

10. Bulatov Yu.N. Technique of the coordinated adjustment of automatic controllers of excitation and rotational speed of generators of power stations // Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Irkutsk, 2012. 22 p.

11. Bulatov Yu.N., Popik V.A. The solution of optimization tasks of electric power industry by means of adaptive genetic algorithm // Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Estestvennye i inzhenernye nauki – razvitiyu regionov Sibiri. 2012. T. 2. P. 94-99.

УДК 620.91

Методика учета влияния облачности на поток солнечной радиации по данным архивов метеостанций

В.А. Шакиров^a, А.Ю. Артемьев^b

Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия

^amynovember@mail.ru, ^bartuniverse@mail.ru

Статья поступила 17.08.2014, принята 13.11.2014

Облачность оказывает высокое влияние на выработку электроэнергии солнечными энергетическими установками. В настоящее время большинство исследований по оценке проектов использования солнечных энергетических установок ориентированы лишь на расчет прямой солнечной радиации при безоблачном небе. Полученные результаты уточняются с учетом положения фотоэлектрических элементов относительно горизонтальной поверхности, их технических параметров, погодных условий на основе статистических данных. В статье предлагается для повышения точности гелиоэнергетических расчетов использовать данные архивов метеостанций, предоставляемые интернет-ресурсами. Авторами представлены методика и программа для ЭВМ по учету влияния облачности на количество поступающей прямой солнечной радиации. На первом этапе проводится составление массива данных значений прихода прямой солнечной радиации при допущении безоблачного неба и горизонтального расположения фотоэлектрических элементов относительно поверхности земли для каждого часа рассматриваемого периода. На втором этапе проводится обработка данных по облачности архива метеостанций в разработанной программе. Для оценки облачности в каждый час суток сделано предположение о линейном ее изменении между измерениями. Это позволяет получить значения поступающей прямой солнечной радиации в каждый час суток с учетом облачности. На примере поселка Аян проводится расчет прямой солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность при безоблачном небе, а также при учете облачности. Приведены графики изменения облачности за исследуемый период. Полученные результаты позволяют сделать вывод о целесообразности учета данных метеостанций по облачности при оценке эффективности использования солнечных энергетических установок.

Ключевые слова: солнечные энергетические установки, метеостанции, облачность, гелиоэнергетический потенциал

Technique for considering the influence of cloudiness on the solar radiation flux according to the archives of meteorological stations

V. A. Shakirov^a, A. Y. Artemyev^b

Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

^amynovember@mail.ru, ^bartuniverse@mail.ru

Received 17.08.2014, accepted 13.11.2014

Cloudiness has a high impact on the generation of electricity by solar power plants. Currently, most research on the evaluation of projects using solar energy plants are focused only on consideration of the direct solar radiation under cloudless sky. The results are improved on the basis of statistical data and with the specified position of photovoltaic elements regarding to the horizontal surface, their technical parameters, and weather conditions. To improve the accuracy of consideration of solar energy the article proposes to use archives of weather stations provided by Internet resources. To consider the influence of cloudiness on the amount of incoming direct solar radiation the authors have presented the technique and computer program. At the first stage, for every hour in the period under review it is provided the preparation of array data for values of an arrival of direct solar radiation under cloudless sky and the horizontal location of the photovoltaic elements regarding to the earth surface. At the second stage, the cloudiness data from archives of weather stations are processed in the program developed. To estimate the cloudiness for every hour of the day it has been assumed that it changes linearly between measurements. This allows getting the values of incoming direct solar radiation for every hour of the day with cloudiness taken into account. Incoming direct solar radiation reaching the horizontal surface under cloudless sky and also under cloudiness taken into account has been considered on the example of the village of Ayan. Graphs of cloudiness variance have been shown during the research period. The results allow suggesting practicability in considering cloudiness data taken from weather stations during estimation of the efficiency of the use of solar power plants.

Key words: solar power systems, weather stations, cloudiness, solar power potential.

Введение. При решении вопросов об эффективности проектов на основе возобновляемых источников энергии актуальной является задача повышения точности расчетов [1 – 4]. Для оценки энергетической эффективности солнечных установок существуют различные методики [5 – 8], однако, как правило, они основаны на расчетах поступающей солнечной радиации при безоблачном небе. Дальнейшее уточнение оценок проводится в направлении: учета наклона и расположения поверхности солнечного элемента (СЭ) — как стационарного, так и вращающегося в пространстве [9; 10]; уточнения расчета технического потенциала СЭ, зависящего от его параметров и погодных условий [11; 12]; определения доли прямого и рассеянного излучения в общем потоке [13; 14].

Существенное влияние на конечную выработку электроэнергии СЭ оказывают погодные условия, в частности облачность [15 – 19].

Предлагается методика учета влияния облачности на количество солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность, по данным архивов метеостанций. Расчеты поступающей радиации проведены на примере района п. Аян Хабаровского края. Показана необходимость учета облачности.

Методика расчета. Учет влияния облачности проводится в три этапа.

1. Составление массива данных значений прихода солнечной радиации.
2. Обработка архива данных метеостанций.
3. Корректировка значений солнечной радиации с учетом данных об облачности.

Методика расчета реализована авторами в программе для ЭВМ Sun-MCA, что позволяет быстро и наглядно проводить оценку эффективности применения солнечных энергетических установок.

На первом этапе формируется массив данных значений прихода солнечной радиации при допущении безоблачного неба и горизонтального расположения СЭ относительно поверхности земли для каждого часа рассматриваемого периода. Мощность энергетического потока, поступающего на квадратный метр поверхности R^r ($\text{Вт}/\text{м}^2$), определяется по формуле [20]:

$$R^r = R^{\max} \cdot \cos \theta(t), \quad (1)$$

где R^{\max} — приток солнечной радиации на 1 м^2 земной поверхности с учетом потерь через атмосферу и отражения от поверхности земли, $\text{Вт}/\text{м}^2$; $\cos \theta(t)$ — приведенный угол падения солнечных лучей.

Значения $\cos \theta(t)$ для каждого дня определяются:

$$\cos \theta(t) = \sin \varphi \cdot \sin \delta(t) + \cos \varphi \cdot \cos \delta(t), \quad (2)$$

где φ — северная широта исследуемого пункта, град; δ — склонение Солнца в данные сутки, град.

Склонение Солнца δ в данные сутки определяется по формуле Купера:

$$\delta = \delta_0 \cdot \sin \left(360^\circ \cdot \frac{284 + n}{365} \right), \quad (3)$$

где n — номер дня, начиная с 1-го января; $\delta_0 = 23,45^\circ$ — для северного полушария.

Продолжительность солнечного сияния в данные сутки T_c рассчитывается по формуле:

$$T_c = 0,133 \cdot (\arccos(-tg\varphi \cdot tg\delta)). \quad (4)$$

В результате расчетов по формулам (1)–(4) могут быть получены данные прихода солнечной радиации при безоблачном небе на горизонтальную поверхность. Рабочий экран программы Sun-MCA при определении потока солнечной радиации представлен на рис. 1.

На втором этапе проводится обработка данных архива метеостанций с помощью программы Sun-MCA. Данные архивов метеостанций могут быть взяты с различных интернет-ресурсов, например: <http://rp5.ru/>, <http://meteo.infospace.ru/>. Используются данные по измерению облачности в баллах, проводимые на метеостанциях четыре раза в сутки. Для оценки облачности в каждый час суток рассматриваемого периода было принято допущение о линейном изменении облачности между измерениями. Результаты обработки архива данных представлены на рис. 2.

На третьем этапе корректируются значения солнечной радиации с учетом данных об облачности. Расчет проводится по известной формуле [21]:

$$R_{\text{обл}} = (1 - 0,38)(1 + 0,1 \cdot K_{\text{обл}}) \cdot 0,1 K_{\text{обл}} \cdot R_h, \quad (5)$$

где $K_{\text{обл}}$ — облачность в баллах; R_h — поток прямой солнечной радиации при ясном небе, $\text{Вт}/\text{м}^2$.

Фрагмент расчета представлен на рис. 3.

Таким образом, на основе предлагаемой методики может быть проведена оценка поступающей солнечной радиации на горизонтальную поверхность с учетом архивов данных метеостанций по облачности.

Применение методики учета облачности. В качестве примера проведем анализ влияния облачности на поступление солнечной радиации в районе п. Аян Хабаровского края. Поселок расположен на берегу Аянского залива Охотского моря, координаты: $56^\circ 28'$ северной широты и $138^\circ 9'$ восточной долготы. Население села по данным 2011 года составляет 964 человек. Электроснабжение осуществляется от дизельной электростанции, к недостаткам которой можно отнести: высокие требования к постоянному обслуживанию, шумность, воздействие на окружающую среду, необходимость закупок и завоза постоянно дорожающего топлива.

Для анализа были использованы данные архива ближайшей метеостанции Аян — #31168 ($56^\circ 27' \text{N}$ $138^\circ 09' \text{E}$), удаленной на 4,4 км от поселка. Архив содержит данные с 1999 по 2012 гг.

Максимальная продолжительность солнечного сияния — 17,4 ч — наблюдается в Аяне 21 июня, а минимальная — 6,6 ч — 21 декабря (рис. 4).

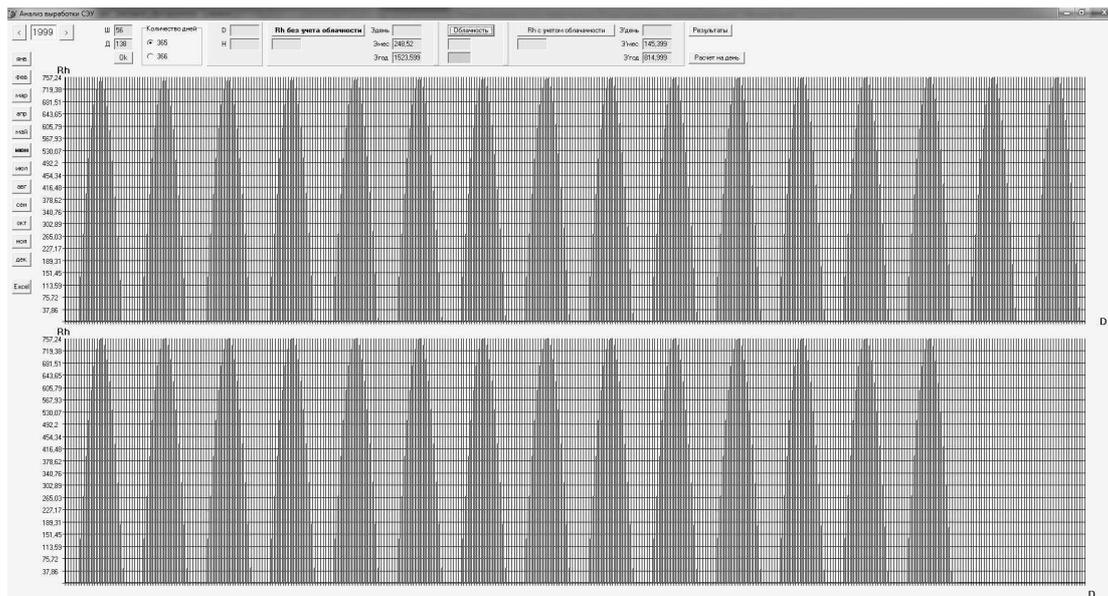


Рис. 1. Рабочее окно программы Sun-MCA с графиками прихода солнечной радиации в течение месяца без учета облачности

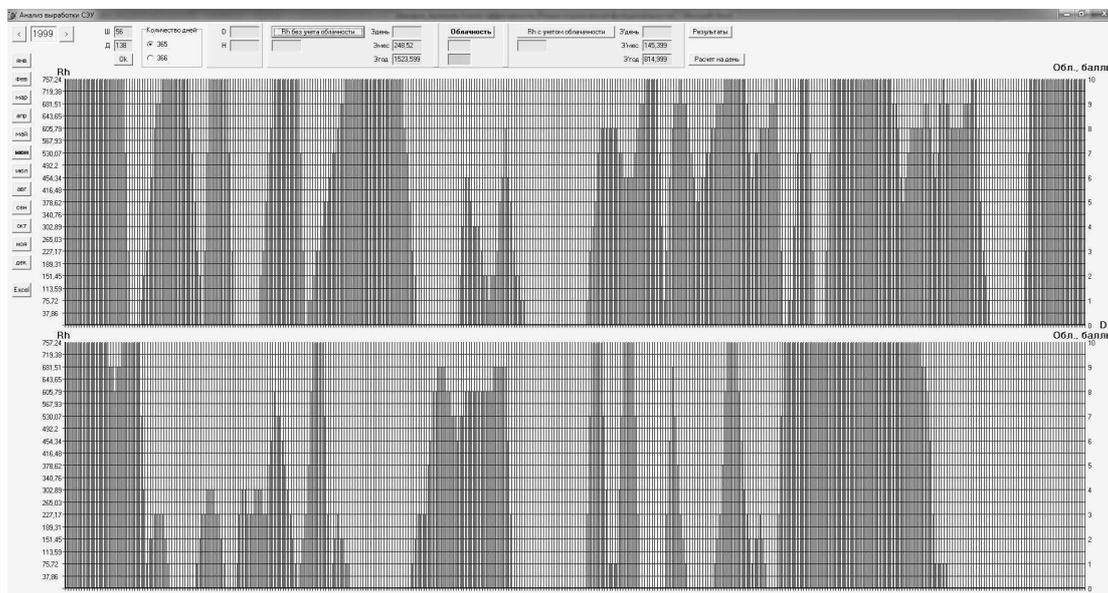


Рис. 2. Рабочее окно программы Sun-MCA с графиком облачности в течение июня в 1999 г. в районе п. Аян

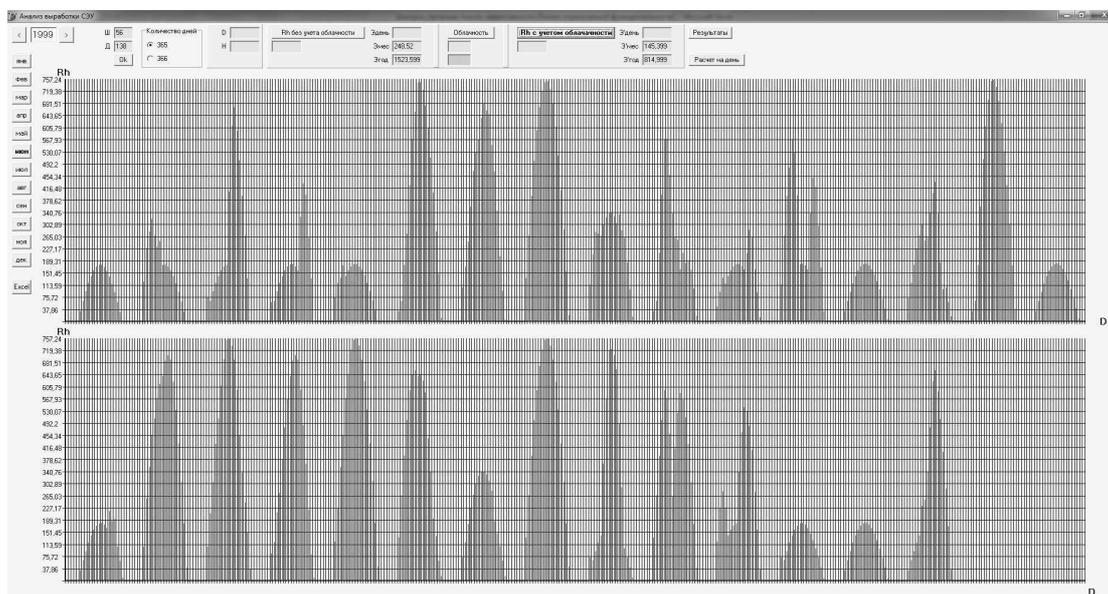


Рис. 3. Рабочее окно программы Sun-MCA с графиком прихода солнечной радиации в течение месяца с учетом облачности

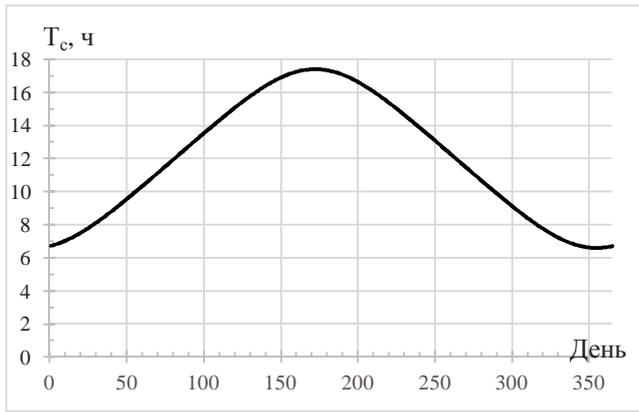


Рис. 4. Продолжительность солнечного сияния в п. Аян в течение года

Дни июня и декабря значительно отличаются по интенсивности солнечной радиации в течение дня при условии безоблачного ясного неба (рис. 5).

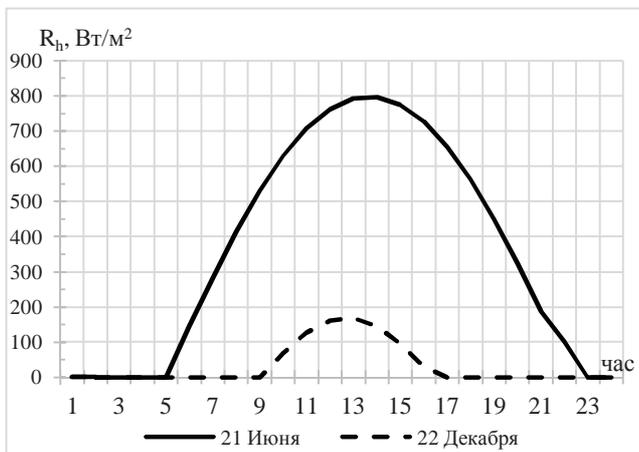


Рис. 5. Поступление солнечной радиации в течение суток

При условии постоянно ясного неба приход солнечной радиации за год на 1 м² горизонтальной поверхности составит 1523,6 кВт·ч/м².

По данным архивов метеостанций, в исследуемом районе облачность изменяется в довольно широких пределах. Средняя облачность в 2001 году составила 6,91 балла, в 2007 — 3,7 балла. На рис. 6 представлены графики изменения облачности в 1999, 2001, 2004, 2012 гг.

На рис. 7 показан график изменения облачности в течение года с полиномиальной линией тренда. Можно говорить о стохастическом характере ее изменения.

В табл. 1 приведены данные расчета энергии Солнца, поступающей на горизонтальную поверхность, без учета облачности и с учетом облачности за 1999–2002 гг. Видно, что значения энергии при учете облачности могут быть меньше принятых при безоблачном небе в два и более раз. Соответственно, при учете облачности будет скорректирована в меньшую сторону и оценка выработки электроэнергии солнечными модулями, а срок окупаемости проектов по использованию солнечных энергетических установок при этом будет увеличен.

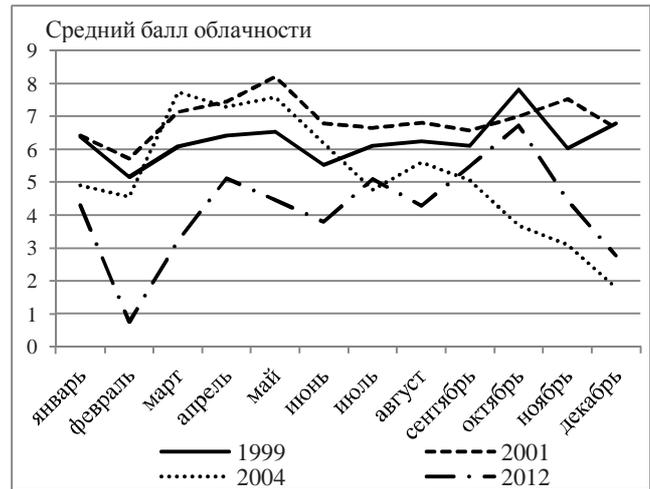


Рис. 6. Графики изменения средней облачности в 1999, 2001, 2004 и 2012 гг. в районе п. Аян



Рис. 7. Изменение валового потенциала солнечных модулей в течение года без учета облачности и с учетом облачности. Пунктирная линия — усредненная линия тренда

Таблица 1

Энергия, поступающая на горизонтальную поверхность без учета облачности и с учетом облачности, за 1999–2002 гг.

Месяц	$\mathcal{E}_{\text{б}0}^1$, кВт·ч/м ²	$\mathcal{E}_{\text{с}0}^2$, кВт·ч/м ²			
		1999	2000	2001	2002
Январь	30,1	14,1	20,5	16,1	17,8
Февраль	52,7	30,4	43,8	32,5	28,8
Март	107,7	58,6	69,03	49,6	57,6
Апрель	164,9	89,0	84,2	74,7	85,5
Май	227,3	115,6	111,9	87,8	122,6
Июнь	248,5	145,3	118,4	124,3	130,8
Июль	242,7	133,9	101,5	122,8	108,3
Август	192,7	103,4	108,5	90,9	76,1
Сентябрь	125,5	63,4	68,9	61,5	69,7
Октябрь	73,1	30,4	40,7	36,0	29,9
Ноябрь	35,2	19,8	16,8	15,2	20,7
Декабрь	22,7	10,5	11,9	11,4	13,9
\mathcal{E}_r^3	1523,6	815,0	796,6	723,3	762,3

$\mathcal{E}_{\text{б}0}^1$ — энергия, поступающая на горизонтальную поверхность без учета облачности; $\mathcal{E}_{\text{с}0}^2$ — энергия, поступающая на горизонтальную поверхность с учетом облачности; \mathcal{E}_r^3 — поступление энергии за год

Итак, облачность оказывает существенное влияние на приход солнечной радиации. На основании исследования можно сделать вывод о необходимости обязательного учета облачности при оценке экономической эффективности использования солнечных энергетических установок. Предлагаемые методика и программа Sun-MCA позволяют учесть влияние облачности на количество солнечной радиации по данным метеостанций и предоставляют необходимые исходные данные для дальнейших расчетов.

Литература

1. Мингалеева Р.Д., Зайцев В.С., Бессель В.В. Оценка технического потенциала ветровой и солнечной энергетики России // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2014. № 3. С. 84-92.
2. Исаков С.В., Шкляев В.А. Оценка поступления солнечной радиации на естественные поверхности с применением геоинформационных систем // Географический вестник. 2012. № 1. С. 72-80.
3. Hossain J., Mahmud A. Renewable energy integration. Challenges and solutions. – Springer Singapore Heidelberg; New York; Dordrecht; London, 2014. 447 p.
4. Kreith F., Goswami D.Y. Handbook of energy efficiency and renewable energy. CRC Press, 2007. 560 p.
5. Battisti R., Corrado A. Evaluation of technical improvements of photovoltaic systems through life cycle assessment methodology // Energy. 2005. Vol. 30. P. 952-967.
6. Camacho E.F. Berenguel M., Rubio F.R., Martínez D. Control of solar energy systems. Springer-Verlag. London Limited, 2012. XXXIV. 416 p.
7. Enteria N., Akbarzadeh A. Solar energy sciences and engineering applications. Taylor and Francis - CRC Press. UK, 2013. 665 p.
8. Foster R., Ghassemi M., Cota A. Solar energy: renewable energy and the environment. Boca Raton: CRC Press. 2010. 352 p.
9. Китаева М.В., Юрченко А.В., Охорзина А.В., Скороходов А.В. Автономная система слежения за солнцем для солнечной энергосистемы // Ползуновский вестник. 2011. № 3-1. С. 196-199.
10. Китаева М.В., Юрченко А.В., Скороходов А.В., Охорзина А.В. Системы слежения за солнцем // Вестник науки Сибири. 2012. № 3 (4). С. 61-67.
11. Boata St R, Gravila P. Functional fuzzy approach for forecasting daily global solar irradiation. Atmos Res. P. 77-88.
12. Chakraborty S. Power electronics for renewable and distributed energy systems: a sourcebook of topologies, control and integration. Springer-Verlag. London, 2013. 609 p.
13. Бутузов В.В. Расчетные значения интенсивности солнечной радиации для проектирования гелиоустановок // Альтернативная энергетика и экология. 2009. № 11. С. 75-80.
14. Тюхов И.И., Раупов А.Х. Мониторинг погодноклиматических условий для солнечной энергетики // Альтернативная энергетика и экология. 2014. № 2 (142). С. 99-108.
15. Абакумова Г.М., Незваль Е.И., Шиловцева О.А. Влияние кучевой облачности на рассеянную и суммарную ультрафиолетовую, фотосинтетически активную и интегральную солнечную радиацию // Метеорология и гидрология. 2002. № 7. С. 29-40.
16. Atwater M.A., Ball J.T. Effects of clouds on insolation models // Solar Energy. 1981. 27:1. P. 37-44.
17. Vowinkel E. Orvig S. Relation between solar radiation income and cloud type in the Arctic // J. Appl. meteor. 1962. 1. P. 552-559.
18. Радионов В.Ф., Русина Е.Н., Сибир Е.Е. Специфика многолетней изменчивости суммарной солнечной радиации и характеристик прозрачности атмосферы в полярных областях // Проблемы Арктики и Антарктики. 2007. № 76. С. 131-136.
19. Blackburn W.J. Estimation of diffuse radiation components under partial cumulus cloud cover // Solar energy. 1982. 29:5. P. 441-443.
20. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К.; Солнечная энергетика: / под ред. Виссарионова В.И. 2-е изд., стер. М.: Издательский дом МЭИ, 2011. 276 с.
21. Сивков С.И. Методы расчета характеристик солнечной радиации. Л.: Гидрометеиздат, 1968. 185 с.

References

1. Mingaleeva R.D., Zaitsev V.S., Bessel' V.V. Assessment of technical potential of wind and solar energy in Russia // Territoriya «NEFTEGAZ». 2014. № 3. P 84-92.
2. Isakov S.V., Shklyayev V.A. Estimation of solar radiation on natural surfaces with the use of geographic information systems // Geograficheskii vestnik. 2012. № 1. P. 72-80.
3. Hossain J., Mahmud A. Renewable energy integration. Challenges and solutions. Springer Singapore Heidelberg; New York; Dordrecht; London, 2014. 447 p.
4. Kreith F., Goswami D.Y. Handbook of energy efficiency and renewable energy. CRS Press, 2007. 560 p.
5. Battisti R., Corrado A. Evaluation of technical improvements of photovoltaic systems through life cycle assessment methodology // Energy. 2005. Vol. 30. P. 952-967.
6. Camacho E.F. Berenguel M., Rubio F.R., Martínez D. Control of solar energy systems. Springer-Verlag. London Limited, 2012. XXXIV. 416 p.
7. Enteria N., Akbarzadeh A. Solar energy sciences and engineering applications. Taylor and Francis - CRC Press. UK, 2013. 665 p.
8. Foster R., Ghassemi M., Cota A. Solar energy: renewable energy and the environment. Boca Raton: CRC Press. 2010. 352 p.
9. Kitaeva M.V., Yurchenko A.V., Okhorzina A.V., Skorokhodov A.V. Autonomous sun tracking system for solar power system // Polzunovskii vestnik. 2011. № 3-1. P. 196-199.
10. Kitaeva M.V., Yurchenko A.V., Skorokhodov A.V., Okhorzina A.V. Sun tracking system // Vestnik nauki Sibiri. 2012. № 3 (4). P. 61-67.
11. Boata St R, Gravila P. Functional fuzzy approach for forecasting daily global solar irradiation. Atmos Res. P. 77-88.
12. Chakraborty S. Power electronics for renewable and distributed energy systems: a sourcebook of topologies, control and integration. Springer-Verlag. London, 2013. 609 p.
13. Butuzov V.V. Simulated values of solar intensity for solar plant design // Al'ternativnaya energetika i ekologiya. 2009. № 11. P. 75-80.
14. Tyukhov I.I., Raupov A.Kh. Monitoring of climate-weather conditions for solar energy // Al'ternativnaya energetika i ekologiya. 2014. № 2 (142). P. 99-108.
15. Abakumova G.M., Nezval' E.I., Shilovtseva O.A. Influence of cumulus clouds on diffuse and total ultraviolet, photosynthetically active, and integral solar radiation // Meteorologiya i gidrologiya. 2002. № 7. P. 29-40.
16. Atwater M.A., Ball J.T. Effects of clouds on insolation models // Solar Energy. 1981. 27:1. P. 37-44.
17. Vowinkel E. Orvig S. Relation between solar radiation income and cloud type in the Arctic // J. Appl. meteor. 1962. 1. P. 552-559.
18. Radionov V.F., Rusina E.N., Sibir E.E. Specifics of long-term variability of total solar radiation and characteristics of the transparency of the atmosphere in the polar regions // Problemy Arktiki i Antarktiki. 2007. № 76. P. 131-136.
19. Blackburn W.J. Estimation of diffuse radiation components under partial cumulus cloud cover // Solar energy. 1982. 29:5. P. 441-443.
20. Vissarionov V.I., Deryugina G.V., Kuznetsova V.A., Malinin N.K. Solar power: ucheb. posobie dlya vuzov. M.: Izdatel'skii dom MEI, 2011. 276 p.
21. Sivkov S.I. Methods for calculating the characteristics of solar radiation. L.: Gidrometeoizdat, 1968. 185 p.