

УДК 621.311.42

**ОБ ОЦЕНКЕ ПОТЕНЦИАЛА СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ  
НА НАЧАЛЬНОМ ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

*Ю. В. Даус, инженер-исследователь*

*Азово-Черноморский инженерный институт*

*ФГБОУ ВО Донской ГАУ, г. Зерноград*

*e-mail [zirochka2505@gmail.com](mailto:zirochka2505@gmail.com)*

*В. В. Дьяченко, кандидат технических наук, доцент*

*Запорожский национальный технический университет*

*e-mail [tratata1964@mail.ru](mailto:tratata1964@mail.ru)*

**Аннотація.** *Первоочередной задачей проектирования генерирующих объектов на основе преобразования солнечной энергии является предпроектное исследование ресурса солнечной энергии в местах их предполагаемого размещения. Целью исследования в статье является оценка потенциала солнечной энергии в условиях отсутствия полного массива необходимых метеорологических измерения для гелиотехнических расчетов. Для оценки потенциала солнечной энергии использовалась методика, основанную на комбинации метода применения дневного профиля поступления солнечного излучения на горизонтальную поверхность при чистом небе и данными метеорологических спутниковых измерений базы данных NASA с учетом климатических особенностей региона с последующим пересчетом на поверхность заданной пространственной ориентации и интерполяцией на координатную сетку района. Также для анализа точности результатов, полученных с помощью этой методики были проведены экспериментальные исследования. Снятие вольтамперных характеристик фотоэлектрического модуля и определение его выходной мощности проводились при естественном солнечном свете в летне-осенний период 2016 года на незатеняемой соседними строительными конструкциями и зелеными насаждениями площадке в точке с конкретными географическими координатами. Результаты проверки адекватности предложенной экспресс-методики оценки потенциала солнечной энергии показали, что полученное значение погрешности допустимое и не превышает 10 %. Отличие фактической актинометрической информации от расчетной обусловлено тем, что расчетная модель основывается на данных, усредненных за 22 года, а эксперимент проводился для конкретного дня одного*

года. В качестве дальнейшего направления исследований рассматривается организация мониторинга характеристик солнечного излучения в течение нескольких лет, анализ полученного расчетного и экспериментального массива данных с целью уточнения предложенной методики экспресс-оценки потенциала солнечной энергии.

**Ключевые слова:** потенциал солнечной энергии, географические координаты, горизонтальная приемная поверхность, суммы приходящего солнечного излучения

**Актуальность.** Количество энергии, которое поступает на поверхность Земли от Солнца в течение недели, превышает энергию всех мировых запасов таких углеводородных видов топлива как нефть, газ, уголь, а так же урана. Преобразование мощности, поступающей от Солнца позволит удовлетворить практически полностью потребность человечества в энергии на многие годы. При этом солнечная энергетика – «чистая» и не оказывает отрицательного влияния на экологию. Первоочередной задачей проектирования генерирующих объектов на основе преобразования солнечной энергии является предпроектное исследование ресурса солнечной энергии в местах их предполагаемого размещения [1].

**Анализ последних исследований и публикаций.** Сейчас существует большое количество таблиц и карт потенциала солнечной энергии, разрабатывается целый ряд атласов с территориями районов благоприятных для строительства солнечных электростанций с учетом ряда природных, экологических, технических, экономических, социальных факторов, а также карт земельных ресурсов; транспортных сетей; особо охраняемых территорий; карта проживания населения; карты динамики энергопотребления.

Такие карты позволяют проанализировать потенциал солнечной энергии на всей территории рассматриваемого региона, выделить наиболее благоприятные районы для размещения солнечных энергетических установок, максимально приблизить проектируемый источник генерации электрической энергии к потребителю, таким образом снизив затраты на её передачу и преобразования в

электрических сетях. Однако для расчета и выбора параметров элементов солнечной электростанции необходимо знать часовые суммы всех составляющих приходящего солнечного излучения в течение года, что позволит также спрогнозировать график выработки электрической энергии и согласовать его с графиком нагрузки потребителя. С этой целью необходимо проводить дополнительные экспериментальные и расчетные исследования характеристик солнечного излучения.

Примеры расчета валового, технического и экономического потенциала солнечной энергии как для отдельных регионов, так и для территории страны в целом, которые представлены в целом ряде работ [2], позволяют выявить лишь перспективные и благоприятные районы размещения солнечных энергетических установок, и также не являются источником информации, достаточной для определения их состава, мощности и прогнозирования режима работы.

В условиях отсутствия данных долговременных метеорологических измерений используются семь основных подходов определения плотности приходящего потока солнечной радиации [3]. Все эти методы требуют оценки их точности по сравнению с данными с близлежащих к расчетной точке метеорологических станций. Кроме того, некоторые из них позволяют рассчитать только прямую составляющую солнечной радиации, а другие дают завышенные значения суммарной солнечной радиации, что говорит о том, что они не могут использоваться напрямую для гелиотехнических расчетов. Сами же алгоритмы, обладающие наибольшей точностью, требуют введения разнообразных поправочных коэффициентов.

Таким образом, кроме основной задачи оценки потенциала солнечной энергии места установки энергетического оборудования возникает ряд задач, связанных с ограниченностью исходной информации, отсутствием полного объема данных для гелиотехнических расчетов, необходимостью учета

климатических особенностей региона и территорий, проведением большого объема вычислений [1].

**Цель исследования** – оценка потенциала солнечной энергии в условиях отсутствия полного массива необходимых метеорологических измерения для гелиотехнических расчетов.

**Материалы и методы исследования.** Для оценки потенциала солнечной энергии используем методику, представленную в [4], основанную на комбинации метода применения дневного профиля поступления солнечного излучения на горизонтальную поверхность при чистом небе и данными метеорологических спутниковых измерений базы данных NASA с учетом климатических особенностей региона с последующим пересчетом на поверхность заданной пространственной ориентации и интерполяцией на координатную сетку района.

Часовые значения суммарной солнечной радиации для дня  $n$  в момент времени  $t$  при реальных условиях облачности, приходящую на произвольно наклоненную под углом  $\beta$  приемную поверхность с азимутом  $\gamma$  [4, 6]:

$$R_{sum\ t\ n} = R_{np\beta\gamma} + R_{pac\beta\gamma} + R_{omp\beta\gamma} = R_{np} \cdot \frac{\cos u_m}{\cos \theta} + R_{pac} \cdot \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + (R_{np} + R_{pac}) \cdot r_3 \cdot \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (1)$$

где  $R_{np\beta\gamma}, R_{pac\beta\gamma}, R_{omp\beta\gamma}$  - часовые суммы прямой, рассеянной и отраженной интенсивности солнечной излучения для дня  $n$  в момент времени  $t$  на произвольно наклоненную под углом  $\beta$  приемную поверхность с азимутом  $\gamma$ , кВт·ч/м<sup>2</sup>;  $r_3$  - коэффициент отражения земной поверхности (альбедо),  $u_m$  - угол падения прямого солнечного излучения на произвольно наклоненную под углом  $\beta > 0$  приемную площадку с азимутом  $\gamma$ , и определяется согласно [5] по формуле:

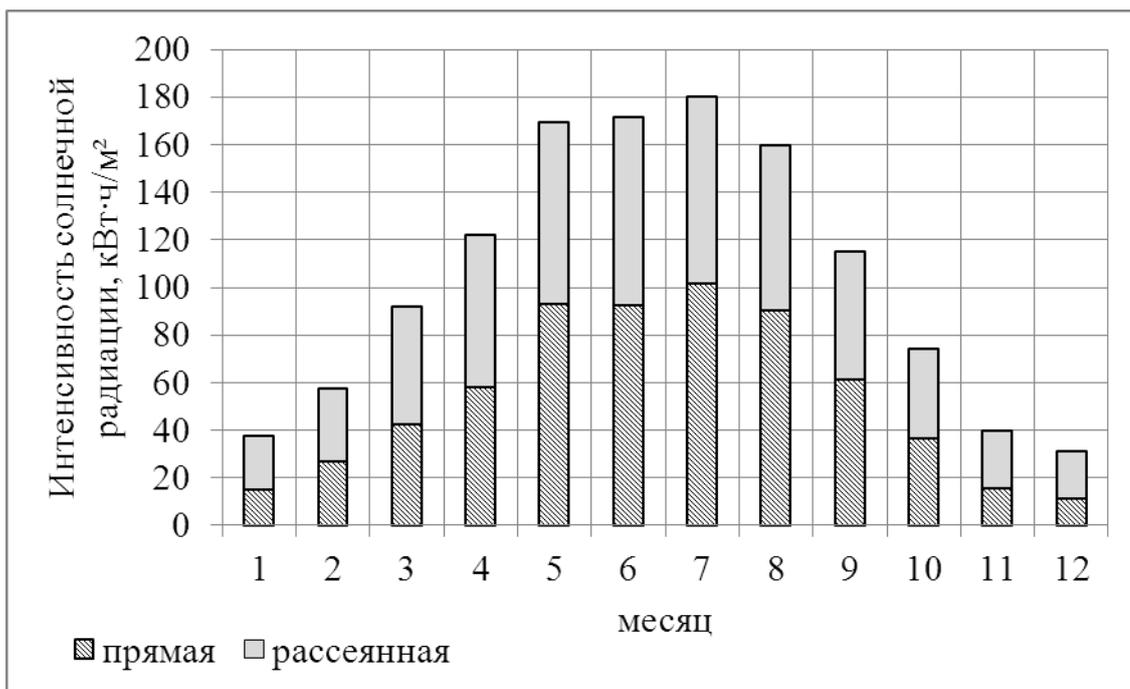
$$\cos u_m = (\sin \varphi (\sin \delta \cos \beta + \cos \delta \cos \gamma \cos \omega \sin \beta) + \cos \varphi (\cos \delta \cos \omega \cos \beta - \sin \delta \cos \gamma \sin \beta) + \cos \delta \sin \gamma \sin \beta \sin \omega) \quad (2)$$

Расчет согласно предложенной методика оценки потенциала солнечной энергии в заданной географической точке проводим в компьютерной программе для ЭВМ [4, 6].

Также для анализа точности используемой методики были проведены экспериментальные исследования: снятие вольтамперных характеристик фотоэлектрического модуля и определение её выходной мощности проводились при естественном солнечном свете в летне-осенний период 2016 года на незатеняемой соседними строительными конструкциями и зелеными насаждениями площадке согласно [6] в точке с географическими координатами 46,8°с.ш. 40,3°в.д. (г. Зерноград Ростовская область).

**Результаты исследований и их обсуждение.** Наиболее простыми для размещения солнечной электростанции при её проектировании являются плоские крыши так как их форма повторяет поверхность горизонтально располагаемых гелиополей на поверхности Земли, по отношению к которым в настоящее время достаточно обширно разработаны проектные требования [3]. Были рассчитаны месячные и годовая суммы прямой и рассеянной солнечной радиации, приходящей на горизонтальную приемную поверхность для точки с географическими координатами города Зернограда Ростовской области (рис. 1) . Годовой потенциал солнечной энергии указанного населенного пункта оставляет 1250,2 кВт·ч/м<sup>2</sup>.

Из рис.1 видно, что доля рассеянной радиации велика, и с середины осени до середины весны она даже превышает прямую радиацию и составляет от 51,0 % осенью и весной до 63,55 % – зимой. В остальное же время рассеянная радиация соизмерима с прямой и составляет значение от 43,5 % – 46,9 %. То есть для рассматриваемого региона очень важно учитывать все составляющие солнечного излучения при расчете потенциала солнечной энергии, так как это позволит сократить мощность выбираемого оборудования и снизить капитальный затраты.



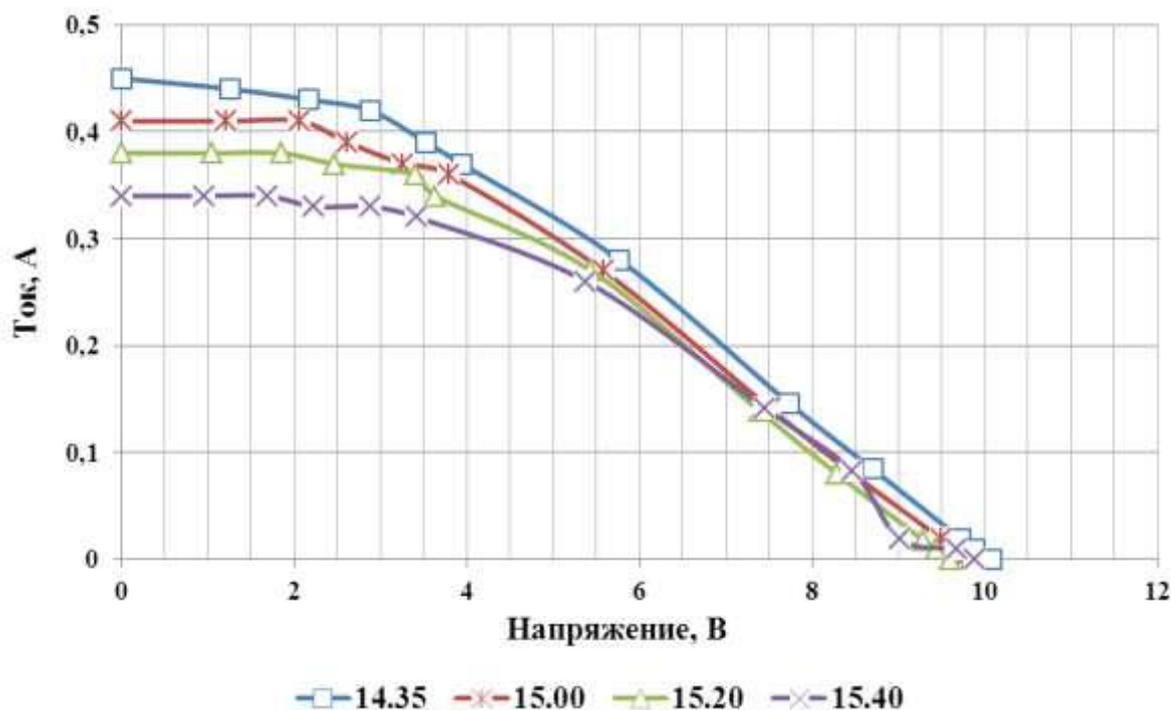
**Рис.1. Месячные суммы суммарной солнечной радиации на горизонтальную приемную поверхность**

В течение года величина месячного количества приходящего солнечного излучения варьируется от 31,15 кВт·ч/м<sup>2</sup> в декабре до 180,3 кВт·ч/м<sup>2</sup> в июля, при этом в период самой низкой солнечной активности с ноября по февраль она составляет 31,1 – 37,6 кВт·ч/м<sup>2</sup>, а в период высокой активности – 159,7 – 180,3 кВт·ч/м<sup>2</sup>.

Результаты проведенного экспериментального исследования позволили построить вольт-амперные характеристики фотоэлектрического модуля, полученные согласно методике экспериментальных исследований (рис. 2).

Результаты проверки адекватности используемой экспресс-метода оценки потенциала солнечной энергии показали, что полученное значение погрешности допустимое и не превышает 10 %. Отличие фактической актинометрической информации от расчетной обусловлено тем, что расчетная модель основывается на данных, усредненных за 22 года, а эксперимент проводился для конкретного дня одного года. На мгновенное значение интенсивности суммарного солнечного излучения влияет облачность, которая может, как изменяться

динамично в течение короткого периода времени (даже несколько минут), так и быть отличной для одного и того же дня в разные года.



**Рис.2. ВАХ фотоэлектрического модуля для различных периодов времени**

**Выводы и перспективы.** Оценка потенциала солнечной энергии в г. Зернограде Ростовской области выделила район как территорию перспективную для использования установок на основе преобразования солнечной энергии в электрическую.

Годовой потенциал солнечной энергии для г. Зернограда Ростовской области на горизонтальную поверхность составляет 1250,2 кВт·ч/м<sup>2</sup>. При этом доля рассеянной радиации велика, и с середины осени до середины весны она превышает прямую. В течение года величина месячного количества приходящего солнечного излучения варьируется от 31,15 кВт·ч/м<sup>2</sup> в декабре до 180,3 кВт·ч/м<sup>2</sup> в июле.

Результаты проверки адекватности предложенной экспресс-методики оценки потенциала солнечной энергии показали, что полученное значение погрешности допустимое и не превышает 10 %. Отличие фактической актинометрической информации от расчетной обусловлено тем, что расчетная модель основывается на данных, усредненных за 22 года, а эксперимент проводился для конкретного дня одного года.

В качестве дальнейшего направления исследований рассматривается организация мониторинга характеристик солнечного излучения в течение нескольких лет, анализ полученного расчетного и экспериментального массива данных с целью уточнения предложенной методики экспресс-оценки потенциала солнечной энергии.

### **Список литературы**

1. Климатические факторы возобновляемых источников энергии / В.В. Елистратов [и др.]. – Санкт-Петербург: Наука, 2010. – 235 с.
2. Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России: учебное пособие / П.П. Безруких [и др.]. – М.: Книга-Рента, 2008. – 128 с.
3. Atwater, M. A numerical solar radiation model based on standard meteorological observation. [Text] / M. Atwater, J.T. Ball // Solar Energy. – 1978. – Vol. 21. – P. 163–170
4. Daus Yu. V. Evaluation of Solar Radiation Intensity for the Territory of the Southern Federal District of Russia when Designing Microgrids Based on Renewable Energy Sources/ Yu. V. Daus, V. V. Kharchenko, and I. V. Yudaev //, Applied Solar Energy. – 2016. - Vol. 52, No. 2. – pp. 124–129.
5. Солнечная энергетика: Учебное пособие для вузов / В.И. Виссарионов [и др.]; Под ред. В.И. Виссарионова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 317 с.
6. Свидетельство № 2016612047 Российская Федерация. Оценка потенциала солнечной энергии в заданной точке Южного федерального округа: свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ / Ю.В. Даус, В.В. Харченко, И.В. Юдаев; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО «Донской ГАУ». – № 2015662511; заявл. 18.12.2015; зарегистр. 18.02.2016. – 1 с.

### **References**

1. Elistratov, V.V. et al. (2010). Klimaticheskie faktory vozobnovljaemyh istochnikov jenergii [Climatic factors of renewable energy sources]. Saint-Petersburg: Nauka.

2. Bezrukih, P.P. et al. (2008). Resursy i jeffektivnost' ispol'zovanija vozobnovljaemyh istochnikov jenerгии v Rossii: uchebnoe posobie [Resources and Efficiency of Renewable Energy Sources in Russia: Tutorial]. Moscow: Kniga–Renta.
3. Atwater, M., & Ball, J.T. (1978). A numerical solar radiation model based on standard meteorological observation. *Solar Energy*, 21, 163–170.
4. Daus, Yu. V., Kharchenko, V. V., & Yudaev, I. V. (2016). Evaluation of Solar Radiation Intensity for the Territory of the Southern Federal District of Russia when Designing Microgrids Based on Renewable Energy Sources. *Applied Solar*, 52, 2, 124–129.
5. Vissarionov, V.I. et al. (2008). Solnechnaja jenergetika: Uchebnoe posobie dlja vuzov [Solar energy: A textbook for high schools]. Moscow: Izdatel'skij dom MJeI.
6. Daus, Ju.V., Kharchenko, V.V., & Judaev, I.V. (2016 c). Poisk optimal'nogo ugla naklona prijomnoj ploshhadki odnositel'no gorizonta v zadannoj tochke Juzhnogo federal'nogo okruga [Search for the optimal inclination angle of the receiving area relative to the horizon at a given point in the Southern Federal District] [computer software]. Russian Federation: FGBOU VO «Donskoj GAU».

## **ПРО ОЦІНКУ ПОТЕНЦІАЛУ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ПОЧАТКОВОМУ ЕТАПІ ПРОЕКТУВАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ УСТАНОВОК**

**Ю. В. Даус, В. В. Дьяченко**

**Анотація.** Першочерговим завданням проектування генеруючих об'єктів на основі перетворення сонячної енергії є передпроектне дослідження ресурсу сонячної енергії в місцях їх передбачуваного розміщення. Метою дослідження в статті є оцінка потенціалу сонячної енергії в умовах відсутності повного масиву необхідних метеорологічних вимірювань для геліотехнічних розрахунків. Для оцінки потенціалу сонячної енергії використовувалася методика, яка базується на комбінації методу застосування добового профілю надходження сонячного випромінювання на горизонтальну поверхню за умов ясної погоди і даних метеорологічних супутникових вимірювань бази даних NASA з урахуванням кліматичних особливостей регіону з наступним перерахунком на поверхню заданої просторової орієнтації і інтерполяцією на координатну сітку району. Також для аналізу точності результатів, отриманих за допомогою цієї методики були проведені експериментальні дослідження. Зняття вольтамперних характеристик фотоелектричного модуля проводилось при природному сонячному світлі в літньо-осінній період 2016 року на незатіненому сусідніми будівельними конструкціями і зеленими насадженнями майданчику в точці з конкретними географічними координатами. Результати перевірки адекватності запропонованої експрес-методики оцінки потенціалу сонячної енергії показали, що отримане значення похибки допустиме і не перевищує 10%. Відмінність фактичної актінометричної інформації від розрахункової обумовлено тим, що розрахункова модель ґрунтується на даних, усереднених за

22 роки, а експеримент проводився для конкретного дня одного року. Як подальше направлення досліджень розглядається організація моніторингу характеристик сонячного випромінювання протягом кількох років, аналіз отриманого розрахункового та експериментального масиву даних з метою уточнення запропонованої методики експрес-оцінки потенціалу сонячної енергії.

**Ключові слова:** *потенціал сонячної енергії, географічні координати, горизонтальна приймальня поверхня, суми сонячного випромінювання, що приходять*

## **ON ASSESSMENT OF SOLAR ENERGY POTENTIAL AT THE INITIAL STAGE OF DESIGNING PHOTOELECTRIC INSTALLATIONS**

*Yu. Daus, V. Dyachenko*

**Abstract.** *The primary task of designing generating facilities based on the solar energy conversion is the pre-project study of the solar energy resource in the places where they are supposed to be located. The purpose of the research in the article is to estimate the solar energy potential in the absence of the complete array of necessary metrological measurements for solar engineering calculations. To estimate the solar energy potential, there was used technique based on the combination of the method of applying the daily solar radiation profile to the horizontal surface under the clear sky and data from meteorological satellite measurements of the NASA database, taking into account the climatic features of the region, followed by recalculation on the surface of the certain spatial orientation and interpolation to the coordinate grid of the district. There were also conducted experimental studies to analyze the accuracy of the results obtained by this technique. The volt-ampere characteristics of the photovoltaic module and the determination of its output power were taken under natural sunlight conditions in the summer-autumn period of 2016 on the site that is not shaded by neighboring building structures and green plantations at the point with specific geographic coordinates. The results of checking the adequacy of the proposed express methodology for estimating the solar energy potential have shown that the obtained error value is acceptable and does not exceed 10%. The difference between the actual actinometric information and the calculated one is caused by the fact that the calculation model is based on data that is averaged over 22 years, and the experiment was carried out for the specific day of one year. As a further direction of research, there is considered organization of monitoring solar radiation characteristics for several years, analysis of the calculated and experimental data array to clarify the proposed methodology for express estimation of the solar energy potential.*

**Key words:** *solar energy potential, geographical coordinates, horizontal receiving surface, sums of incoming solar radiation*