

Электротехника Electric power engineering

Научная статья
УДК 621.311.243
DOI: 10.14529/power230101

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО УГЛА НАКЛОНА СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ИХ В ПРОИЗВОЛЬНОМ РЕГИОНЕ

С.В. Митрофанов, mitser2002@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6640-8434>
Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

Аннотация. В работе выполнен расчет оптимальных углов наклона солнечной панели для получения максимального фотоэлектрического преобразования энергии. На основе анализа литературных источников выбран метод расчета оптимального угла наклона солнечной панели. Это позволит правильно ориентировать солнечную панель и оценить возможность эффективной работы солнечных станций для размещения их в произвольном регионе. Правильная ориентация солнечной панели на солнце, как показывает практика, позволяет увеличить объем вырабатываемой электроэнергии до 30–35 %. В работе представлены результаты расчета на примере Оренбургской области (г. Оренбург) с разными углами наклона солнечной панели. Расчеты показали, что применение солнечных панелей с системой слежения за солнцем на исследуемой территории является целесообразным.

Ключевые слова: солнечная панель, слежение за солнцем, оптимальный угол наклона, солнечная инсоляция

Для цитирования: Митрофанов С.В. Выбор оптимального угла наклона солнечных панелей для размещения их в произвольном регионе // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». 2023. Т. 23, № 1. С. 5–11. DOI: 10.14529/power230101

Original article
DOI: 10.14529/power230101

CHOOSING THE OPTIMAL ANGLE OF INCLINATION OF SOLAR PANELS IN AN ARBITRARY REGION

S.V. Mitrofanov, mitser2002@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6640-8434>
Orenburg State University, Orenburg, Russia

Abstract. The optimal angles of inclination of solar panels to obtain the maximum photovoltaic energy conversion are calculated. Based on the literature, the method of calculating the optimal angle of inclination of the solar panel is selected. This allows the correct orientation and evaluates the efficiency of their operation in an arbitrary region. The orientation to the sun can increase the amount of electricity generated by 30 % to 35 %. The paper presents the results of the calculation using the example of the Orenburg region with different angles of inclination of the solar panel. Calculations show that the use of solar panels with a tracking system for the sun in the study area is appropriate.

Keywords: solar panel, tracking the sun, optimal tilt angle, solar insolation

For citation: Mitrofanov S.V. Choosing the optimal angle of inclination of solar panels in an arbitrary region. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*. 2023;23(1):5–11. (In Russ.) DOI: 10.14529/power230101

Введение

Развитие технологий, основанных на возобновляемых источниках энергии, в России идет хорошими темпами [1–3]. Несколько регионов России вышли в лидеры по объему выработки солнечной и ветровой энергии. Ростовская область, например, является лидером по ветряной энергии с общей установленной мощностью ветрогенераторов 170 МВт. При этом Оренбургская область является одним из лидеров по выработке солнечной энергии [4] с общей установленной мощностью солнечных панелей 330 МВт. Энергетические характеристики солнечных станций очень сильно зависят от угла падения солнечных лучей на поверхность солнечных панелей (СП) [5–7]. В данной работе рассмотрено несколько методик расчета углов наклона СП с целью получения максимально возможной выработки электроэнергии. Расчеты выполнены для общего случая в зависимости от даты, угла падения солнечных лучей и географического местоположения солнечной станции.

Моделирование

В работе рассматривается модель для определения почасовой солнечной инсоляции на наклонных поверхностях, имеющих различный угол наклона и ориентацию. Примем допущение, что расчет ведется без учета диффузии, отражения и рассеяния солнечных лучей. Для выбора оптимального угла наклона СП, вычисленного по разным методикам, можно не учитывать влияние атмосферных явлений, которые сказываются только в ко-

нечном итоге на объеме выработки солнечной энергии. Это допущение будет устранено в следующих исследованиях.

Поток излучения на горизонтальную поверхность по [8] с учетом зенитного угла, даты и времени суток определяется как

$$G_{n,k} = \sigma_{sc} \left(1 + 0,033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right) \cos \theta_{n,k}, \quad (1)$$

где σ_{sc} – солнечная постоянная, принимаемая в расчетах равной 1367 Вт/м² [8];

n – порядковый номер дня в году, начиная с 01 января;

$\theta_{n,k}$ – зенитный угол, т. е. угол падения солнечного луча излучения на горизонтальную поверхность согласно рис. 1;

k – количество точек расчета в промежутке времени между восходом и закатом солнца.

На рис. 1 показан зенитный угол θ , угол солнечной высоты α_s , угол наклона СП β , угол солнечного азимута γ_s , азимутальный угол расположения поверхности СП γ относительно направления – юг.

Зенитный угол согласно [8] определяется по выражению

$$\theta_{n,k} = \arccos(\cos \delta_n \cos \varphi \cos \omega_k + \sin \delta_n \sin \varphi), \quad (2)$$

где φ – широта расположения СП;

δ_n – координата солнца на небесной сфере (угол склонения), определяемая по выражению (3) для n -го дня в году;

ω_k – часовой угол, рассматриваемый в дан-

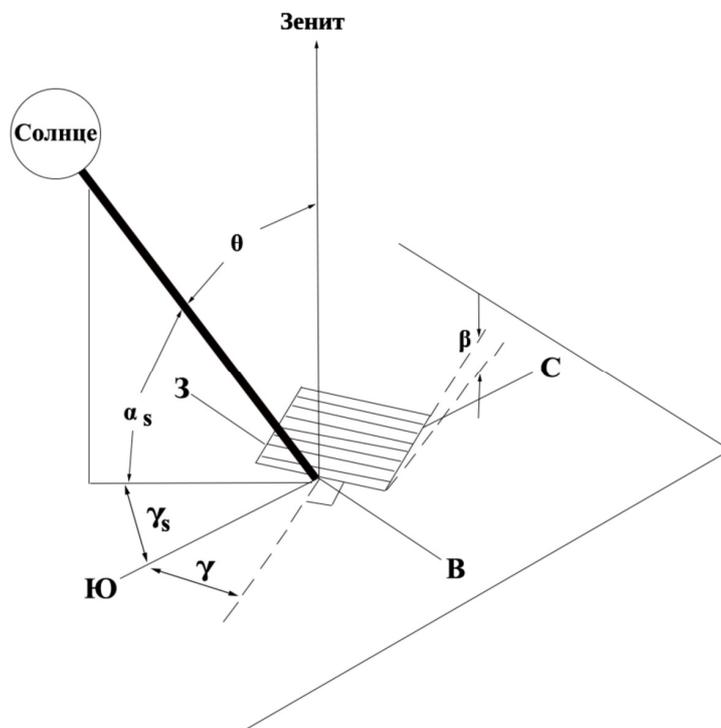


Рис. 1. Наглядное изображение солнечной панели в пространстве
Fig. 1. A representation of a solar panel in space

ный момент времени в течение светового дня, определяемый по выражению (4).

Угол склонения δ_n равен угловому расстоянию на небесной сфере от плоскости небесного экватора до светила, и определяется согласно [8–10] по уравнению

$$\delta_n = 23,45 \sin\left(360 \frac{284+n}{365} \frac{\pi}{180}\right). \quad (3)$$

Часовой угол – это угловое расстояние, измеренное вдоль небесного экватора на запад от небесного меридиана (той его части, которую светила пересекают в момент верхней кульминации) до часового круга, проходящего через избранную точку на небесной сфере. Он определяется согласно [11, 12] как

$$\omega_k = 15 \frac{\pi}{180} (t_a - 12), \quad (4)$$

где t_a – это видимое или истинное солнечное время, которое определяется ежедневным видимым движением истинного или наблюдаемого солнца, которое находится по выражению (5), ч.

Используя [12, 13], выполнив некоторые преобразования, получим

$$t_a = t_k + \frac{EOT_n \pm 4^\circ (15^\circ T_{GMT} - \lambda)}{60}, \quad (5)$$

где t_k – местное время в рассматриваемый момент, ч;

EOT_n – разница во времени между кажущимся солнечным временем и средним солнечным временем, определяемая по выражению (6) (значение зависит от номера дня в году), мин;

T_{GMT} – часовая разница между нулевым меридианом и рассматриваемой местностью, ч;

λ – долгота местности, град.

Отрицательное значение перед скобкой в выражении (5) принимается при положительном меридиане, а положительное – при отрицательном.

Уравнение времени согласно [8] определяется

$$EOT_n = 9,87 \sin(2B_n) - 7,53 \cos(B_n) - 1,5 \sin(B_n), \quad (6)$$

где B_n – число, зависящее от номера дня в году, и находится по выражению

$$B_n = \frac{360(n-81)}{365} \frac{\pi}{180}. \quad (7)$$

Для получения максимального фотоэлектрического преобразования в СП необходимо, чтобы лучи солнца падали прямо перпендикулярно ее поверхности. Поэтому СП необходимо располагать в любой момент времени под прямым углом к лучам солнца в течение всего светового дня. Для ориентации СП относительно солнца можно использовать две оси регулирования. Одна ось – это ось регулирования относительно склонения (угол β), другая ось – относительно азимута (угол γ_s). При этом текущий угол СП относительно азимута будет равен γ , при условии, что СП не ориентирована

на юг. Если СП ориентирована строго на юг, то угол $\gamma = 0$ (см. рис. 1).

Согласно [14] угол наклона СП β в зависимости от номера дня и широты местности может быть определен как

$$\beta_n = \varphi - 1,5\delta - \frac{|\delta_n| \varphi}{180}. \quad (8)$$

Оптимальный угол наклона СП β в час, когда солнце находится в зените, для любого дня согласно [8] можно вычислить по выражению

$$\beta_n = |\varphi - \delta_n|. \quad (9)$$

Выражения (8) и (9) могут быть использованы в математических моделях, если СП стационарно закреплена и направлена строго на юг, а угол наклона СП β не изменяется в течение всего дня. По истечении суток (или реже) его можно изменить (подкорректировать), предварительно вычислив по выражению (8) или (9) для нужного номера дня.

Если регулирование угла наклона поверхности СП не планируется, то при монтаже солнечной станции его выбирают в зависимости от широты местности согласно [15] равным:

$$\begin{cases} \beta = 2\varphi & \text{при } 1^\circ \leq \varphi < 6^\circ \\ \beta = 1,75\varphi & \text{при } 6^\circ \leq \varphi < 9^\circ \\ \beta = 1,5\varphi & \text{при } 9^\circ \leq \varphi < 12^\circ \\ \beta = 1,25\varphi & \text{при } 12^\circ \leq \varphi < 15^\circ \\ \beta = \varphi & \text{при } \varphi \geq 15^\circ \end{cases}. \quad (10)$$

В случае если необходимо получить максимальное фотоэлектрическое преобразование, нужно поверхность СП регулировать в двух плоскостях. Поэтому необходимо СП вращать относительно второй оси – азимута (при этом угол азимута будет всегда равным $\gamma = \gamma_s$), одновременно изменяя угол наклона β СП относительно склонения солнца в течение всего светового дня. Такой угол будет находиться по выражению для произвольного дня:

$$\beta_{n,k} = \arccos(\cos \varphi \cos \delta_n \cos \omega_k + \sin \varphi \sin \delta_n), \quad (11)$$

где ω_k – часовой угол, определяемый по выражению (4) для произвольного момента времени t_k между восходом и закатом солнца;

δ_n – склонение солнца в n -й день.

Времена восхода t_1 и заката t_2 солнца находятся по выражению

$$t_{1,2} = 12 \pm \frac{\omega_s}{15} \frac{\pi}{180} - \frac{EOT_n \pm 4^\circ (15^\circ T_{GMT} - \lambda)}{60}, \quad (12)$$

где ω_s – часовой угол на закате солнца, рад.

Минус в выражении (12) перед ω_s соответствует нахождению времени восхода солнца. Плюс – заката за горизонт. Отрицательное значение перед скобкой в выражении (12) $4^\circ (15^\circ T_{GMT} - \lambda)$ принимается при положительном меридиане, а положительное – при отрицательном. Часовой

угол на закате находится по следующему выражению [8]

$$\omega_s = \arccos(-\operatorname{tg}\delta \operatorname{tg}\varphi). \quad (13)$$

Азимутальный угол находится по выражению [16]

$$\gamma_s = \operatorname{sign} \omega_k \left| \arccos \left(\frac{\cos \theta \sin \varphi - \sin \delta_n}{\sin \theta \cos \varphi} \right) \right|, \quad (14)$$

где $\operatorname{sign} \omega_k$ – функция, определяющая знак перед выражением.

Тогда поток излучения с учетом зенитного угла на горизонтальную поверхность, угла наклона СП β , даты и времени суток, общем случае, будет определяться как

$$G_{n,k} = \sigma_{sc} \left(1 + 0,033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right) \cos(\theta_{n,k} - \beta_{n,k}), \quad (15)$$

где $\beta_{n,k}$ – угол наклона СП в зависимости от номера дня n при его изменении в течение суток от времени для времени восхода t_1 и заката t_2 солнца. При нахождении потока для углов, не зависящих от времени суток, индекс k в формуле (15) можно опустить.

Результаты исследования

На рис. 2 представлена зависимость углов наклона β СП, вычисленных по вышеприведенным выражениям от номера дня в году для момента времени, когда солнце находится в зените (солнечный полдень).

Из расчетов видно, что угол наклона β СП, вычисленный по формулам (9) и (11), совпадает и в полугодие меняется от 74 до 28°. В другое время суток эти углы будут разными. Угол наклона,

вычисленный по формуле (8), будет изменяться от 80 до 9,8°. Для оценки влияния этих углов на эффективность работы СП на рис. 3 представлен результат расчета потока солнечной энергии на наклонную плоскость СП для дня летнего солнцестояния без учета влияния атмосферных явлений. В день летнего солнцестояния продолжительность светлого времени суток для г. Оренбурга составляет 16 ч 27 мин 32 с.

Среднесуточное глобальное солнечное излучение на горизонтальной поверхности можно найти согласно [8, 17] по среднесуточному ежедневному глобальному излучению. Среднесуточное глобальное солнечное излучение, падающее на поверхность СП, в периоде между восходом и закатом солнца, с учетом ее угла наклона и без учета влияния атмосферных явлений может быть найдено по выражению

$$I_{0,n} = \frac{12}{\pi} \sigma_{sc} \left(1 + 0,033 \cos \left(\frac{360n}{365} \frac{\pi}{180} \right) \right) \times \left[\cos(\varphi - \beta_{n,k}) \cos \delta_n (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + \frac{\pi(\omega_2 - \omega_1)}{180} \sin(\varphi - \beta_{n,k}) \sin \delta_n \right], \quad (16)$$

где ω_1, ω_2 – часовые углы, определяемые по выражению (4) для времени восхода t_1 и заката t_2 солнца.

Формула (16) справедлива в случае, когда угол СП β в течение суток не изменяется.

На рис. 4 приведено значение солнечной инсоляции в зависимости от номера дня в году в г. Оренбурге, приходящейся на горизонтальную поверхность СП, с различными, неизменными в течение суток, углами наклона.

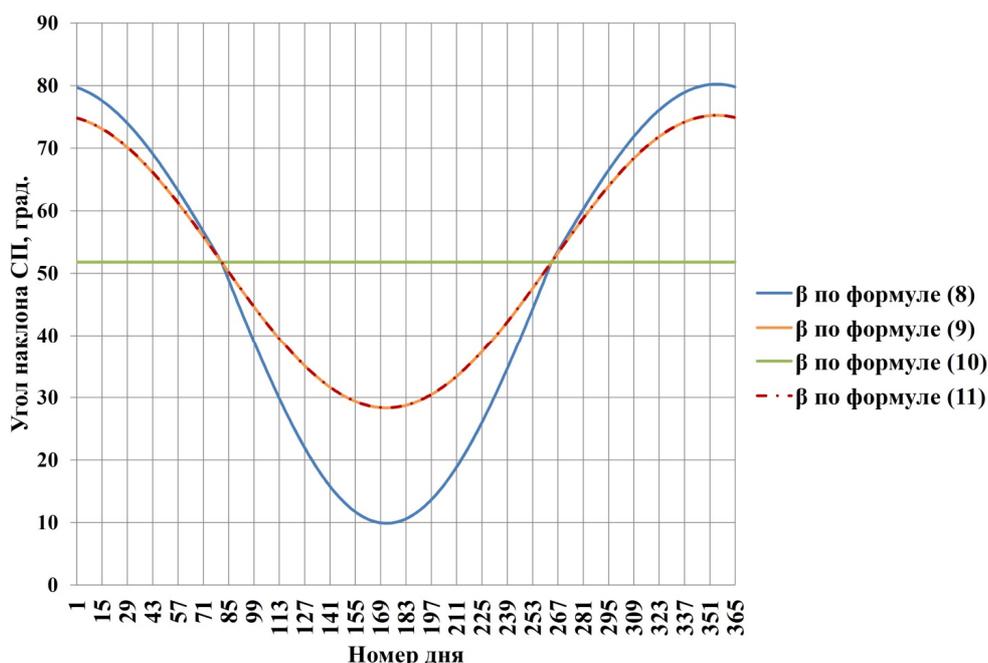


Рис. 2. Зависимость угла наклона СП от номера дня в солнечный полдень
Fig. 2. Dependence of the angle of inclination on the day of the year on a sunny afternoon

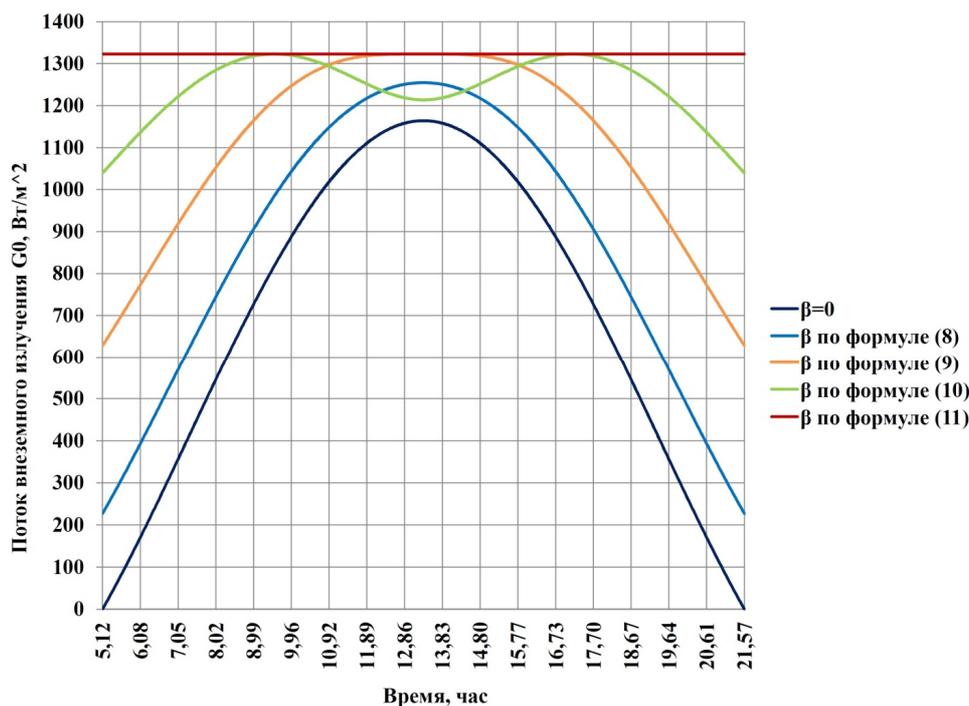


Рис. 3. Зависимость потока излучения от времени суток для дня летнего солнцестояния (171-й день) с учетом угла наклона

Fig. 3. The dependence of the radiation flux on the time of day for the summer solstice (day 171), taking into account the angle of inclination

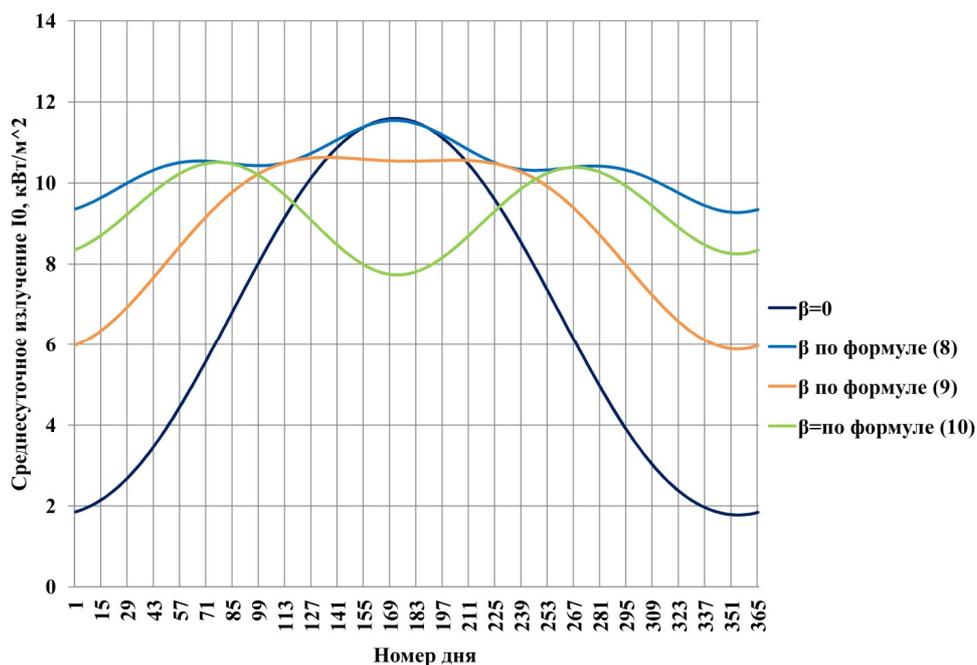


Рис. 4. Зависимость среднесуточного солнечного излучения от номера дня в году с учетом угла наклона

Fig. 4. The dependence of the average daily solar radiation on the day of the year, taking into account the angle of inclination

Выполнив расчеты, получаем, что наиболее оптимальным углом является изменяемый угол наклона СП по двум осям, вычисленный по формуле (11). Расчеты показывают эффективность работы СП при ежесуточной установке угла на-

клона СП, вычисленного по формуле (8). В результате исследования установлено, что эффективность работы СП, установленной под углом, вычисленным по формуле (8), незначительно ниже, чем при угле, вычисленном по формуле (11)

(разница больше в зимние месяцы). Угол наклона СП, вычисленный по формуле (8), можно использовать для СП, не имеющих возможностей двухосевого регулирования. В зимние месяцы оптимальным углом можно считать и угол, вычисленный по формуле (10), но в летние месяцы выработка электроэнергии СП, расположенной под этим углом, будет значительно меньше. С некоторым допущением можно считать, что углы наклона СП, вычисленные по формуле (9), являются оптимальными в течение всего года, если нет возможности регулирования углов наклона ни по одной из осей.

Заключение

В работе был выполнен анализ способов вычисления оптимального угла наклона СП по различным литературным источникам. По результатам исследования можно сделать вывод о том, что регулирование угла наклона по двум осям является наиболее эффективным способом повышения эффективности работы СП независимо от сезона. Поэтому задача создания экономичных, простых в управлении и эксплуатации двухкоординатных систем слежения за солнцем является актуальной.

Список литературы

1. Безруких П.П. К истории развития возобновляемой энергетики России и её современное состояние // Вестник Московского энергетического института (Вестник МЭИ). 2022. № 4. С. 11–18. DOI: 10.24160/1993-6982-2022-4-11-18
2. Хомутов С.О., Полищук В.И., Сташко В.И. Исследование основных режимов работы и элементов конструкции фотоэлектрических систем для построения микромощной солнечной электростанции // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330, № 1. С. 153–164. DOI: 10.18799/24131830/2019/1/61
3. Тягунов М. Цифровая трансформация и энергетика // Энергетическая политика. 2021. № 9 (163). С. 74–85. DOI: 10.46920/2409-5516_2021_9163_74
4. Митрофанов С.В., Байкашенов Д.К., Бледных А.А. Перспективы развития методики проектирования комбинированных установок на основе возобновляемых источников энергии // Энергетика: состояние, проблемы, перспективы: тр. XI Всерос. науч.-техн. конф. Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2020. С. 21–27.
5. Солнечный трекер с системой самораскрытия / Г.Н. Рявкин, Е.В. Соломин, К. Мадемлис и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». 2021. Т. 21, № 1. С. 82–89. DOI: 10.14529/power210109
6. Бабаев Б.Д. Расчет выработки электроэнергии местной солнечной электростанцией при оптимальных параметрах // Вестник Дагестанского государственного университета. Серия 1. Естественные науки. 2021. Т. 36, № 3. С. 21–28. DOI: 10.21779/2542-0321-2021-36-3-21-28
7. Обухов С.Г., Плотников И.А. Выбор параметров и анализ эффективности применения систем слежения за солнцем // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2018. Т. 329, № 10. С. 95–106. DOI: 10.18799/24131830/2018/10/2109
8. Duffie J, Beckman W. Design of photovoltaic systems // Solar Engineering of Thermal Processes. 1991. Vol. 2. P. 770–81.
9. Shi Z., Wang R., Zhang T. Multi-objective optimal design of hybrid renewable energy systems using preference-inspired coevolutionary approach // Solar Energy. 2015. Vol. 118. P. 96–106. DOI: 10.1016/j.solener.2015.03.052
10. An Assessment of Diffuse Solar Energy Models in Terms of Estimation Accuracy / T. Khatib, A. Mohamed, M. Mahmoud, K. Sopian // Energy Procedia. 2012. Vol. 14. P. 2066–2074. DOI: 10.1016/j.egypro.2011.12.1209
11. Bahrami A., Okoye C.O., Atikol U. Technical and economic assessment of fixed, single and dual-axis tracking PV panels in low latitude countries // Renewable Energy. 2017. Vol. 113. P. 563–579. DOI: 10.1016/j.renene.2017.05.095
12. Eriksson E.L.V., Gray E.MacA. Optimization of renewable hybrid energy systems – A multi-objective approach // Renewable Energy. 2019. Vol. 133. P. 971–999. DOI: 10.1016/j.renene.2018.10.053
13. Al-Rousan N., Isa N.A.M., Desa M.K.M. Advances in solar photovoltaic tracking systems: A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2018. Vol. 82. P. 2548–2569. DOI: 10.1016/j.rser.2017.09.077
14. An application of a combined wind and solar energy system in Izmir / A. Özdamar, N. Özbalta, A. Akin, E. Yildirim // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2005. Vol. 9, no. 6, P. 624–637. DOI: 10.1016/j.rser.2004.06.002
15. Modeling and estimation of the optimal tilt angle, maximum incident solar radiation, and global radiation index of the photovoltaic system / A.U. Obiwulu, N. Erusiafe, M.A. Olopade, S.C. Nwokolo // Heliyon. 2022. Vol. 8, no. 6. P. e09598. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e09598
16. Investigation of a single-axis discrete solar tracking system for reduced actuations and maximum energy collection / W. Batayneh, A. Bataineh, I. Soliman, S.A. Hafees // Automation in Construction. 2019. Vol. 98. P. 102–109. DOI: 10.1016/j.autcon.2018.11.011

17. Yadav S., Panda S.K., Hachem-Vermette C. Optimum azimuth and inclination angle of BIPV panel owing to different factors influencing the shadow of adjacent building // *Renewable Energy*. 2020. Vol. 162. P. 381–396. DOI: 10.1016/j.egy.2021.04.016

References

1. Bezrukikh P.P. [On the history of the development of renewable energy in Russia and its current state]. *Vestnik Moskovskogo energeticheskogo instituta = Bulletin of Moscow power engineering institute = Vestnik MEI = Bulletin of MPEI*. 2022;4:11–18. (In Russ.) DOI: 10.24160/1993-6982-2022-4-11-18
2. Khomutov S.O., Polishchuk V.I., Stashko V.I. Study of the basic operation modes and structural components of photovoltaic systems to construct a micropower solar power plant. *Bulletin of the Tomsk polytechnic university. Geo assets engineering*. 2019;330(1):153–164. (In Russ.) DOI: 10.18799/24131830/2019/1/61
3. Tyagunov M. Digital transformation and energy. *Energy Policy*. 2021;9(163):74–85. (In Russ.) DOI: 10.46920/2409-5516_2021_9163_74
4. Mitrofanov S.V., Baykasenov D.K., Blednykh A.A. [Prospects for the development of methods for designing combined plants based on renewable energy sources]. In: *Energetika: sostoyanie, problemy, perspektivy: Trudy XI Vsesoyuzskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*. Orenburg: Orenburg State University; 2020. P. 21–27. (In Russ.)
5. Ryavkin G.N., Solomin E.V., Mademlis K., Kovalyov A.A., Pogorelov B.T., Yunusov P.A. Solar Tracker with a Self-Deploying System. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*. 2021;21(1):82–89. (In Russ.) DOI: 10.14529/power210109
6. Babaev B.D. Calculation of electricity generation by a local solar power plant with optimal parameters. *Herald of Dagestan State University. Series 1. Natural Sciences*. 2021;36(3):21–28. (In Russ.) DOI: 10.21779/2542-0321-2021-36-3-21-28
7. Obukhov S.G., Plotnikov I.A. Choosing the parameters and analyzing the efficiency of solar tracking systems. *Bulletin of the Tomsk polytechnic university. Geo assets engineering*. 2018;329(10):95–106. (In Russ.) DOI: 10.18799/24131830/2018/10/2109
8. Duffie J, Beckman W. Design of photovoltaic systems. *Solar Engineering of Thermal Processes*. 1991;2:770–81.
9. Shi Z., Wang R., Zhang T. Multi-objective optimal design of hybrid renewable energy systems using preference-inspired coevolutionary approach. *Solar Energy*. 2015;118:96–106. DOI: 10.1016/j.solener.2015.03.052
10. Khatib T., Mohamed A., Mahmoud M., Sopian K. An Assessment of Diffuse Solar Energy Models in Terms of Estimation Accuracy. *Energy Procedia*. 2012;14:2066–2074. DOI: 10.1016/j.egypro.2011.12.1209
11. Bahrami A., Okoye C.O., Atikol U. Technical and economic assessment of fixed, single and dual-axis tracking PV panels in low latitude countries. *Renewable Energy*. 2017;113:563–579. DOI: 10.1016/j.renene.2017.05.095
12. Eriksson E.L.V., Gray E.MacA. Optimization of renewable hybrid energy systems – A multi-objective approach. *Renewable Energy*. 2019;133:971–999. DOI: 10.1016/j.renene.2018.10.053
13. Al-Rousan N., Isa N.A.M., Desa M.K.M. Advances in solar photovoltaic tracking systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018;82:2548–2569. DOI: 10.1016/j.rser.2017.09.077
14. Özdamar A., Özbaltalı N., Akin A., Yildirim E. An application of a combined wind and solar energy system in Izmir. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2005;9(6):624–637. DOI: 10.1016/j.rser.2004.06.002
15. Obiwulu A.U., Erusiafe N., Olopade M.A., Nwokolo S.C. Modeling and estimation of the optimal tilt angle, maximum incident solar radiation, and global radiation index of the photovoltaic system. *Heliyon*. 2022;8(6):e09598. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e09598
16. Batayneh W., Bataineh A., Soliman I., Hafees S.A. Investigation of a single-axis discrete solar tracking system for reduced actuations and maximum energy collection. *Automation in Construction*. 2019;98:102–109. DOI: 10.1016/j.autcon.2018.11.011
17. Yadav S., Panda S.K., Hachem-Vermette C. Optimum azimuth and inclination angle of BIPV panel owing to different factors influencing the shadow of adjacent building. *Renewable Energy*. 2020;162:381–396. DOI: 10.1016/j.egy.2021.04.016

Информация об авторе

Митрофанов Сергей Владимирович, канд. техн. наук, доц., директор Института энергетики, электроники и связи, Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия; mitser2002@mail.ru.

Information about the author

Sergey V. Mitrofanov, Cand. Sci. (Eng.), Ass. Prof., Director of the Institute of Energy, Electronics and Communications, Orenburg State University, Orenburg, Russia; mitser2002@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 10.11.2022; одобрена после рецензирования 21.11.2022; принята к публикации 21.11.2022.

The article was submitted 10.11.2022; approved after review 21.11.2022; accepted for publication 21.11.2022.