

**В.В.Кувшинов асп., В.А.Сафонов д-р техн.наук, проф.**  
**Севастопольский национальный университет ядерной энергии и**  
**промышленности г.Севастополь, Украина**

## **СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

---

*Використання сонячних установок в Україні дозволить значно скоротити викиди в атмосферу шкідливих речовин і вуглекислого газу. Для підвищення концентрації потоку сонячної енергії, що перетворюється серійними фотоелектричними модулями, авторами статті були застосовані порівняно недорогі плоскі дзеркала, в результаті використання яких була значно підвищена ефективність роботи сонячних модулів.*

*The use of suns options in Ukraine will allow considerably to shorten the troop landings in the atmosphere of harmful matters and carbon dioxide. For the increase of concentration of stream of the sun energy transformed by the serial photo-electric modules, by the authors of the article were applied comparatively inexpensive flat mirrors as a result of the use of which efficiency of work of the suns modules was considerably promoted.*

---

### **Введение**

Энергетика большинства стран, также как и Украины, как и раньше, базируется в основном на использовании органического топлива с негативным влиянием на окружающую среду.

Работа электростанций и котельных приводит к возникновению ряда негативных процессов:

- загрязнению атмосферы – возникновение кислотных дождей, разрушение зданий, заболеванию лесов,
- загрязнение сточными водами водоёмов, что вызывает их старение.

Т.е. деятельность электростанций и котельных приводит к «заболеванию» всей окружающей среды в целом. Всё это негативно сказывается на здоровье и самих людей. Увеличивается смертность и частота проявления различных заболеваний, в том числе онкологических.

Внедрение технологий энергосбережения и электроустановок, использующих экологически чистые возобновляемые источники энергии, на локальном уровне в сумме позволит значительно снизить эти негативные явления. И, кроме того, будет способствовать сбережению ресурсов (угля, воздуха, воды, нефти и газа).

Согласно подписанным международным договорам государство Украина обязуется наращивать производство электроэнергии за счет внедрения нетрадиционных возобновляемых источников, а также согласно подписанному Киотскому протоколу наша держава обязуется ограничивать выбросы в атмосферу углекислого газа.

### **Актуальность темы**

Применение солнечных установок для обеспечения индивидуальных и промышленных потребителей электрической энергией позволяет снизить использование природного газа и другого органического топлива [1-3], необходимых

для производства электроэнергии, а также позволяет существенно сократить вредные выбросы в атмосферу, образующиеся в результате сгорания различных видов топлив на тепловых электростанциях. Использование вместо органических топлив в промышленности и коммунальном хозяйстве солнечных установок позволяет значительно сократить выбросы в атмосферу углекислого газа, уменьшить парниковый эффект и глобальное потепление на планете.

Особо актуально это для крымского региона, не имеющего в достаточном количестве электрических станций. Как известно в Крыму основная доля электроэнергии поступает из других областей Украины или вырабатывается тепловыми электростанциями.

Использование фотоэлектрических установок позволяет также сократить потери электроэнергии на линиях электропередачи, которые по разным оценкам в Украине составляют от 10 до 20 %.

Солнечные электростанции, в отличие, не только от традиционных электростанций, но и от электростанций, преобразовывающих возобновляемые источники энергии (ветроэлектростанции, геотермальные, приливные, гидроэлектростанции) можно устанавливать в непосредственной близости от потребителя. Это, пожалуй, единственные из известных электростанций, которые можно устанавливать непосредственно в центре густонаселенных городов, для обеспечения электроэнергией промышленных предприятий.

При этом кремниевые фотоэлектрические установки могут иметь достаточно долгий срок службы (при хорошем качестве исполнения и правильной эксплуатации их срок службы может достигать 20-40 лет, а по прогнозам и до 100 лет) [4-6]. Цены на сами солнечные батареи год от года существенно снижаются. Все это позволяет повысить их конкурентоспособность на рынке электрооборудования.

### **Постановка цели и задач научного исследования**

В моей статье излагаются результаты исследования, проведенного в 2004-2007 годах в Севастопольском национальном университете ядерной энергетики и промышленности (СНУЯЭиП) на кафедре «Энергосбережение и нетрадиционные источники энергии» (Э и НИЭ) с целью изучения работы фотоэлектрических модулей [7].

Задачей нашего коллектива являлось исследование серийных фотоэлектрических преобразователей, сборка фотоэлектрических модулей с использованием выпускаемых серийно солнечных элементов, а также использование плоских зеркал в качестве концентраторов солнечного излучения для солнечных батарей. Конечной целью исследования было рассмотрение путей снижения стоимости солнечных установок, что способствует более быстрому внедрению экологически чистых мощностей для выработки электроэнергии в Украине.

Одним из направлений снижения себестоимости фотоэлектрических модулей, может являться использование для концентрации светового потока на рабочую поверхность солнечных установок плоских концентраторов. Основным элементов концентратора, представляющего собой линейную конструкцию (фоклин), являются

плоские зеркала с селективным или не селективным покрытием, расположенные под определенным углом к нормали. Предел концентрации светового потока для плоских

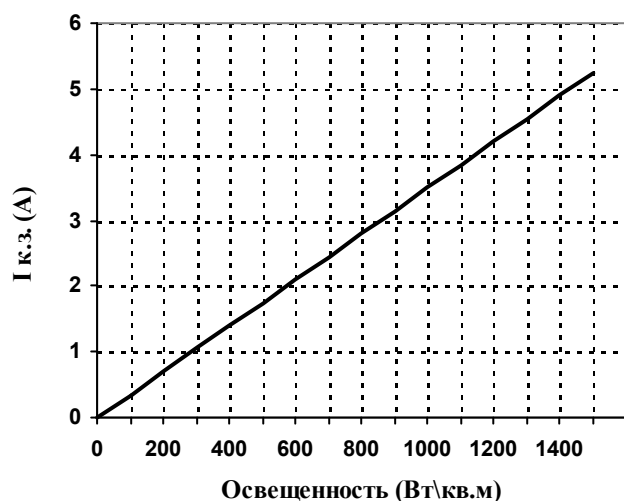


Рис. 1. Зависимость тока короткого замыкания от освещенности солнечной батареи.

фоклинов составляет 3 раза. Себестоимость зеркал на порядок ниже себестоимости фотоэлектрических элементов. Увеличение освещенности в 2-3 раза не требует дополнительного отвода тепла от рабочей поверхности солнечного модуля. Все это позволяет в целом уменьшить себестоимость солнечных установок при использовании предложенных авторами статьи плоских концентраторов в отличие от концентрирующих систем, предлагаемых ранее различными исследователями [8-9].

### Результаты исследования

Исследования работы солнечных батарей с плоскими концентраторами излучения были проведены на фотоэлектрических модулях выпускаемых украинскими предприятиями (Квазар, Мариупольский завод им. Ильича).

При увеличении освещенности солнечной батареи ток, вырабатываемый ей, увеличивается в прямой зависимости (см. рис. 1).

Теоретически при больших освещенностях (в десятки раз) ток будет увеличиваться еще сильнее.

При проведении исследований из графиков, приведенных ниже видно, что при применении концентраторов светового потока мощность, вырабатываемая фотоэлементом, увеличивалась до 80 %. Напряжение и ток в рабочей точке менялись, причем напряжение при увеличении освещенности немного падало, что свидетельствует о смещении рабочей точки, а ток и мощность в целом возрастали.

На рисунках 2-9 приведены вольт-амперные характеристики модулей в различное время года.

Большое значение при увеличении мощности имеют геометрические размеры солнечных модулей и плоских зеркал. Так для модуля площадью 0,46 м<sup>2</sup> увеличение мощности составляет 35 %, а для модуля площадью 0,12 м<sup>2</sup> – до 75 % при одинаковой площади зеркал.

В целом плоские концентраторы могут быть применены, как в производстве переносных солнечных модулей, так и в производстве крупных солнечных электростанций, фотоэлектрические модули для которых выпускаются на различных украинских и зарубежных предприятиях.

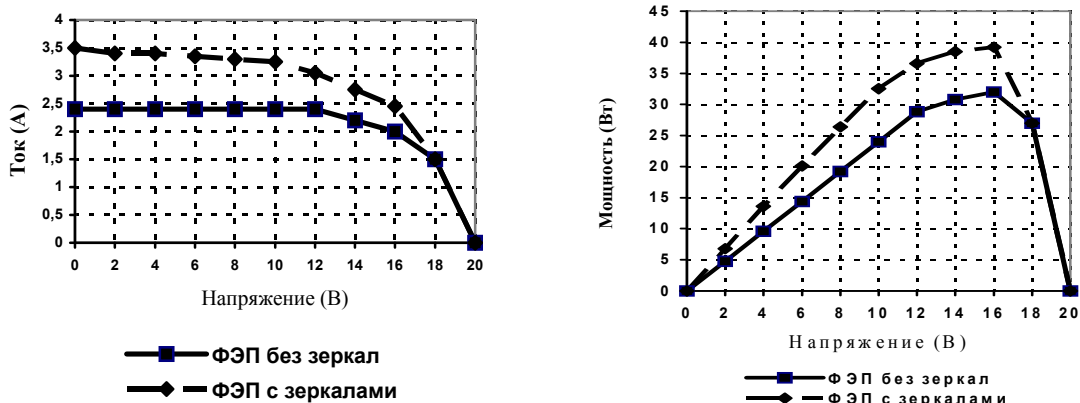


Рис. 2. Вольт-амперная и мощностная характеристики фотоэлектрического модуля ISM-50 (данные получены в январе)

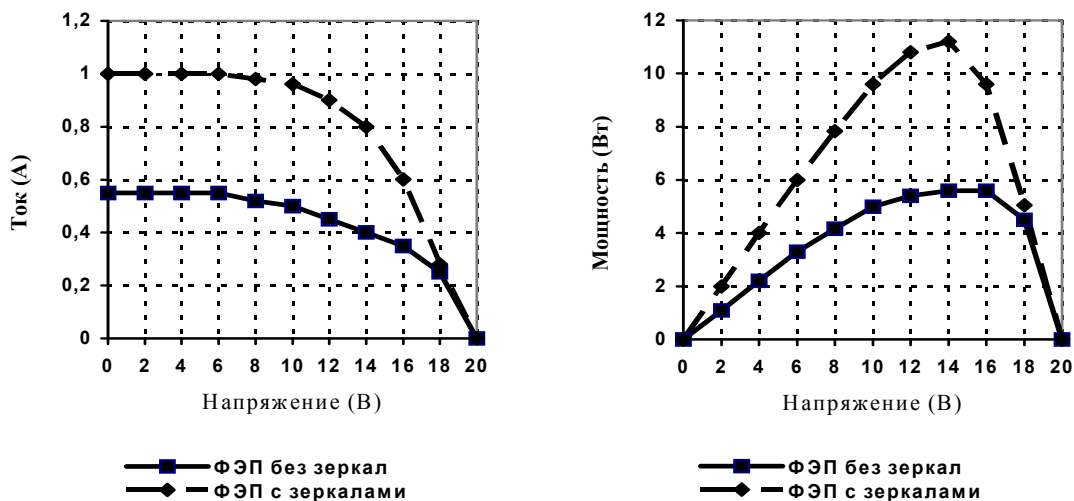


Рис. 3. Вольт-амперная и мощностная характеристики фотоэлектрического модуля AXR-12 (данные получены в январе)

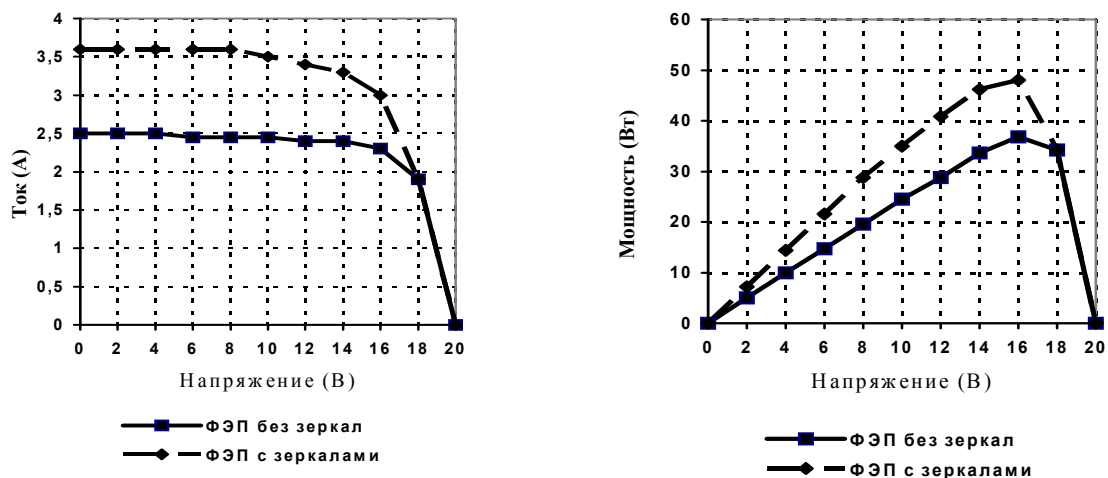


Рис. 4. Вольтамперная характеристика фотоэлектрического модуля ISM-50 (данные получены в марте)

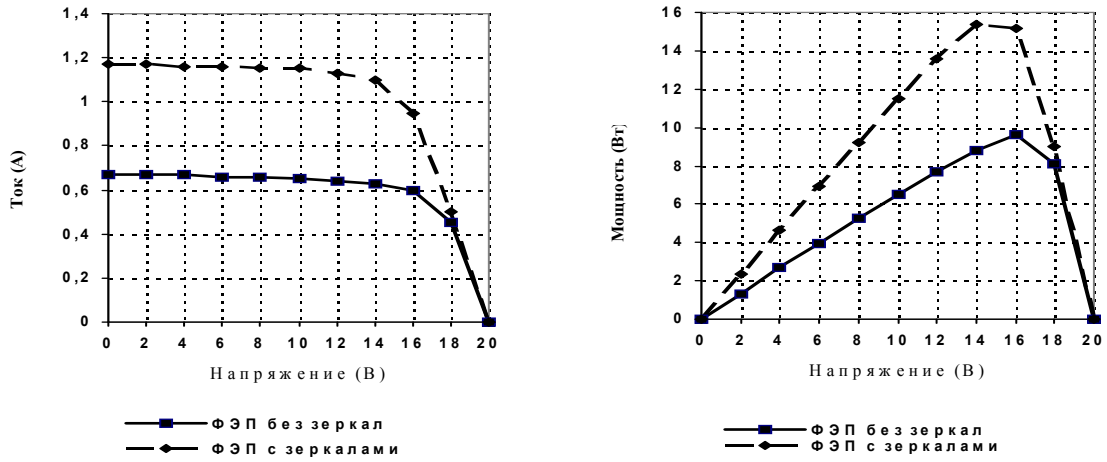


Рис. 5. Вольтамперная характеристика фотоэлектрического модуля AXR-12 (данные получены в марте)

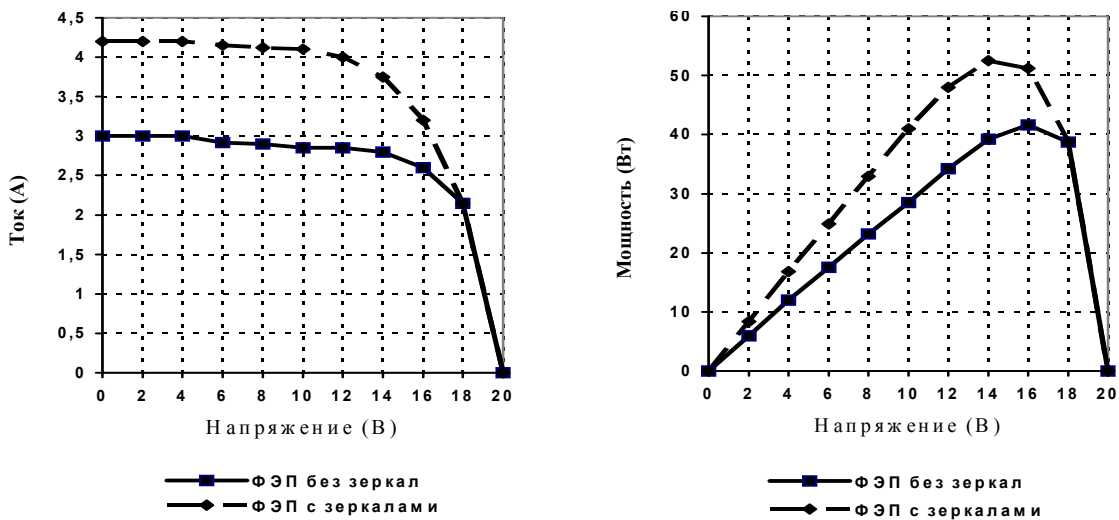


Рис. 6. Вольтамперная характеристика фотоэлектрического модуля ISM-50 (данные получены в апреле)

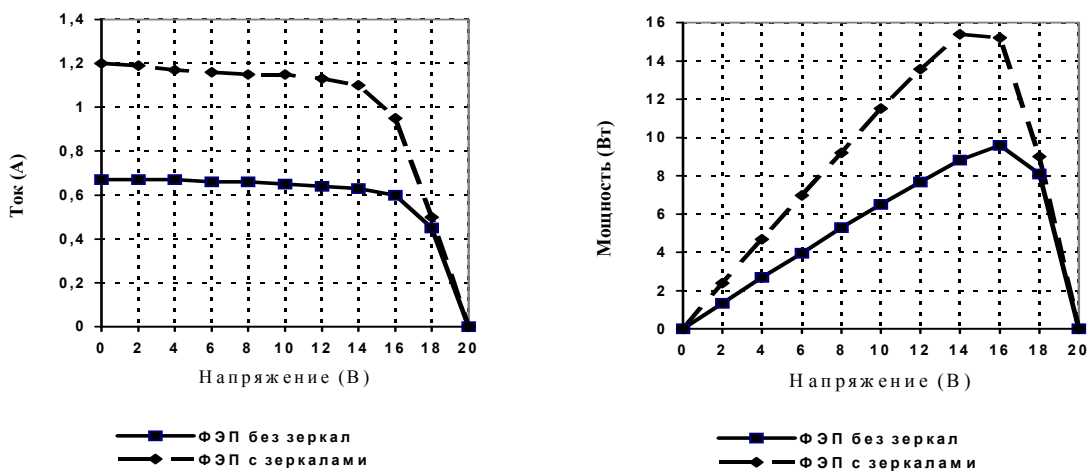


Рис. 7. Вольтамперная характеристика фотоэлектрического модуля AXR-12 (данные получены в апреле)

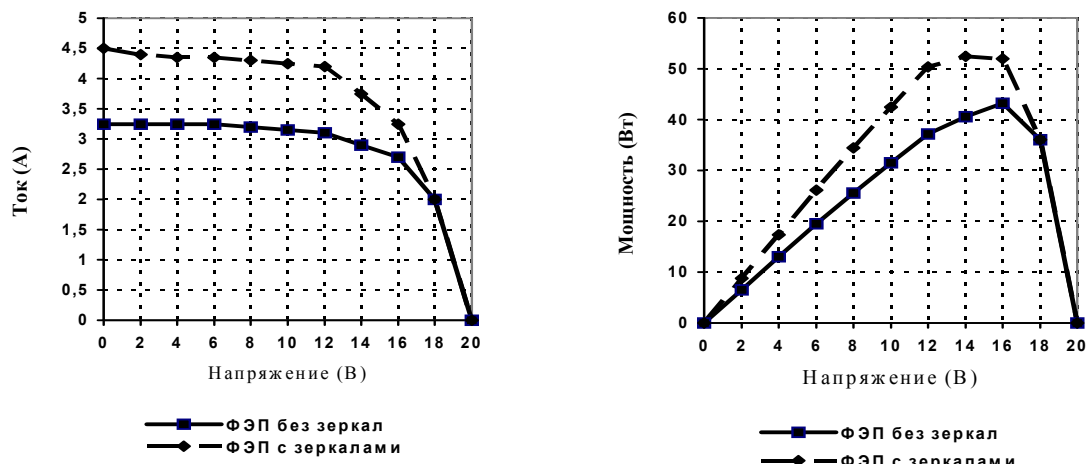


Рис. 8. Вольтамперная характеристика фотоэлектрического модуля ISM-50 (данные получены в мае)

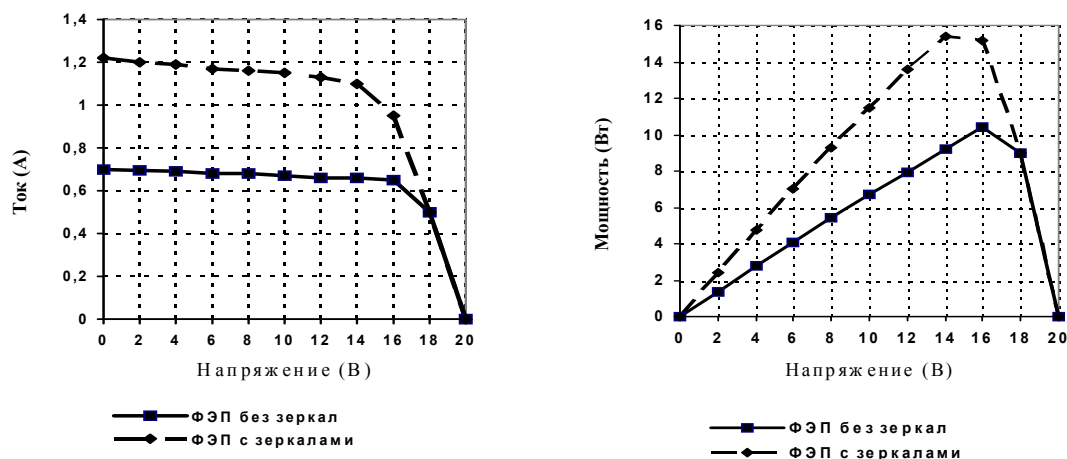


Рис. 9. Вольтамперная характеристика фотоэлектрического модуля AXR-12 (данные получены в мае)

Различие в увеличении мощности для 50-ти и 12-ти ватного элемента (до 35 и до 75%) объясняется большей концентрацией светового потока на единицу площади приемной поверхности.

Еще одним из направлений научной деятельности нашей кафедры являются исследования направленные на уменьшение конечной стоимости солнечных батарей. Этого можно достичь, удешевив сам процесс сборки модулей. С заводов можно получать готовые солнечные элементы рассчитанные на стандартные значения напряжений 0,45-0,6В, и показатели тока (в зависимости от площади рабочей поверхности элемента) до 3,5А. С этой целью на нашей кафедре проводилась экспериментальная сборка и полевые испытания собранных солнечных модулей.

Для сборки фотоэлектрического модуля были выбраны солнечные элементы, выпускаемые украинскими и российскими предприятиями. Основой этих модулей являются монокристаллические кремниевые элементы. Расчетное напряжение солнечных элементов в рабочей точке (точке максимальной мощности) 0,5В. Каждый из

модулей состоит из 36 кремниевых элементов. Собранные модули были рассчитаны на напряжение до 18В и мощность до 18Вт, 25Вт, 35Вт при стандартных условиях.

При сборке модулей были использованы кремниевые пластины с *p-n* переходом, легированные бором или фосфором, причем сами пластины имели различный тип проводимости, при этом спайка пластин проводилась не последовательно, а параллельно. Спайку пластин можно производить медной, серебряной или другой фольгой. Пластины можно крепить на оргстекло или другой материал, покрыв сверху обычным 2-х миллиметровым стеклом или прозрачным оргстеклом.

Процесс прямо преобразования солнечной энергии в электрический ток, а также свойства солнечных элементов хорошо описаны в работах отечественных и зарубежных ученых [10-11]. Однако практическое применение кремниевых солнечных батарей в земных условиях началось сравнительно недавно и поэтому мы надеемся, что наши эксперименты помогут более быстрому внедрению солнечных установок в наш быт.

### **Экологический эффект от использования фотоэлектрических установок**

В целом описанные выше исследования показывают, что наладить производство солнечных фотоэлектрических модулей в небольших количествах, используя готовые солнечные элементы можно практически в условиях любой даже небольшой лаборатории, что с успехом и делается во многих странах мира. Например, в США и Австралии ежегодно проводятся автопробеги на солнцемобилях, фотоэлектрические батареи для многих из них сделаны автолюбителями практически в домашних условиях.

Использование предложенных нами недорогих плоских солнечных концентраторов позволяет в 2-3 раза повысить выработку электроэнергии, уже существующими фотоэлектрическими установками, и при этом соответственно сократить цену на единицу их номинальной мощности. При этом для увеличения выработки электроэнергии солнечными батареями не приходится увеличивать производство солнечных элементов, которое само по себе является вредным и сопровождается опасными выбросами в атмосферу. В таблице 1 приведены данные о выбросах производимых тепловыми электростанциями.

В своей статье мы не рассматривали возможность использования для отопления и горячего водоснабжения солнечных водонагревательных установок (гелиоколлекторов).

Таблица 1

Выбросы в атмосферу отходов электростанций мощностью 1 млрд Вт, работающих на разных видах ископаемого топлива, т/год

Ископаемое топливо	Выбросы, т/год				
	пыль	угарный газ	оксиды азота	двуокиси серы	углеводороды
Уголь	3000	2000	27000	110000	400
Нефть	1200	700	25000	37000	470
Газ	500	-	20000	20	34

Расчет систем солнечного теплоснабжения с их использованием хорошо в работах [12-13]. Экологическая польза от использования этих установок еще более высока. Поэтому я хочу привести данные экспертов Европейского союза, работавших в Крыму по программе TESIS о количестве вредных выбросов в атмосферу различных

загрязняющих веществ образующих при сгорании нефти, газа и каменного угля (см. табл.2). Существенное сокращение этих выбросов возможно за счет внедрения на крымском полуострове солнечных установок.

Таблица 2

Выбросы в атмосферу, образующиеся при сгорании различных видов ископаемых топлив

Наименования загрязняющих веществ	Показатели по видам топлив (т/год)		
	Уголь	Нефть	Природный газ
Углекислый газ (CO <sub>2</sub> )	30 603	24 054	16 206
Двуокись серы (SO <sub>2</sub> )	536	508	-
Окислы азота (NO <sub>2</sub> )	56	100	19
Твердые частицы	920	32	1

Таким образом, применение только фотоэлектрических установок позволит снизить вредные выбросы в атмосферу и снизить экономический и экологический ущерб в несколько раз.

### Выводы

Использование описанных выше установок для обеспечения индивидуальных потребителей и промышленных объектов позволяет снизить использование природного газа и другого органического топлива, необходимых для производства электроэнергии, а также позволяет существенно сократить вредные выбросы в атмосферу.

Особо следует отметить возможность использования солнечных батарей для обеспечения отдаленных потребителей, у которых отсутствует централизованная подача электроэнергии. Такими потребителями являются не только небольшие сезонные объекты: пасеки, полевые лагеря, туристические базы, и др., но и довольно крупные стационарные: метеостанции, лесоводческие хозяйства, фермы. Часто для этих объектов невыгодно тянуть линия электропередачи, поэтому раньше и сейчас на них устанавливаются дизельные и бензиновые электрогенераторы, не рассматривая возможность использования солнечных батарей.

Приведенные исследования на серийных солнечных элементах позволяют сделать следующие основные выводы:

- внедрение солнечных установок позволит снизить вредные воздействия на окружающую среду котельных и тепловых электростанций;
- применение плоских концентраторов для солнечных батарей позволит, не увеличивая вредное производство кремниевых элементов повысить выработку электроэнергии уже существующими фотоэлектрическими электроустановками;
- в целях экономии средств, сборка фотоэлектрических модулей может производиться на базе малых лабораторий, что также будет способствовать более быстрому внедрению солнечных электроустановок в хозяйственную деятельность;
- согласно различным межгосударственным договорам (например, Киотский протокол), государства, существенно ограничивающие выбросы в атмосферу вредных веществ и углекислого газа будут иметь не только экологический, но и экономический эффект.



## Список литературы

1. Мхитарян Н.М. Гелиоэнергетика – К.: Вища школа, 2002. – 255 с.
2. Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки, М: Энергоатомиздат, 1991. – 153 с.
3. Мхитарян Н.М. Солнечная энергетика. – К.: Вища школа, 2005. – 385 с.
4. М.М. Колтун, Оптика и метрология солнечных элементов. М.: Наука, 1985. – 193 с.
5. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей: Пер. с англ. Под ред. М.М. Колтуна. - М.: Энергоатомиздат, 1983. – 195 с.
6. Фаренбрух А., Бьюб Р. Солнечные элементы: Теория и эксперимент: Пер. с англ. Под ред. М.М. Колтуна. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 280 с. с ил.
7. Кувшинов В.В., Сафонов В.А., Стаценко И.Н. Применение солнечной энергии. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2005. – 66 с.
8. Баранов В.Я. Новые концентраторы излучения и перспективы их применения в оптике и гелиотехнике // Тр. ГОИ. – 1979. – Т. 45. – Вып. 179. – С. 57 – 70.
9. Баранов В.К., Васильева Л.В. и др. Селективно отражающее металлическое зеркало // Гелиотехника. – 1966. - № 2. – С. 9 - 11.
10. Колтун М.М. Солнечные элементы. – М.: Наука, 1987. – 192 с. с ил.
11. Алферов Ж.И., Андреев В.М. Перспективы фотоэлектрического метода преобразования солнечной энергии Преобразование солнечной энергии. / Под ред. Н.Н. Семенова. – Черногловка: ИХФ АН СССР, 1981. – 20 с.
12. Даффи Д, Бекман У. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. – М.: Мир, 1977. – 150 с.
13. Бекман У., Кейли С., Даффи Д. Расчет систем солнечного теплоснабжения. – М: Энергоиздат, 1982. – 210 с.

УДК 621.311.25.002.5.019

**А.С.Селянский**

**Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности, г.Севастополь, Украина**

### **УДАРНАЯ ЭРОЗИЯ РАБОЧИХ ЛОПАТОК ЦИЛИНДРА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ**

---

*У даній статті розглядаються несправності, що виникають при експлуатації робочих лопаток циліндра низького тиску. Приводяться шляхи вирішення розглянутих проблем.*

*The article deals with disrepairs arising up during the operation of workings blades of cylinder of low pressure. Ways of decision of the considered problems are describe.*

---

#### **Введение**

Современная техника невозможна без использования машин и механизмов, обладающих высокой надежностью и сравнительной долговечностью в условиях эксплуатации, характеризующихся повышенными значениями скоростей, давлений и температур, а во многих случаях также и агрессивностью сред.

Элементы турбин, работающих на влажном паре, подвергаются непрерывному воздействию капель или струй жидкости, вследствие которой возможен износ (эрозия) поверхностей лопаток, дисков, диафрагм, обойм, корпусов и других деталей.