



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 62

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

<sup>1</sup>Таран А.А., <sup>2</sup>Таран Е.Н.

ПДО, ГБОУ ДО «Севастопольская станция юных техников», Севастополь, Россия (299001, г. Севастополь, ул. Горпищенко, д.39), e-mail: <sup>1</sup>sunbut@yandex.ru, <sup>2</sup>taranelena23@yandex.ru.

**Проанализированы факторы, влияющие на эффективность солнечных фотоэнергетических установок, в частности температура фотоэлектрических преобразователей. Показаны препятствия на пути развития солнечной энергетики. Предложен способ поднятия конкурентоспособности солнечной фотоэнергетической установки.**

Ключевые слова: автономность, фотоэлектрические преобразователи, солнечные электростанции, солнечная фотоэнергетическая установка, солнечная энергетика, солнечные элементы, концентрирование солнечной энергии, тепловая энергия, температура солнечных элементов.

## THE EFFECT OF TEMPERATURE ON THE EFFICIENCY OF PHOTOELECTRIC CONVERTERS

<sup>1</sup>Taran A.A., <sup>2</sup>Taran E.N.

PDO, GBOU DO "Sevastopol Station of Young Technicians", Sevastopol, Russia (299001, Sevastopol, Gorpishchenko St., 39), e-mail: <sup>1</sup>sunbut@yandex.ru, <sup>2</sup>taranelena23@yandex.ru.

**The factors influencing the efficiency of solar photovoltaic installations, in particular the temperature of photovoltaic converters, are analyzed. Obstacles to the development of solar energy are shown. A method for increasing the competitiveness of a solar photovoltaic installation is proposed.**

Keywords: autonomy, photovoltaic converters, solar power plants, solar photovoltaic installation, solar energy, solar cells, solar energy concentration, thermal energy, solar cell temperature.

Солнечная энергия, как источник энергии, является одним из перспективных направлений возобновляемой энергетики. Энергия солнечного излучения, в своём использовании, обладает рядом преимуществ к основным из которых можно отнести: экологичность, неистощимость и возобновляемость ресурсов, отсутствие затрат на капитальный ремонт фотоэлектрических модулей длительный период времени (около 20 лет) эксплуатации, рост КПД с течением научно-технического прогресса, и, как следствие, снижение стоимости получения электроэнергии.

Фотоэлектрические преобразователи (ФЭП) имеют широкий типоразмерный ряд, и различаются по конструктивному исполнению (использование различных материалов и примесей). Солнечные электростанции могут использоваться для выработки, как

электрической, так и тепловой энергии. Электрической – как основного типа энергии, для зарядки аккумуляторных батарей, энергоснабжения различных объектов (автономных), подачи электроэнергии в сеть централизованного электроснабжения, тепловой – как второстепенного типа энергии, для, например, горячего водоснабжения [1-3].

Солнечное излучение у поверхности Земли зависит от многих факторов: широты и долготы местности, ее географических и климатических особенностей, состояния атмосферы, времени года. В целом можно выделить как закономерные особенности изменения солнечного излучения, так и существенную долю его случайной составляющей.

Интенсивность солнечного излучения изменяется в течение суток и имеет сезонный характер. Параметры солнечного излучения, регистрируемые метеостанциями, необходимы при расчете солнечных фотоэнергетических установок. Однако данные метеостанций являются усредненными, и текущие значения заметно отличаются от средних значений. График гарантированной интенсивности солнечного излучения необходим для достоверного определения параметров системы автономного электроснабжения содержащей ФЭП.

Анализ зарубежных исследований подтверждает достаточно высокую стабильность параметров солнечного излучения, которые могут использоваться в качестве входного воздействия.

На основании изложенного необходимо изыскать метод математического описания плотности солнечного излучения, позволяющий построить часовой (как для электрической, так и для тепловой нагрузки) график его изменения на основе метеорологических справочных данных.

Мощность фотоэлектрической станции пропорциональна площади ФЭП и интенсивности солнечного излучения.

$$N_{СЭС} = N_{СИj} \cdot F_{ФЭП} \cdot \eta_{ФЭП} \quad (1)$$

где:  $N_{СЭС}$  – мощность солнечной электростанции, Вт;

$N_{СИj}$  – интенсивность солнечного излучения в  $j$  период, Вт/м<sup>2</sup>;

$F_{ФЭП}$  – площадь фотоэлектрических преобразователей, м<sup>2</sup>;

$\eta_{ФЭП}$  – КПД фотоэлектрических преобразователей.

Здесь следует отметить, что при расчете мощности фотоэлектрической станции нельзя пользоваться усредненными значениями интенсивности солнечного излучения, так как при уменьшении интенсивности мощность ФЭП уменьшается пропорционально, а при увеличении интенсивности мощность ФЭП увеличивается уже не пропорционально, а при достижении определенного уровня интенсивности вообще перестает расти. Поэтому, для определения параметров солнечной электростанции следует пользоваться гарантированными значениями интенсивности солнечного излучения[4-5].

Так как солнечное излучение является случайной величиной, то для определения параметров солнечной электростанции, более корректно говорить об интенсивности солнечного излучения, гарантированного с какой-то, заранее заданной, вероятностью. Такая вероятность интенсивности солнечного излучения соответствует вероятности попадания случайной величины в заданный интервал, и может быть определена следующим образом:

$$P(N_x \leq N \leq N_{\max}) = \int_{N_x}^{N_{\max}} N(t) dt, \quad (2)$$

где  $P(N_x \leq N \leq N_{\max})$  – вероятность того, что интенсивность солнечного излучения будет находиться в интервале  $N_x \dots N_{\max}$ ;

$N_x$  – гарантированная интенсивность солнечного излучения, Вт/м<sup>2</sup>;

$N_{\max}$  – максимально возможная интенсивность солнечного излучения в данной местности, Вт/м<sup>2</sup>.

Учитывая то, что на территории России интенсивность солнечного излучения распределена по нормальному закону, то искомую вероятность можно определить, используя функцию Лапласа

$$P(N_x \leq N \leq N_{\max}) = \Phi \left[ \frac{N_{\max} - \bar{N}}{\sigma_c} \right] - \Phi \left[ \frac{N_x - \bar{N}}{\sigma_c} \right], \quad (3)$$

где  $\bar{N}$  – математическое ожидание интенсивности солнечного излучения (данные метеостанций), Вт/м<sup>2</sup>;

$\sigma_c$  – стандартное отклонение интенсивности солнечного излучения, Вт/м<sup>2</sup>.

На Рисунке 1 в качестве примера реализации формулы (3) приведены графики интенсивности солнечного излучения, гарантированные с вероятностью 0,95, полученные по результатам экспериментов проведенных авторами на территории Ростовской области.

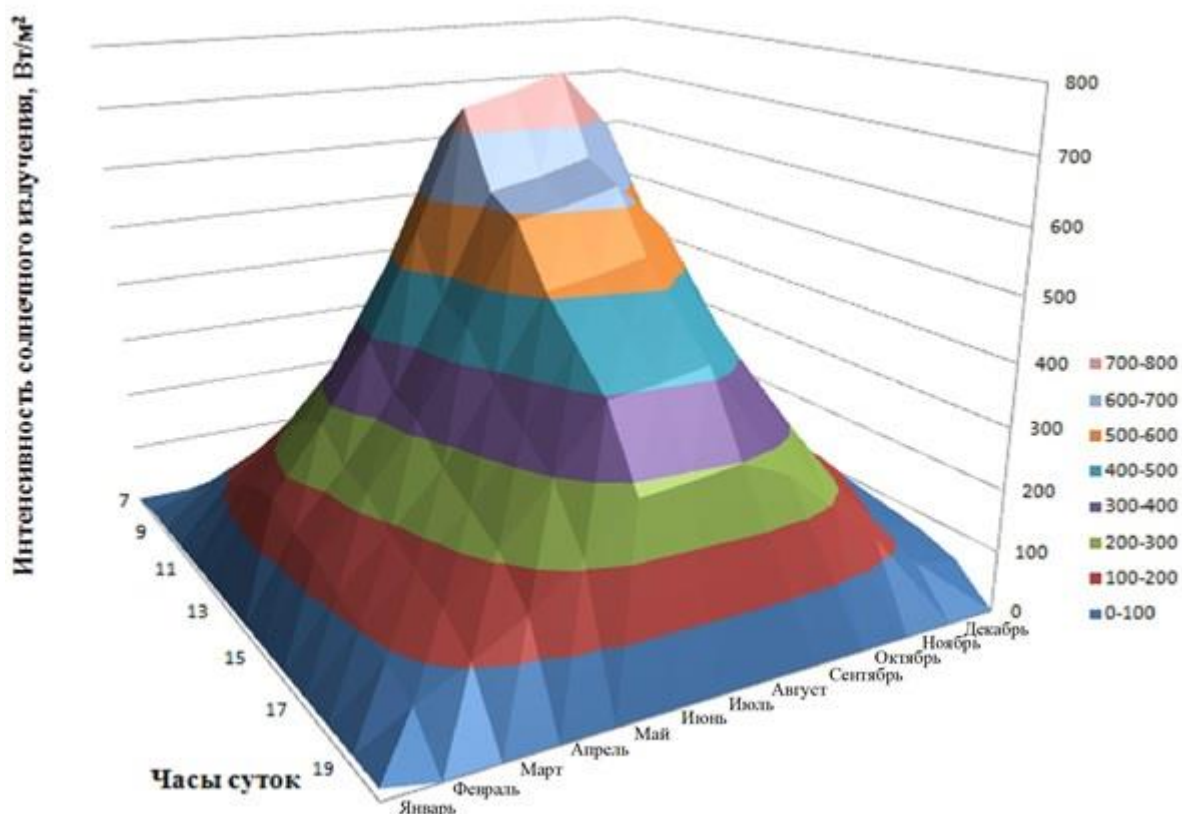


Рисунок 1 – Графики интенсивности солнечного излучения, гарантированной с вероятностью 0,95 (2022 год)

В подавляющем большинстве случаев, использование только ФЭП не сможет обеспечить требуемый график нагрузки даже в летние месяцы. Это объясняется суточными изменениями интенсивности солнечного излучения. Это вынуждает применять аккумуляцию электроэнергии с последующим ее использованием в периоды провалов генерации энергии при помощи ФЭП. Емкость аккумуляторов при использовании избыточной солнечной энергии в полуденные часы можно определить из нестроого неравенства:

$$C = \int_T \frac{P_H}{U_H} \cdot d\tau \quad (4)$$

где:  $C$  – емкость аккумуляторных батарей, А·ч;

$P_H$  – мощность излучения при нормативной освещенности в  $j$ -тый период, Вт;

$U_H$  – номинальное напряжение, В.

$$C = \frac{P_H \cdot \Delta T}{U_H} \quad (5)$$

где:  $\Delta T$  – период отсутствия достаточной интенсивности солнечного излучения.

При использовании ФЭП с ранней весны до поздней осени возникает ряд трудностей. Это обусловлено тем, что при расчете солнечной электростанции на весеннюю или осеннюю

интенсивность солнечной энергии, батареи ФЭП в летнее время попадают под повышенный поток солнечной радиации, и, как следствие появляется ряд негативных факторов, снижающих их КПД, а в некоторых случаях, может привести и к выходу ФЭП из строя.

Температура ФЭП напрямую зависит от интенсивности солнечного излучения, которое является функцией времени. Таким образом, следует учитывать, что КПД фотоэлектрических преобразователей не постоянно и является функцией времени или температуры. Такую зависимость не представляется возможным получить аналитически, поэтому предлагается использовать экспериментальные данные, аппроксимируемые уравнениями регрессии вида:

$$\eta_{ФЭП} = a_0 + a_1T + a_2T^2 + \dots \quad (6)$$

где  $a_j$  – коэффициенты регрессии;  
 $T$  – температура ФЭП, К.

На Рисунке 2 приведен график функции изменения КПД от температуры кремниевого фотоэлектрического преобразователя (июнь 2022).

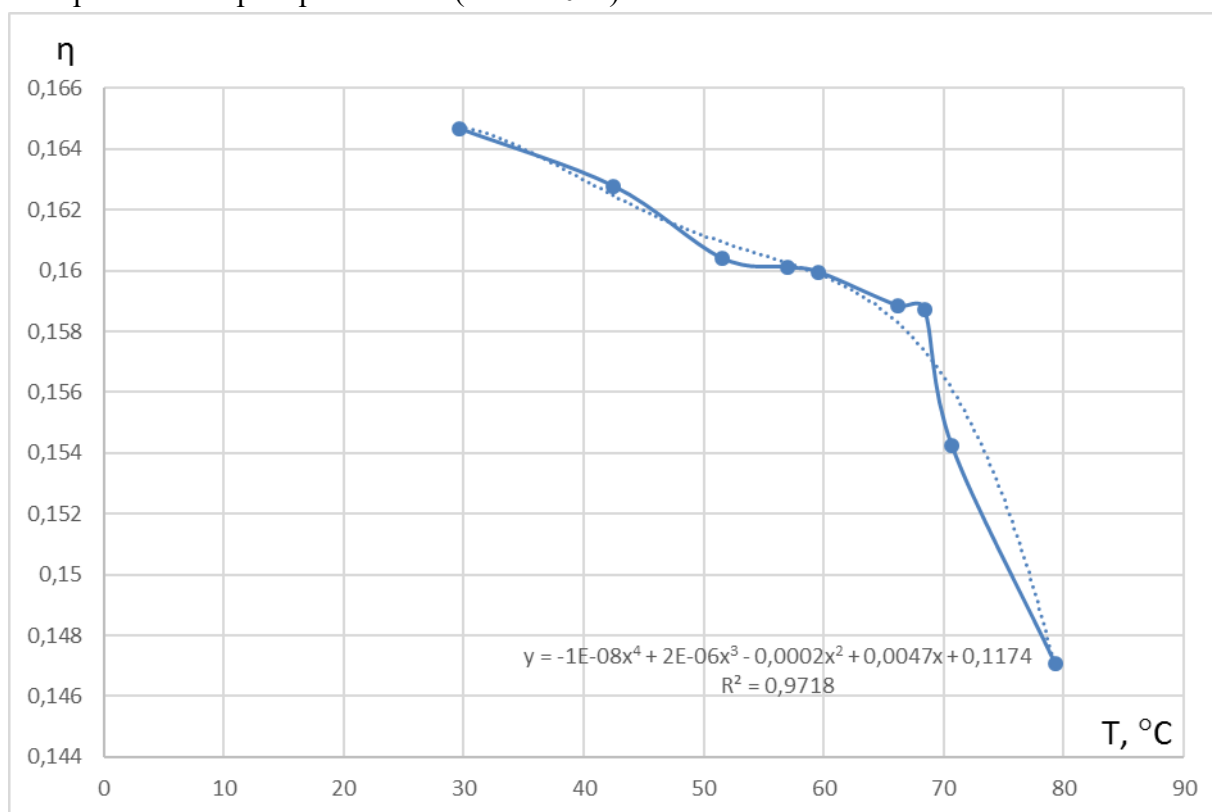


Рисунок 2 – Экспериментальная зависимость КПД фотоэлектрических преобразователей от температуры

Как видно из графика при повышении температуры происходит снижение КПД, при этом темп снижения имеет ярко выраженную нелинейную зависимость. Следовательно, можно сделать вывод - при увеличении температуры фотоэлектрических преобразователей следует отводить тепло от батареи ФЭП. Отводимое тепло определяется типом теплообменника и

может быть определено по известным методикам. В частности, при отводе теплоты жидкостным радиатором, отводимая теплота определяется следующим образом:

$$q = c \cdot m \cdot \int_{T_H}^{T_\Phi} dT = c \cdot m \cdot (T_\Phi - T_H) \quad (7)$$

где:  $c$  – теплоемкость теплоносителя, Дж/кг·К;

$m$  – масса теплоносителя, кг;

$T_\Phi, T_H$  – фактическая и нормальная температура ФЭП, К.

Нами предлагается понижать температуру фотоэлектрических преобразователей в сезон сильного прямого солнечного облучения путем отвода и утилизации тепловой энергии. В случае успешного решения, это позволит не только сохранить КПД фотоэлектрических преобразователей на проектном уровне, но и использовать отведенную теплоту на технологические нужды. Например, если в качестве теплоносителя применяется вода, то избыточную теплоту можно использовать для горячего водоснабжения [6-7].

Повышение конкурентоспособности солнечных электростанций, имеющих в своем составе ФЭП, является актуальной задачей, но прежде чем энергия Солнца сможет использоваться в полной мере, необходимо решить ряд проблем, главные из которых: высокая стоимость ФЭП, и установок их содержащих, их способность надежно работать в автоматическом режиме в течение длительного времени и повышение надежности энергоснабжения. Поэтому, сегодня наиболее важной задачей, стоящей перед солнечной энергетикой, является снижение удельной стоимости солнечной фотоэнергетической установки. Одним из путей снижения удельной стоимости является повышение эффективности, применение более экономичных структур электрооборудования. В частности, систем концентрирования и слежения за Солнцем, систем отбора тепла.

## Список литературы

1. Фотоэлектрическое преобразование солнечной энергии: теория и практика использования солнечной энергии. Поулук В., Либра М., Стребков Д.С., Харченко В.В..- Москва: ГНУ ВИЭСХ, 2013.-322 с.
2. Лештаев О.В. Влияние солнечного излучения на работу солнечной электростанции.: Приоритеты мировой науки: эксперимент и научная дискуссия. Сборник материалов IV Международной научно-практической конференции. 2019
3. Центр обработки данных NASA, «Метеорология и солнечная энергетика», июнь 2018. [Online]. Доступно на: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/global.cgi?email=skip@larc.nasa.gov>.
4. Воронин С.М., Цыганов В.В. Актуальные задачи автономного применения солнечных электростанций // Материалы 11-й международной научно-практической конференции, «Achievementofhighschool». Том 14. Технологии. Математика. Физика. Современные информационные технологии. – 2015, №4. – С. 38-41.
5. Воронин С.М., Жогалев А.П., Цыганов В.В. Обоснование площади батареи фотоэлектрических преобразователей для автономной электростанции // АгроЭкоИнфо. – 2017, №1. [http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2017/1/st\\_113.doc](http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2017/1/st_113.doc).

6. Воронин С.М., Пятикопов С.М., Пименов Е.П., Дутова А.В. К обоснованию концентраторов для автономных солнечных электростанций// АгроЭкоИнфо. – 2017, №2 (28)
7. Лохманов А.В., Таран А.А. Использование различных источников света в сооружениях защищенного грунта //Eastern European Scientific Journal, Ausgabe 3-2016 С.113-119.

## References

1. Photoelectric conversion of solar energy: theory and practice of using solar energy. Poulek V., Libra M., Strebkov D.S., Kharchenko V.V.. - Moscow: VIESH, 2013.- p.322
  2. Leshtaeв O.V. Influence of solar radiation on the operation of a solar power plant.: Priorities of world science: experiment and scientific discussion. Collection of materials of the IV International Scientific and Practical Conference. 2019
  3. NASA Data Center, Meteorology and Solar Energy, June 2018. [Online]. Available at: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/global.cgi?email=skip@larc.nasa.gov>.
  4. Voronin S.M., Tsyganov V.V. Actual tasks of autonomous application of solar power plants // Proceedings of the 11th international scientific and practical conference, "Achievement of highschool". Volume 14. Technologies. Mathematics. Physics. Modern information technologies. - 2015, No. 4. - With. 38-41.
  5. Voronin S.M., Zhogalev A.P., Tsyganov V.V. Justification of the battery area of photoelectric converters for an autonomous power plant // AgroEcoInfo. - 2017, No. 1. [http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2017/1/st\\_113.doc](http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2017/1/st_113.doc).
  6. Voronin S.M., Pyatikopov S.M., Pimenov E.P., Dutova A.V. To the justification of concentrators for autonomous solar power plants// AgroEcoInfo. - 2017, No. 2 (28)
  7. Lokhmanov A.V., Taran A.A. Use of different light sources in protected ground structures //Eastern European Scientific Journal, Ausgabe 3-2016 pp.113-119.
-