IRENA / Agency / Publication/2020/Mar / IRENA_RE_Capacity_Highlights_2020.pdf?la=en&hash=B6B].

9. Sheryazov S.K., Mazhkenova A.S. Renewable energy sources and legal regulation for their development. *Priority directions for the development of energy in the agro-industrial complex*: materials of the II All-Russian. nat. scientific-practical. conf. Kurgan, 2018: 165–171.

10. Russian Federation. Laws. On Amending the Federal Law «On the Electric Power Industry» in Part of the Development of Microgeneration»: Federal Law: adopted by the State Duma on December 23, 2019, No. 471. *Russian newspaper*. 2019. December 30.

11. Sheryazov S.K., Novikova V.A. Features of the use of solar energy in the heat supply system. *Priority directions for the development of energy in the agro-industrial complex:* materials of the I All-Russian. nat. scientific-practical. conf. Kurgan, 2017. S. 28–33.

12. Your sunny home. Access mode: https://www.solarhome.ru.

13. Sheryazov S.K., Chigak A.S., Taimanov S.T. Research of energy characteristics of solar batteries. *International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing*, ICIEAM 2019. DOI: 10.1109/ICIEAM.2019. 8743093

14. Khezzar R., Zereg M., Khezzar A. Comparative Study of Mathematical Methods for Parameters Calculation of Current-Voltage Characteristic of Photovoltaic Module. *Electrical and Electronics Engineering, 2009. ELECO 2009*. International Conference on, 5-8 Nov. 2009: 25–28.

15. Laudani A., Fulginei F. R., Salvini A. Identification of the one-diode model for photovoltaic modules from datasheet values. *Solar Energy*. 2014; 108: 432–446.

Статья поступила в редакцию 12.04.2023; одобрена после рецензирования 2.05.2023; принята к публикации 22.05.2023.
The article was submitted 12.04.2023; approved after reviewing 2.05.2023; accepted for publication 22.05.2023.

©Шерьязов С. К., Гусева О. А., Чигак А. С., Доскенов А. Х., 2023