

ВЛИЯНИЕ ОРИЕНТАЦИИ ЛУЧЕВОСПРИНИМАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОЛНЕЧНЫХ МОДУЛЕЙ

*В. В. Харченко, доктор технических наук
Б. А. Никитин, В. А. Майоров, В. А. Гусаров, А. Т. Беленов,
С. А. Ракитов, кандидаты технических наук
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Всероссийский институт электрификации сельского
хозяйства» (ФГБНУ ВИЭСХ), г. Москва
e-mail: kharval@mail.ru*

Аннотация. Рассмотрена зависимость выбора конструктивного решения установки с модулями солнечных батарей (стационарная или с системой слежения) от географической широты места расположения и временного периода эксплуатации (даты года и времени суток), проведён ориентировочный расчёт и сопоставление удельной выработки электроэнергии стационарной установкой и гелиоустановкой с системой слежения за положением Солнца для сравнения их энергетической эффективности. Предложено использовать отдельные фрагменты этой методики для оценки зависимости эффективной длительности светлой части суток в случаях монтажа солнечных батарей на крышах и стенах зданий.

Ключевые слова: солнечная батарея, положение Солнца, генерация электроэнергии, стационарная установка, система слежения.

Энергетическая эффективность работы фотоэлектрических модулей солнечных батарей (СБ) представляется важной задачей, особенно, когда они функционируют в качестве *основных* источников генерации электроэнергии.

Одним из самых распространённых и технически наиболее просто реализуемых вариантов их использования в наземных условиях является стационарное размещение конструкций. Этот вариант предусматривает как обособленную установку конструкции на поверхности земли с ориентацией лучевоспринимающей поверхности СБ на полуденное положение Солнца в заданной географической местности с учётом выбранного времени года, так и СБ, монтируемые на скатах крыш и стенах зданий, имеющих юго-восточную, южную или юго-западную ориентацию. Однако в любом случае утром и вечером лучи Солнца падают на рабочие поверхности фотопреобразователей под достаточно малыми углами, что заметно снижает эффективность их работы.

Использование для устранения этого недостатка автоматических устройств постоянного слежения за положением Солнца на небосводе в течение всего светового дня значительно усложняет конструкцию, увеличивает её стоимость и требует дополнительных затрат энергии, которая в местах установки СБ может быть весьма дефицитной [1]. А при размещении СБ на скатах крыш и стенах зданий применение систем слежения технически невозможно.

Цель исследований – определение влияния ориентации лучевоспринимающей поверхности на эффективность солнечных модулей.

Материалы и методика исследований. В ряде работ [2,3,4] предлагались выражения для расчётов угловой высоты солнечного диска над горизонтом для ориентации лучевоспринимающей поверхности СБ к поступающему солнечному излучению в данных конкретных случаях. Поэтому была поставлена задача разработать *методику* расчетного определения углового расположения солнечного диска на небосводе в течение всего светового дня для любой заданной географической точки. Это позволило бы более обоснованно выбрать конструктивное решение СБ: стационарное размещение под наиболее оптимальным углом или с применением системы слежения.

Результаты исследований. В общем виде для любой местности земного шара, с учетом дня и месяца года и времени суток, угловая высота центра солнечного диска над горизонтом h_o зависит от:

– географической широты заданной местности φ (для заданной местности угол φ величина постоянная).

– угла β , связанного с изменением в течение года склонения Солнца относительно плоскости экватора земного шара. Изменение угла β в течение года обусловлено наклоном оси вращения земного шара относительно плоскости орбиты Земли вокруг Солнца. Экстремальные значения этого угла соответствуют дням летнего и зимнего солнцестояния и составляют $\pm 23,5^\circ$, а в дни весеннего и осеннего равноденствия угол β равен 0° .

– угла ω , определяемого суточным вращением земного шара и временем t после или до момента полуденного положения Солнца, т. е. когда солнечный диск достигает в выбранной местности максимальной угловой высоты.

Угол склонения β зависит от годового угла w и определяется выражением:

$$\beta = \eta \sin w, \quad (1)$$

где η – угол между осью вращения Земли и полюсом Мира ($\eta = 23,5^\circ$),

угол w – соответствует вращению Земли вокруг Солнца и может быть выражен соотношением:

$$w = 2\pi / N_T \cdot (N_0 - N), \quad (2)$$

где N_T – количество дней в году;

N – текущий день в году;

N_0 – число дней от начала года до дня равноденствия.

Склонение β можно также определить по приближенной формуле Купера. Округлённые значения величин склонения по месяцам года приведены в таблице.

Годовой ход изменения склонения Солнца β , °

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Величина β	-21	-14	-3	9	19	23	21	14	2	-10	-19	-23

Величина угла ω , в силу равномерного вращения земного шара вокруг своей оси, определяется по формуле:

$$\omega = t \cdot 360^\circ / 24\text{ч} = t \cdot 15^\circ / \text{ч}, \quad (3)$$

где 24 ч – период вращения Земли вокруг своей оси.

Зная для данной местности, момента времени суток и даты года трех перечисленных выше углов ω , β и φ , можно рассчитать продолжительность светлого солнечного времени суток. На рис.1 представлены зависимости длительности светлой части суток от времени года для местностей на географических широтах: 57° с.ш. (~ Москва) и 40° с.ш. (~ Джизак, Узбекистан).

Из анализа расчётных зависимостей следует, что теоретически (без учёта наличия облачности) продолжительность светового дня плавно меняется от сезона к сезону.

Основой для расчёта работы СБ с точным слежением является зависимость часового угла ω_H движения Солнца от угла склонения β и широты φ [5]:

$$\cos \omega_H = \text{tg} \beta \cdot \text{tg} \varphi. \quad (4)$$

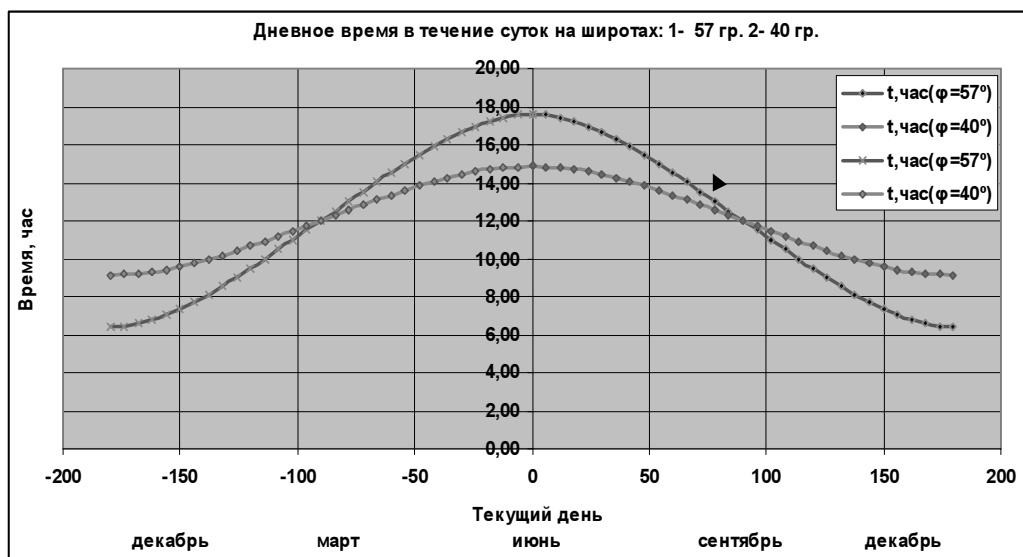


Рис. 1. Характер изменения светлого (солнечного) времени суток в течение года для широт: 57° (~ Москва); 40° (~ Джизак)

На основании формулы (2) рассчитывается зимнее (декретное) время t_3 работы СБ со слежением:

$$t_s = 2 \frac{\arccos \operatorname{tg} \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi}{a}, \quad (5)$$

где $\alpha = 15^\circ/\text{час}$.

Летнее время t_n работы СБ со слежением выражается соотношением:

$$t_n = 2 \frac{\pi - \arccos \operatorname{tg} \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi}{a}. \quad (6)$$

Стационарно установленные модули СБ не имеют системы слежения за положением Солнца на небосводе. Основой расчета времени работы планарных СБ является зависимость часового угла ω_n от угла склонения β .

Графики времени работы солнечных батарей: стационарной на широте 45° и с точным слежением за положением Солнца на широтах 40° и 57° представлен на рис. 2.

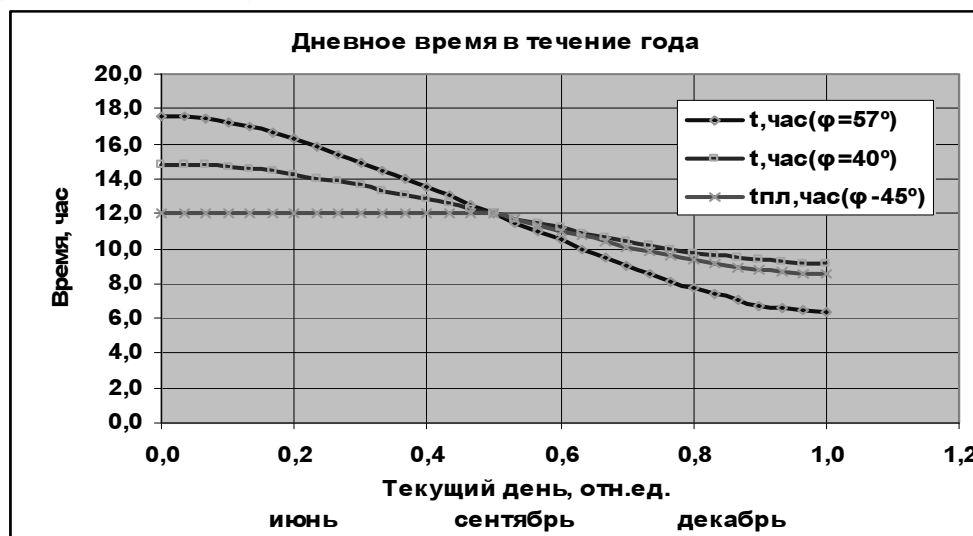


Рис. 2. Графики времени работы солнечных батарей: стационарной СБ на широте 45° и СБ с точным слежением на широтах 40° и 57°

На рис. 3 представлена зависимость выработки энергии стационарных СБ и СБ с концентраторами со слежением (площадью 1 м^2) от текущего дня в течение года (июнь – декабрь), на широтах $\varphi=40^\circ$ и $\varphi=57^\circ$.

Из приведенных сравнительных характеристик видно, что СБ с точным слежением за положением Солнца в 1,32 раза вырабатывает больше энергии в году, чем соответствующая стационарная планарная СБ, однако конструкция усложняется введением специального блока системы слежения, использованием подвижных несущих конструкций, усложнённой электрокоммутацией, наличием ограничителей поворота и т. д. Стационарная СБ с концентратором вырабатывает по отношению к планарной СБ на 19% меньше энергии в году, но его конструкция содержит меньше дорогостоящих фотопреобразователей (приблизительно пропорционально его коэффициенту концентрации К). Что касается СБ, смонти-

рованных на скатах крыш и стенах зданий, то предложенные формулы (1), (2), (3) помогут оценить зависимости *эффективной* длительности светлой части суток от времени года для местностей на разных географических широтах и с учётом углов наклона скатов крыш и их азимутальной ориентации.

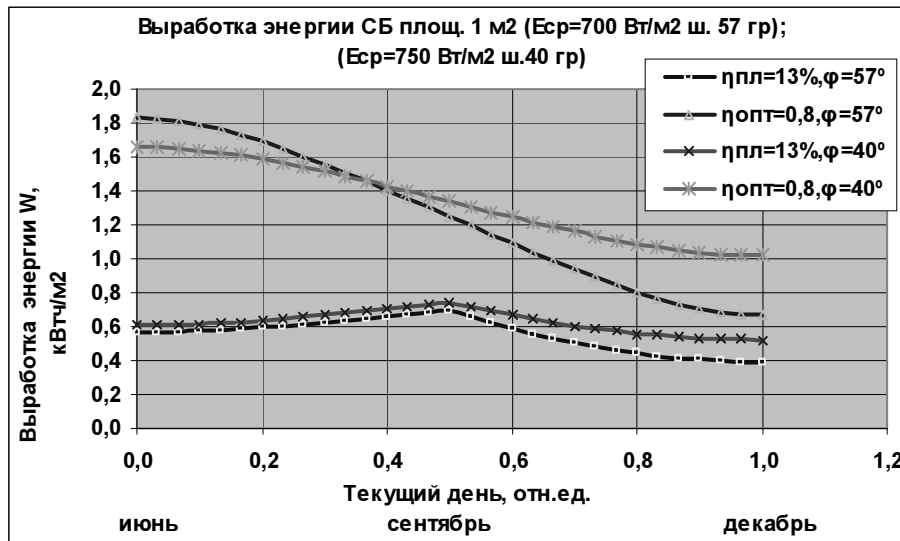


Рис. 3. Зависимость выработки энергии стационарных СБ с $\eta_{сэ}=0,13$ и СБ со слежением (площадью 1 м²) с оптическим КПД =0,8 и $\eta_{сэ}=0,13$ от текущего дня в течение года (июнь – декабрь), на широтах: 57° при средней интенсивности солнечного излучения $E_{cp}=700$ Вт/м² (~ Москва) и 40° при средней интенсивности солнечного излучения $E_{cp}=750$ Вт/м² (~ Джизак)

Выводы

Таким образом, окончательный выбор между стационарной конструкцией СБ и конструкцией с использованием системы слежения, а также выбор размещения СБ на крышах зданий зависит от технико-экономических параметров таких конструктивных решений, получаемой экономической и энергетической эффективности, особенностей условий эксплуатации и других факторов, каждый из которых требует дополнительного анализа.

Список литературы

1. Никитин. Б. А. К вопросу повышения суточной эффективности работы фотопреобразователей в наземных условиях путём выбора оптимальных вариантов коррекции их ориентации относительно положения солнца / Б. А. Никитин, В. А. Гусаров // Вестник ВИЭСХ. Серия «Электротехнология и энергетика сельского хозяйства». – М. : ГНУ ВИЭСХ, 2008. – Вып.1 (3). – С. 82–86.
2. Елистратов В. В. Солнечные энергоустановки / В. В. Елистратов, Е. С. Аронова. – С.-Пб : Изд-во Политехнического Университета, 2012. – С. 30–39.
3. Matthew, Buresch. Photovoltaig power generation. Mc Crow – Hill Book.Company, New York st., 49.

4. К вопросу расчетов угловой высоты солнечного диска относительно горизонта для выбранной местности с учетом даты года и времени суток / Б. А. Никитин, В. А. Гусаров, В. В. Харченко [и др.] // Труды 9-й Международной научно-технической конференции. Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве (21–22 мая 2014 г., г. Москва) . – М. : ГНУ ВИЭСХ., 2014. – С.172–180.

5. Майоров В. А. Энергетические характеристики солнечных батарей различных типов и режимов работ / В. А. Майоров // Труды 6-й Международной научно-технической конференции «Энергообеспечение и энергоснабжение в сельском хозяйстве» (13–14 мая 2008 г., г. Москва). – М. : ГНУ ВИЭСХ, 2008. – Т. 4. – С.112–118.

ВПЛИВ ОРІЄНТАЦІЇ ПРОМЕНЕСПРИЙМАЮЧОЇ ПОВЕРХНІ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ СОНЯЧНИХ МОДУЛІВ

**В. В. Харченко, Б. А. Нікітін, В. А. Майоров, В. А. Гусаров,
А. Т. Беленов, С. А. Ракитов**

Анотація. Розглянуто залежність вибору конструктивного рішення установки з модулями сонячних батарей (стаціонарна або з системою стеження) від географічної широти місця розташування та часового періоду експлуатації (дати року і часу доби), проведено орієнтовний розрахунок і зіставлення питомого вироблення електроенергії стаціонарною установкою і геліоустановкою із системою стеження за положенням Сонця для порівняння їх енергетичної ефективності. Запропоновано використовувати окремі фрагменти цієї методики для оцінки залежності ефективної тривалості світлої частини доби у випадках монтажу сонячних батарей на дахах і стінах будинків.

Ключові слова: сонячна батарея, положення Сонця, генерація електроенергії, стаціонарна установка, система стеження.

EFFECT OF ORIENTATION OF THE RAYS- RECEIVING SURFACE ON EFFICIENCY OF SOLAR MODULE

**V. Kharchenko, B. Nikitin, V. Mayorov, V. Gusarov,
A. Belenov, S. Rakitov**

Annotation. The dependence of the choice of a constructive solution installation modules solar panels (fixed or tracking system) on latitude location and temporal period of operation (date of year and time of day), held a tentative calculation and comparison of specific electricity generation fixed installation and the solar thermal system with a tracking system the position of the sun to compare their energy efficiency. It is suggested to use fragments of this technique to assess the dependence of the effective length of the light of day in the case of installation of solar panels on the roofs and walls of buildings are considered.

Key words: solar panel, the position of the sun, the generation of electricity, fixed installation, system monitoring.