

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНЦЕНТРАТОРНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ПУТЕМ СОЗДАНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СРЕД

Ш. И. КЛЫЧЕВ, доктор технических наук, профессор
С. А. БАХРАМОВ, доктор технических наук, профессор

З. Ш. КЛЫЧЕВ, инженер

Академия Наук Республики Узбекистан, г. Ташкент, Узбекистан

В. В. ХАРЧЕНКО, доктор технических наук, профессор
ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва, Россия

***Аннотация.** Целью исследования был анализ возможностей увеличения плотности оптического излучения для повышения эффективности концентраторных солнечных фотоэлектрических установок.*

Расчетно и экспериментально исследована возможность увеличения эффективности концентраторных фотоэлектрических установок при использовании оптических сред.

Показано, что за счет использования оптических сред возможно уменьшение площади фотоэлемента в 1,5–1,7 раза при одной и той же мощности солнечной установки. Использование указанного подхода представляется эффективным средством повышения эффективности солнечных концентраторных систем фотоэлектрического преобразования солнечной энергии.

***Ключевые слова:** солнечная фотоэлектрическая установка, оптическая среда, концентратор, солнечное излучение*

Актуальность. В настоящее время наиболее важная проблема на пути широкого использования солнечной энергии это обеспечение экономической рентабельности солнечных установок. Основные пути решения этой задачи – повышение КПД преобразования и (или) снижение стоимости солнечных установок.

Анализ последних исследований и публикаций. Одними из перспективных в этом плане солнечных установок являются солнечные фотоэлектрические установки (СФЭУ), преобразующие концентрированное солнечное излучение [1, 2]. В качестве одного из путей повышения эффективности солнечных модулей предложено использование оптических методов, в частности, повышение эффективности систем концентратор-фотопреобразователь [3]. В [4–6] были определены условия повышения плотности оптического излучения в оптических средах, подтвержденные экспериментально.

Цель исследования – анализ возможностей увеличения плотности оптического излучения для повышения эффективности концентраторных СФЭУ.

Материалы и методы исследования. Схема системы, включающей первичный концентратор (K - параболоид, линза Френеля и др.) и вторичный концентратор (оптическая среда) в виде сферической линзы (L) с центром кривизны, в фокусе F параболоида приведена на рис. 1 (PV – каскадный фотоэлемент) [5].

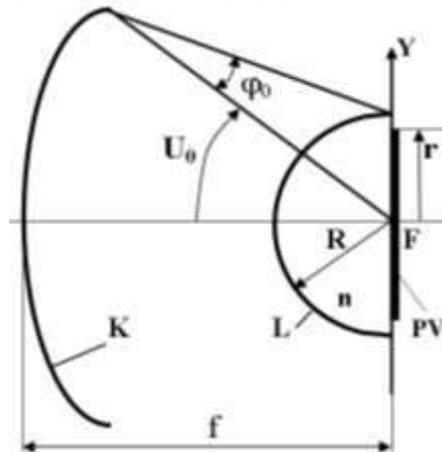


Рис. 1. Система концентратор-линза (оптическая среда)

Основными параметрами системы K-L являются: φ_0 – угловой радиус Солнца, n – показатель преломления и R – радиус кривизны линзы (среды), U_0 – угол раскрытия, f – фокусное расстояние и σ – среднеквадратическая неточность поверхности концентратора (неточность поверхности рассматривается как случайные угловые отклонения нормалей, распределенные по равномерному закону).

На рис. 2 приведено распределение концентрации (а) и потоков (б) в фокальной плоскости параболоидного концентратора на воздухе ($n = 1$) и в системе концентратор – линза (оптическая среда – дистиллированная вода с $n = 1.33$), когда приемник располагается внутри оптической среды. Френелевские потери на границе среды в данной системе не превышают 2–3 %.

Результаты исследований и их обсуждение. Теоретические расчеты проводились в предположении постоянства n . Как видно из рис. 2а, в системе K-L, повышается не только концентрация, но и уменьшаются размеры пятна изображения Солнца. Причем важно то, что эти эффекты имеют место как для точного, так и неточного концентратора. Анализ показывает, что указанные эффекты в среде обусловлены двумя факторами.

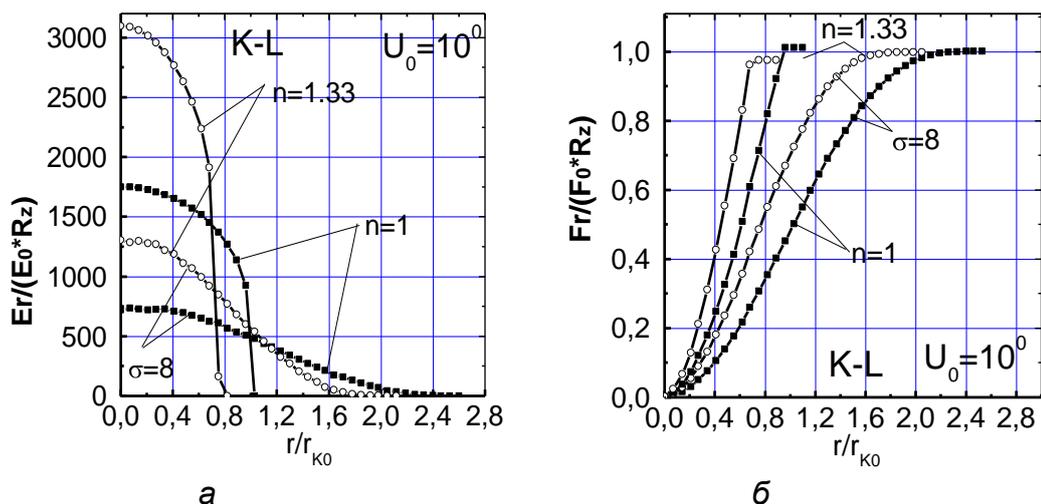


Рис. 2. Концентрации и потоки в фокальной плоскости концентратора на воздухе (o) и в системе К-Л в среде (■) для точного ($\sigma=0$) и неточного ($\sigma=8$ угловых минут) концентратора

Первый фактор – оптические свойства линзы, что приводит к уменьшению пятна изображения и второй – увеличение яркости излучения в среде (пропорционально квадрату показателя преломления среды). Причем, как видно из рис. 2б, потоки в исходном пятне и уменьшенном одинаковы. Очевидно, что в этом случае, уменьшение размеров пятна само приводит к повышению средней плотности (концентрации). Однако доказательством влияния второго фактора является то, что на концентрацию в фокусе оптические свойства линзы не влияют (осевые лучи идут по нормальям сферической поверхности и не преломляются), т.е. увеличение плотности в фокусе связано только с одним фактором – увеличением яркости излучения в среде. Далее по пятну действуют оба фактора. В целом это объясняет и эффекты повышения плотности излучения в среде (воде), полученные в [8] для системы источник – плоская среда. Т.е. также имеет место влияние двух факторов [4], и можно предположить, что поток от источника на полуплоскости должен оставаться постоянным, как в воздухе, так и в среде. Обнаруженные эффекты имеют практическое значение и позволяют уменьшить размеры фотоэлемента.

Так, в рассмотренной системе, когда допустимый поток, перехватываемый фотоэлементом, составляет 95 %, уменьшение площади фотоэлемента за счет применения оптической среды (жидкая линза, или линза с другой оптической средой с промежуточным жидким слоем между линзой и фотоэлементом) составит для точного концентратора около 1,8 раза, а для неточного – 1,7 раза. При этом, соответственно, возрастает и средняя по приемнику концентрация.

С целью подтверждения этих эффектов были проведены экспериментальные исследования. В качестве имитации поля концентрации был использован распределенный источник с угловыми размерами порядка 10 угловых градусов, а в качестве среды

использовали воду. Приемник представлял фотоэлемент, изготовленный в ФТИ АН РУз. На рис. 3 представлены ВАХ этого фотоэлемента на воздухе (а) и в воде (б).

Как видно, в первом случае, когда элемент находится на воздухе, максимальная снимаемая мощность составляет около 0.671 мВт, а в воде – около 1.53 мВт, или увеличение почти в 2,3 раза.

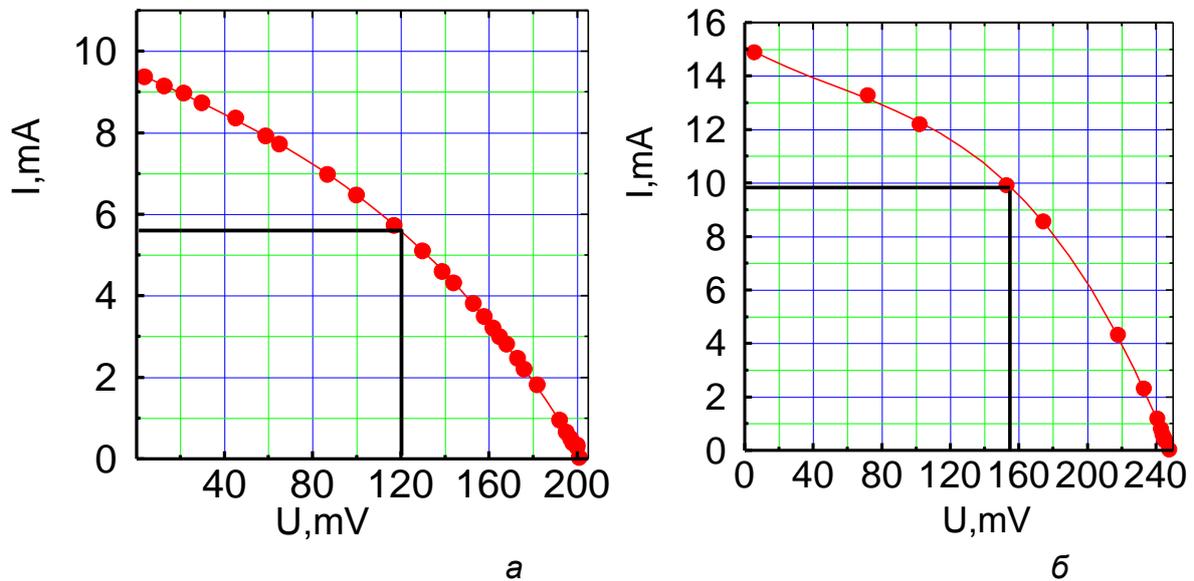


Рис. 3. Вольт-амперная характеристика фотоэлемента на воздухе (а) и в воде (б) при одинаковом расстоянии между источником и фотоэлементом

Такое увеличение выходной мощности обусловлено следующими факторами: перераспределением потока излучения в воде [6], увеличением яркости излучения в воде, а также уменьшением потерь отражения на границе среда-фотоэлемент. Также были проведены экспериментальные исследования эффектов в многослойных оптических средах и также было получено увеличение плотности излучения.

Выводы и перспективы. Приведенные выше результаты убедительно показывают, что использование оптических сред в концентраторах СФЭУ позволяет уменьшить размеры фотоэлемента в 1,5–1,7 раза, при одной и той же мощности СФЭУ, что в целом способствует улучшению экономических характеристик концентраторных СФЭУ. Использование указанного подхода представляется эффективным средством повышения эффективности солнечных концентраторных систем фотоэлектрического преобразования солнечной энергии. Дальнейшие исследования было бы целесообразно посвятить поиску материалов, которые могли бы быть использованы для создания оптических сред и которые обладали бы свойствами, обеспечивающими стабильное и устойчивое функционирование реальных энергетических систем на практике.

Список литературы

1. Перспективы создания космических солнечных батарей с концентраторами излучения и многопереходными гетероструктурными фотопреобразователями / В. М. Андреев, В. А. Грилихес, Б. А. Соколов [и др.] // Известия Академии наук. – 2003. – Вып. 3. – С. 60–69.
2. Masafumi Yamaguchi A., Tatsuya Takamoto B., Kenji Araki C., Nicholas Ekins-Daukes. A Multi-junction III-V solar cells: current status and future potential // Solar Energy, 79 (2005). – P. 78–85.
3. Бахрамов С. А. Повышение эффективности систем концентратор – фотопреобразователь / С. А. Бахрамов, Ш. И. Клычев, В. В. Харченко // Труды 7-й Международной научно-технической конференции, 18–19 мая 2010 года. Ч. 4. Возобновляемые источники энергии. Местные энергоресурсы. Экология. – М. : ГНУ ВИЭСХ, 2010. – С. 93–97.
4. Клычев Ш. И. Концентрация солнечного излучения в оптической среде / Ш. И. Клычев, С. А. Бахрамов, Ю. А. Дудко // Гелиотехника. – 2009. – № 3. – С. 78–81.
5. Клычев Ш. И. Оптические среды – как способ повышения эффективности концентраторных солнечных фотоэлектрических установок / Ш. И. Клычев, С. А. Бахрамов, В. В. Харченко, З. Ш. Клычев // Гелиотехника. – 2012. – № 2. – С. 71–73.
6. Klychev Sh. I., Bakhramov S. A., Klychev Z. Sh., Kharchenko V. V. Optical media as a way to improve performance of solar concentrator photoelectric devices. Applied Solar Energy. – 2012. – Т. 48, № 2. – С. 123–125.
7. Клычев Ш. И. Повышение эффективности модульных солнечных фотоэлектрических установок / Ш. И. Клычев, С. А. Бахрамов, З. И. Клычев, В. В. Харченко // Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК. – 2017. – Вип. 261. – С. 20–28.
8. Клычев Ш. И. Перераспределение потока излучения в оптической среде с плоской границей / Ш. И. Клычев // Гелиотехника. – 2010. – № 3. – С. 77–79.

References

1. Andreyev, V. M., Grilikhes, V. A., Sokolov B. A. [et al.]. (2003). Perspektivy sozdaniya kosmicheskikh solnechnykh batarey s kontsentratorami izlucheniya i mnogoperekhodnymi geterostrukturnymi fotopreobrazovatelyami [Prospects for the creation of space solar batteries with radiation concentrators and multi-transient heterostructure photoconverters] Izvestiya Akademii nauk, 3, 60–69.
2. Masafumi Yamaguchi, A., Tatsuya Takamoto, B., Kenji Araki, C., Nicholas Ekins-Daukes. (2005). A Multi-junction III-V solar cells: current status and future potential. Solar Energy, 79, 78–85.
3. Bakhramov, S. A., Klychev, S. I., Kharchenko. V. V. (2010). Povysheniye effektivnosti sistem kontsentrator – fotopreobrazovatel' [Increasing the efficiency of the concentrator-photoconverter systems]. Trudy 7-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Ch. 4 Vozobnovlyayemyye istochniki energii. Mestnyye energoresursy. Ekologiya. Moscow: GNU VIESKH, 93–97.
4. Klychev, Sh. I., Bakhramov, S. A., Dudko, Yu. A. (2009). Kontsentratsiya solnechnogo izlucheniya v opticheskoy srede [The concentration of solar radiation in an optical medium]. Geliotekhnika, 3, 78–81.
5. Klychev, Sh. I., Bakhramov, S. A., Kharchenko, V. V., Klychev, Z. Sh. (2012). Opticheskiye sredy – kak sposob povysheniya effektivnosti kontsentratornykh

solnechnykh fotoelektricheskikh ustanovok [Optical media – as a way to increase the efficiency of concentrator solar photovoltaic installations]. *Geliotekhnika*, 2, 71–73.

6. Klychev, Sh. I., Bakhrarov, S. A., Klychev, Z. Sh., Kharchenko, V. V. (2012). Optical media as a way to improve performance of solar concentrator photoelectric devices. *Applied Solar Energy*, 48 (2), 123–125.

7. Klychev, Sh. I., Bakhrarov, S. A., Klychev, Z. I., Kharchenko, V. V. (2017). Povysheniye effektivnosti modul'nykh solnechnykh fotoelektricheskikh ustanovok [Increasing the efficiency of modular solar photovoltaic systems]. *Naukoviy visnik NUBiP Ukraïni. Seriya: Tekhnika ta energetika APK*, 261, 20–28.

8. Klychev, Sh. I. (2010). Pereraspredeleniye potoka izlucheniya v opticheskoy srede s ploskoy granitse [Redistribution of the radiation flux in an optical medium with a plane boundary]. *Geliotekhnika*, 3, 77–79.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНЦЕНТРАТОРНИХ СОНЯЧНИХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ УСТАНОВОК ШЛЯХОМ СТВОРЕННЯ СПЕЦІАЛЬНИХ ОПТИЧНИХ СЕРЕДОВИЩ

**Ш. І. Кличов,
С. А. Бахрамов,
З. Ш. Кличов,
В. В. Харченко**

***Анотація.** Метою дослідження був аналіз можливостей збільшення густини оптичного випромінювання для підвищення ефективності концентраторних сонячних фотоелектричних установок.*

Розрахунково й експериментально досліджено можливість збільшення ефективності концентраторних фотоелектричних установок при використанні оптичних середовищ.

Показано, що за рахунок використання оптичних середовищ можливе зменшення площі фотоелемента в 1,5–1,7 раза за однієї і тієї самої потужності сонячної установки. Використання зазначеного підходу є ефективним засобом підвищення ефективності сонячних концентраторних систем фотоелектричного перетворення сонячної енергії.

***Ключові слова:** сонячна фотоелектрична установка, оптичне середовище, концентратор, сонячне випромінювання*

IMPROVEMENT OF EFFICIENCY OF CONCENTRATORY SOLAR PHOTOELECTRIC INSTALLATIONS BY CREATION OF SPECIAL OPTICAL ENVIRONMENTS

**Sh. Klychev,
S. Bakhrarov,
Z. Klychev,
V. Kharchenko**

Abstract. The aim of the study was to analyze the possibilities of increasing the density of optical radiation to improve the efficiency of concentrator solar photovoltaic systems.

The possibility of increasing the efficiency of concentrator photovoltaic installations using optical media has been calculated and experimentally studied.

It is shown that due to the use of optical media it is possible to reduce the area of the photocell by 1,5–1,7 times with the same power of the solar installation. The use of this approach seems to be an effective means of increasing the efficiency of solar concentrator systems of solar energy photoelectric conversion.

Keywords: solar photovoltaic system, optical medium, concentrator, solar radiation

УДК 681.513.5:663.4

ВИКОРИСТАННЯ КОГНІТИВНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ УПРАВЛІННІ БІОТЕХНОЛОГІЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

Н. А. ЗАЄЦЬ, кандидат технічних наук, доцент
*Національний університет біоресурсів
і природокористування України*
E-mail: z-n@ukr.net

В. М. ШТЕПА, кандидат технічних наук, доцент
керівник НДЛ «Екоінженерія»

Поліський державний університет, Республіка Білорусь
E-mail: shns1981@gmail.com

Анотація. Обґрунтовано використання нечітких когнітивних карт для сценарного управління біотехнологічними об'єктами харчових виробництв. Показано, що для використання когнітивних карт як інструменту агрегування знань групи експертів потрібно встановити точні значення нечітких змінних зв'язків між факторами, що становить труднощі при створенні когнітивної карти з великою кількістю вершин. Було розроблено алгоритм створення і практичного використання нечіткої системи узагальнення оцінки експертів у штатному режимі.

Поставлено задачу самоадаптації розроблюваної нечіткої когнітивної карти при зміні експертних оцінок або параметрів об'єкта, оскільки одним із головних недоліків систем на основі нечіткої логіки є їх нездатність самонавчатися і для їх підстроювання необхідне повторне залучення експертів при повній функціональній зупинці. Для вирішення поставленої задачі використовували апарат нечітких нейронних мереж.

© Н. А. Заєць, В. М. Штепа, 2018