

# ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И ПРОБЛЕМЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

## ТЕПЛО-ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ КОНЦЕНТРАТОРНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

**В.С. Антощенко, Ю.В. Францев, И.Х. Жарекешев, О.А. Лаврищев, Е.В. Антощенко**

*НИИ экспериментальной и теоретической физики*

*Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г.Алматы*

В статье рассмотрены пути повышения эффективности работы гелиоустановки, использующей концентрированную солнечную радиацию. Предложена концепция преобразования энергии солнечного спектра, основанная на использовании монолитного устройства для одновременного получения тепловой и электрической энергии. Проведена сравнительная оценка себестоимости 1 Вт пиковой мощности автономной тепло-фотоэлектрической системы при использовании комплектующих отечественных и зарубежных производителей. Обсуждается возможность создания производственно-образовательного кластера для обучения магистров и бакалавров основам гелиоэнергетики.

### **Введение**

Альтернативные источники энергии становятся все более популярными в мире и все глубже вторгаются в повседневную жизнь гражданского населения планеты. Среди них важное место занимают фотоэлектрические и тепловые преобразователи солнечной радиации [1-5]. Однако каждое из этих направлений в настоящее время развивается самостоятельно, и для получения энергии разработчики используют различные подходы [6-9]. Одной из важных задач в данной области является повышение эффективности преобразования энергии Солнца за счет использования устройств, сочетающие в себе преимущества фотоэлектрических систем и тепловых коллекторов.

В последние годы начал формироваться рынок фотоэлектрических батарей и солнечных коллекторов в Казахстане. В отличие от солнечных коллекторов, производство которых внутри страны уже существует, рынок фотоэлектрических батарей и систем здесь представлен продукцией зарубежных стран (Китай, Япония, Германия, Великобритания и др.), а внутреннее производство солнечных элементов и батарей полностью отсутствует. Такая ситуация приводит к ограничению покупательского спроса на данную продукцию вследствие более чем двукратного превышения цены на пути движения товара от производителя к потребителю.

В этой связи представляется важным: а) создание собственного экономичного производства солнечных батарей, себестоимость которых будет намного ниже зарубежных аналогов; б) обучение менеджеров среднего (бакалавры) и высшего (магистры и PhD) звена для работы в области солнечной энергетики. Вторая задача особенно важна, так как необходимо готовить научные кадры, способные проводить самостоятельные исследования, нацеленные на создание новых конструкторских и технологических решений в данном направлении.

### **Преимущества технической разработки**

В основе создания производства солнечных батарей лежит отечественная разработка совмещенного тепло-фотоэлектрического модуля способного с одной и той же освещаемой поверхности снимать тепловую и электрическую энергию в условиях концентрированного освещения. Активным элементом модуля является солнечный элемент размером  $125 \times 125 \text{ мм}^2$ , усовершенствованный для преобразования концентрированных потоков

солнечной радиации и для обеспечения эффективного теплообмена между солнечным элементом и жидкостным теплоносителем первого замкнутого контура. Тепловая энергия, полученная в первом контуре, используется для нагрева воды второго контура тепловой части системы. На опытных образцах одноэлементных концентраторных модулей в нагрузочной точке [10-12] была получена электрическая мощность 15 Вт при кратности светового потока  $C=8^x$  и 23 Вт при  $C=12^x$ .

Известно, что в Казахстане отсутствует собственное производство солнечных элементов и батарей. Внутренний рынок наполняется батареями зарубежных производителей. В последние год-два количество фирм-продавцов фотоэлектрических батарей выросло от 2-3 в 2006г до более 20 в 2011г. В Таблице 1 представлены цены на некоторые продукты. Они существенно выше цен зарубежных производителей (2-5 долларов США за Ватт) и находятся в интервале 6-15 долларов США за ватт. Выпуск солнечных батарей из импортируемых элементов может показаться более привлекательным, однако, вследствие высоких цен на солнечные элементы в Казахстане, как показано в Таблице 2, выгода будет незначительной.

Многообещающей альтернативой может являться создание производства концентраторных солнечных батарей и систем, для выпуска которых потребуется примерно в 10 раз меньшее количество элементов, чем для обычных солнечных батарей [1-3]. Замена дорогих солнечных элементов более дешевыми конструкционными материалами и отражателями даст дополнительный выигрыш в стоимости таких систем [3]. Однако обычные солнечные элементы не предназначены для работы в условиях высоких интенсивностей солнечной радиации.

Другим важным преимуществом использования солнечных элементов большой площади в диапазоне средних уровней концентрации (6х-15х) является возможность использования для слежения за Солнцем приводных устройств невысокой точности, что существенно снижает стоимость всей системы, и соответственно стоимость 1 Вт пиковой мощности. Кроме того снижаются производственные затраты при работе с «большими элементами». Для сравнения, зарубежные солнечные элементы, которые используются для работы с концентрированными потоками радиации, имеют размеры 6х6 см<sup>2</sup> и менее [5].

Предполагается также создать планарные концентрирующие системы с отражающими плоскими зеркалами, представляющие собой линейные аналоги линзы Френеля [4]. Такие концентраторы успешно работали в двух-, трех- и пятиэлементных системах, разработанных авторами ранее [10-12], и имеют низкую себестоимость, что отражается на суммарной цене конечного преобразователя, готового к эксплуатации.

Таблица 1. Стоимость фотоэлектрических батарей зарубежных производителей на рынке Казахстан

№ п/п	Компания	Страна производитель	Цена за 1 Ватт \$US/тг.	Мощность панели, Вт
1	TOO «SOLAR SYSTEMS»	Китай	6,1/ 900	200
		Япония	11,56/1700	200
2	TOO «ND&Co»	Китай	8/ 1176	≥ 100Вт
		Германия	12\$/1764 15\$/2205	≤100Вт ≤100Вт
3	TOO « Solar Green Energy»	Англия	7,39/ 1086	92(гибкие)

Таблица 2. Цены на солнечные элементы (псевдоквадрат размером 125x125 мм).  
Курс 1\$US=147тг.

Поставщик	Наименование продукта (мощность, W)	Страна-производитель	Эффективность %	Цена за 1 W \$US/тг.	Цена за 1 W в Казахстане \$US/тг.
Подольский химико-металлургический завод	ФЭП 125x125 (1,8-2,0)	Россия	10-12	1/147	1,51/222
SolBat	Псевдоквадрат 125x125 (2,2-2,4)	Россия	15-16,3	2,9/426	4,37/643
OneSolar	MCA2003 (2,64)	США	18	1,94/285	4,4/645

Третьей важной составляющей концентраторной тепло- фотоэлектрической системы является устройство слежения за Солнцем или трекер. За рубежом производятся различные модели трекеров в широком ценовом диапазоне, однако конечная стоимость даже самых дешевых из них внутри страны становится такой, что даже в лучшем случае составляет большую часть стоимости всей тепло- фотоэлектрической системы. Существует отечественная разработка трекера, ориентировочная стоимость которого составляет 250 долларов США (36 000 тг), что в три раза ниже, так, что его использование приведет к значительному снижению стоимости системы в расчете на 1Вт пиковой мощности.

### Сравнительный анализ распределения затрат

Обоснование разработки предлагаемой гибридной системы невозможно без тщательного оценки себестоимости производства. Такая оценка должна обеспечивать экономический выигрыш после определенного срока эксплуатации тепло- фотовольтаической системы. Ниже мы приводим сравнительный анализ стоимости 1 Вт пиковой мощности автономной тепло-фотоэлектрической системы при использовании комплектующих как отечественных, так и зарубежных производителей.

На рисунках 1 и 2 приведены диаграммы, показывающие распределение денежных затрат на изготовление одной системы с электрической мощностью 180 Вт в случае использования одного из самых дешевых трекеров фирмы SatControl (Словения) SunTracer SM34SPM+, Website [www.solar-motors.com](http://www.solar-motors.com). В качестве конвертора применяются 4 солнечные батареи, состоящие из 12 отдельных Si модулей.

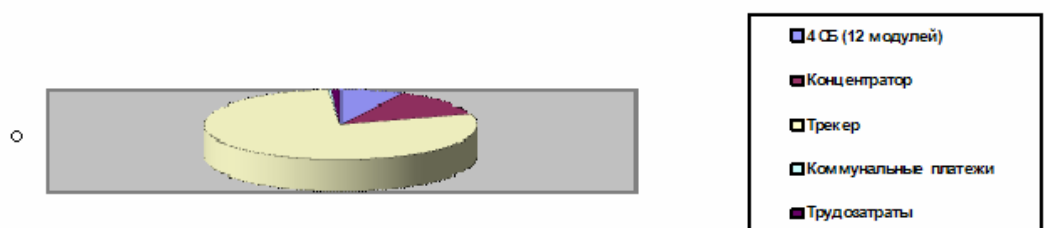


Рис. 1. Распределение затрат на производство фотоэлектрической системы мощностью 180 Вт при цене на следящую систему (трекер) 110 000 тг

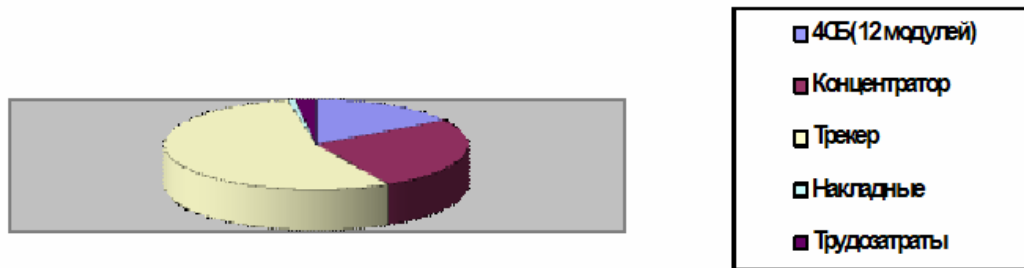


Рис. 2. Распределение затрат на производство фотоэлектрической системы мощностью 180 Вт при цене на концентратор 36000 тг

Цена следящего за траекторией Солнца механизма (трекера) в Казахстане, включая 50% накладных расходов, составит \$US 760 (110 000 тг.) (Рисунок 1), в то время как цена отечественной разработки будет стоимостью \$US 250 (36 000 тг.) (Рисунок 2). Как видно из диаграмм стоимостных затрат, в первом случае стоимость трекера составляет 78,6% от стоимости всей тепло-фотоэлектрической системы, равной \$US 952 (139 912 тг.), в то время как во втором случае - 55% при общей стоимости системы \$US 448 (65910 тг.).

### Образовательная программа

Инновационно-производственный кластер может быть реализован в тесной комбинации с образовательным процессом. Настоящая разработка может служить базой для одного из проектов коммерциализации, без которых невозможна современная научно-исследовательская университетская программа. В процессе выполнения проекта предполагается, что молодые ученые могут участвовать в производственном цикле тепло-фотоэлектрической системы и будут иметь возможность непосредственно участвовать в модернизации технологического процесса и дизайна разрабатываемого продукта. В условиях малого производства такое вмешательство в производственный цикл практически не отразится на рентабельности производства и в то же время позволит им развить творческое начало и поднять интерес к специальности [1,2,9].

В ходе выполнения проекта планируется вести обучение бакалавров, магистрантов и аспирантов по программе: «Основы солнечной энергетики: фотопреобразователи и тепловые установки». Целью специализации является подготовка менеджеров среднего (бакалавры) и высшего (магистры и PhD) звена для работы в области возобновляемой энергетики, а также научных кадров, способных проводить исследования, направленные на создание новых конструкторских и технологических решений в данном направлении [6].

Предлагаемый курс для бакалавров и магистров по основам солнечной энергетики может выглядеть следующим образом:

1. Физика солнечных элементов и теория фотопреобразования.
2. Материалы солнечных элементов (характеристика, свойства, преимущества, недостатки).
3. Конструкции солнечных элементов (прошлое, настоящее и будущее).
4. Производство кремниевых солнечных элементов (технология материалов и процесс изготовления).
5. Метрология солнечных элементов и модулей.
6. Экономика производства солнечных батарей.

В результате прослушивания курсов и непосредственного участия в технологическом и сборочном процессах бакалавры и магистры получают достаточные знания в области солнечной энергетики для работы на профильных предприятиях и в научно-исследовательском секторе.

### **Заключение**

Предлагаемая в статье разработка установки преобразования солнечной энергии сочетает в себе преимущества двух одновременных путей использования концентрированной солнечной радиации. Она отличается высокой функциональной эффективностью за счет ряда усовершенствований конструкции и технологических решений, касающихся отвода тепла, пошагового вращения трекера, геометрии коллектора и др. Сравнительный анализ стоимости разработанной гелиоустановки показывает, что цена ее может быть снижена до \$US 2,48 за 1 Вт пиковой мощности, что значительно ниже цены имеющихся на местном рынке солнечных преобразователей. Предложена специальная программа обучения студентов исследовательского университета основам фотоэнергетики на основе производственно-образовательного кластера.

### **Литература**

1. Granqvist C.G. Materials science for solar energy conversion systems, Pergamon. Oxford (UK) - 1991. – 312 p.
2. Coventry J.S. Performance of a concentrating photovoltaic/thermal solar collector // Solar Energy. 2005. - Vol. 78. - P. 211–222.
3. Fernandez-Reche J., Sanchez M., Alonso M, et al. Concentrating PV: An alternative to calorimeters for measuring high solar flux densities // Jour of Solar Energy Engineering - Transactions of the ASME. – 2010. – Vol.130. – P.044502.
4. Sonneveld, P.J., Swinkels B., van Tuijl A.J., et al. Performance of a concentrated photovoltaic energy system with static linear Fresnel lenses // Solar Energy. – 2011. – Vol.85. – P. 432-442.
5. Li, Q.F., Ye Z.B., Zhao L.F., et al. Analysis on temperature characteristics of concentration photovoltaic system // Proc. of the Internat. Conf on Power Engineering 2009 (ICOPE-09). - Vol.1. - P. 139-144.
6. Williams J.R. Solar energy: technology and applications, Ann Arbor Science. - Ann Arbor (MI). - 1977. – 266 p.
7. Zhao J.F., Song Y.C., Lam W.H., et al. Solar radiation transfer and performance analysis of an optimum photovoltaic/thermal system // Energy Conversion and Managment. - 2011. - Vol. 52. - P. 1343-1353.
8. Ji J., Lu J.P., Chow T.T., He W. and Pei G. A sensitivity study of a hybrid photovoltaic / thermal water-heating system with natural circulation // Appl. Energy.- 2007. – Vol. 84. - P. 222–237.
9. Tripanagnostopoulos Y. Aspects and improvements of hybrid photovoltaic/thermal solar energy systems // Solar Energy. – 2007. – Vol. 81. - P. 1117–1131.
10. Антощенко В.С., Лаврищев О.А. Однопереходный фотопреобразователь концентрированного излучения // Предварительный патент РК №19500 приор.17.11.2006.
11. Антощенко В.С., Лаврищев О.А. Однопереходный фотопреобразователь концентрированного излучения // Предварительный патент РК №20350 приор.05.06.2007.
12. Антощенко В.С., Лаврищев О.А. Способ формирования контактного рисунка // Инновационный патент РК №20593 приор.12.11.2007.

## **КОНЦЕНТРАТОРЛЫҚ КҮН ЭЛЕМЕНТТЕР НЕГІЗІНДЕГІ ЖЫЛУ- КОНЦЕНТРАТОРЛЫҚ ЖҮЙЕ**

**В.С. Антощенко, Ю.В. Францев, И.Х. Жарекешев, О.А. Лаврищев, Е.В. Антощенко**

Мақалада концентрацияланған күн радиацияны пайдаланатын гелио қондырғының істеу жұмысының тиімділігін жоғарлататын жолдары қарастырылған. Күн спектрінін түрлендіру концепциясы ұсынылады, ол бізмезгілде жылу және электр энергияны алуға мүмкіншілік беретін монокристалл қондырғыны қолдануға негізделген. Еліміздің және шетел өндірістерде жасалған құралдарды қолданғанда автономды жылу-концентраторлы жүйенің 1 Вт пик қуаттың меншікті бағасы салыстырылады. Магистрлерді және бакалаврларды гелиоэнергетиканың негіздеріне оқыту үшін өндірістік - білім беретін кластерді жасау мүмкіншілік талқыланады.

## **THERMAL PHOTOELECTRIC SYSTEM BASED ON CONCENTRATOR SOLAR ELEMENTS**

**V.S. Antoshenko, Yu.V. Francev, I. Kh. Zharekeshev, O.A. Lavrishchev, E.V. Antoshenko**

The methods for enhancing the operation efficiency of a photovoltaic heliosystem using concentrated solar radiation are considered. The concept of energy conversion of solar spectrum is proposed based on the monolith setup for a simultaneous gain of both the thermal and the electric power. A comparative estimate for the prime cost of 1 W peak power of the autonomous heat & photovoltaic system by the use of components from both domestic and international producers is performed. A possibility for creating a manufacturing/educational cluster for teaching the fundamentals of solar energetic for masters and bachelors is discussed.