

УДК 620.97

## СОЛНЕЧНЫЕ ФОТОЭЛЕМЕНТЫ ИЛИ ДВИГАТЕЛЬ СТИРЛИНГА – РЕАЛИИ И БУДУЩЕЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Галушчак В.С., Сошинов А.Г., Атрашенко О.С., Копейкина Т.В.

*ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет»*

*Камышинский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет», Камышин, e-mail: olgapasmenko@yandex.ru*

Гигантское количество энергии, которое направляет Солнце к Земле издревле используется человеком для своего жизнеобитания, в том числе в технических устройствах. Первый нефтяной кризис 70-х годов прошлого столетия резко стимулировал технический прогресс в научных исследованиях, конструкторских проработках в строительстве и эксплуатации новых энергетических объектов – солнечных электростанций (СЭС). В статье рассмотрены основные принципы работы солнечных электростанций фотовольтаического и термодинамического типа, выполнен обзор достижений в области производства солнечных батарей и двигателей Стирлинга, а так же дана оценка дальнейших путей развития обоих направлений солнечной энергетики.

**Ключевые слова:** солнечная энергетика, термодинамический цикл, фотоэлемент, коэффициент полезного действия, электроэнергия

## SOLAR CELLS OR STIRLING ENGINE – REALITY AND FUTURE OF SOLAR ENERGY

Galushchak V.S., Sozinov A.G., Atrashenko O.S., Kopeikina T.V.

*FGBOU VPO «Volgograd State Technical University» Kamyshevskiy institute of technology (branch)*

*of FGBOU VPO «Volgograd State Technical University», Kamyshevskiy, e-mail: olgapasmenko@yandex.ru*

Giant amount of energy that the Sun sends to the Earth anciently used person for his zhizneobitaniya, including in technical devices. The first oil crisis 70-h years of the last century dramatically stimulated technical progress in scientific research, engineering studies in construction and operation of new energy facilities – solar power plant (SPP). The article describes the basic principles of solar thermal power plants photovoltaic and thermodynamic type, there is a review of achievements in the field of production of solar cells and Stirling engines, as well as the estimation of the future path of development of both aspects of solar energy.

**Keywords:** solar energy, thermodynamic cycle, solar cell, efficiency, electricity

В короткое время были построены и запущены в работу СЭС в Испании, Италии, Японии. В том числе Отечественная Крымская СЭС-5, вблизи г. Феодосия мощностью 5 МВт [1] и американская станция Солар-1 [2] в Альмерии. Все эти станции были термодинамического типа, работающие по паротурбинному циклу Ренкина. Коэффициент полезного действия (степень использования энергии солнца) таких электростанций как правило не превышал 15%. И тем не менее во всем мире были развернуты крупные проекты солнечных электростанций, установленной мощностью 30–400 МВт, в том числе по гибридным технологическим схемам. Крупнейшей в мире башенной СЭС термодинамического типа является электростанция Ivanpah Solar Electric Generating System, установленной мощностью 392 МВт (рис. 1) [3].

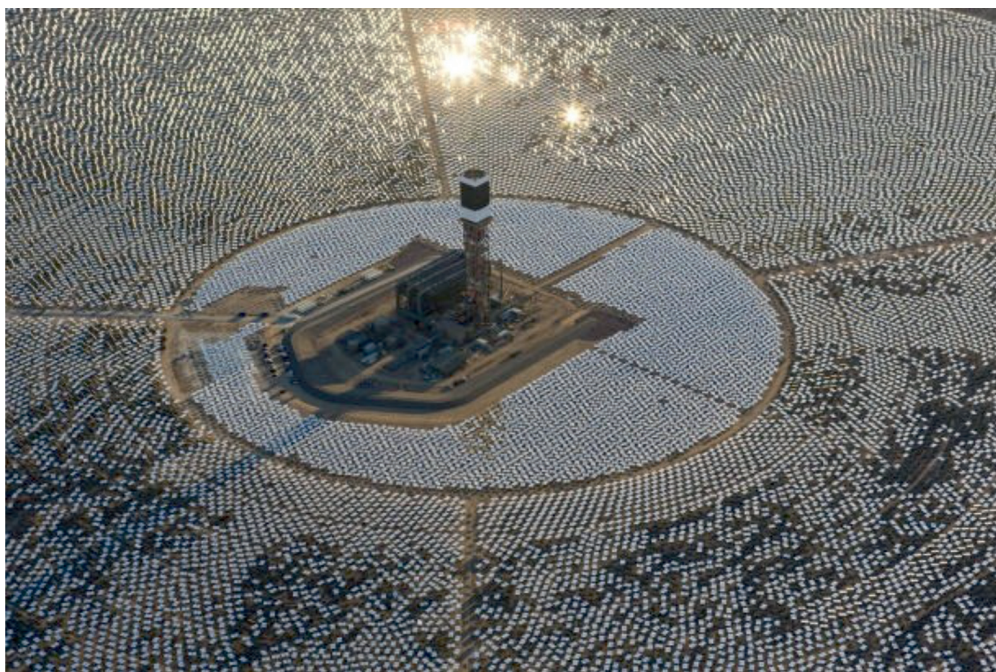
В некоторых схемах термодинамических СЭС, как например в СЭС фирмы «ЛУЗ», недостаточность или отсутствие солнечного излучения компенсировались сжиганием органического топлива в обычных котлоагрегатах [4].

Параллельно активизировались работы по прямому преобразованию солнечного излучения в электричество путем использования явления фотоэлектрического эффекта в кристаллических полупроводниках. Коэффициент полезного действия первых солнечных фотоэлементов (ФЭП) составлял около 4%, что было намного меньше КПД первых солнечных установок термодинамического типа.

Однако неоспоримые преимущества ФЭП стимулировали дальнейшие работы по их совершенствованию. Каковы же эти преимущества? Это прежде всего минимальное количество преобразовавшей энергии: солнечное излучение → электроэнергия, которое получило название прямого преобразования солнечной энергии в электричество. Второе преимущество – простота конструкции СЭС, так как изготовленные на заводе солнечные батареи неподвижно закрепляются на легком решетчатом основании, ориентированные в плоскости максимального улавливания солнечной энергии. Третье преимущество – возможность создания автомати-

зированной электростанции с полным отсутствием эксплуатационного персонала, когда периодическое обслуживание оборудования технологической схемы осуществляется сервисной компанией по го-

довому графику в отведенное для этого периоды времени. Такого типа электростанция мощностью 100 МВт эксплуатируется в с.Охотниково Сакского района в Крыму (рис. 2).



*Рис. 1. Самая крупная СЭС башенного типа Ivanpah Solar Electric Generating System в Южной Калифорнии (США)*



*Рис. 2. Солнечная электростанция в с. Охотниково*



И тем не менее, низкий КПД солнечных батарей требует отведения больших земельных участков над СЭС, так как объем выработки электроэнергии определяется выражением:

$$Э_{СЭС} = J_0 \cdot F \cdot \eta \cdot \lambda \cdot 8760 \quad (1)$$

где  $Э_{СЭС}$  – объем выработки электроэнергии, кВт·ч;

$J_0$  – инсоляция в точке строительства СЭС, кВт·м<sup>2</sup>;

$F$  – площадь, занимаемая СЭС, м<sup>2</sup>;

$\eta$  – замыкающий КПД технологического цикла СЭС;

$\lambda$  – вероятность, что в расчетное время будет присутствовать солнечное излучение.

При этом большие площади, занимаемые солнечными электростанциями, называются противниками новых технологий как один из важнейших отрицательных факторов солнечной энергетики.

Таким образом, повышение КПД является неперенным условием сокращения площади земель, занимаемых солнечными электростанциями.

Так каковы же перспективы повышения КПД солнечных электростанций фотовольтаического типа? В настоящее время в открытой печати сообщается о следующих отечественных достижениях (табл. 1).

Таким образом, для промышленных солнечных электростанций на 2015 год могут быть использованы солнечные батареи с КПД солнечного преобразователя 10–12%, что по замыкающему КПД (с учетом плотности застройки)  $\eta_{СЭС} \approx 4–6\%$ .

В тоже время сторонники термодинамического преобразования солнечной

энергии в электрическую обратились к термодинамическому циклу Стирлинга, который значительно эффективней широко применяемых циклов Отто, Дизеля, Ренкина. В солнечной установке на базе двигателя Стирлинга преобразование энергий удлиняется по цепочке: тепловая энергия → механическая энергия → электрическая энергия.

Однако термодинамический КПД цикла теоретически довольно высок и при нагреве горячего поршня Стирлинга до теоретически возможного для солнечной установки  $T_{нагр} = 3000$  К при температуре окружающего воздуха  $T_{хол} = 300$  К составляет

$$\eta = \frac{T_{нагр} - T_{хол}}{T_{нагр}} = \frac{3000 - 300}{3000} \approx 90\%. \quad (2)$$

Именно высокий теоретический КПД цикла привлекает исследователей и созданию солнечных установок с двигателем Стирлинга.

На сегодня различными фирмами создан ряд двигателей Стирлинга на жидком и газообразном топливе различных мощностей (табл. 2) [8].

Однако пока отсутствуют материалы, из которых можно изготовить горячий поршень Стирлинга, работающие при температуре 3000 К.

В последнее время большой интерес к солнечным установка на основе двигателей Стирлинга проявили и русские изобретатели. Наиболее перспективной установкой можно назвать солнечную установку со свободно поршневым двигателем Стирлинга и линейным генератором И. Белецкого [9].

Таблица 1

Основные виды солнечных установок

| Тип ФЭП        | Наличие концентраторов | КПД, % | Состояние            |                           | стоимость руб/Вт | Источник |
|----------------|------------------------|--------|----------------------|---------------------------|------------------|----------|
|                |                        |        | Лабораторные образцы | Промышленное производство |                  |          |
| Кремниевые     | –                      | 10–12  | –                    | г. Рязань РЗМКП           | 140              | [5]      |
| Арсенид галлия | –                      | 28     | –                    | г. Краснодар ОАО «Сатурн» | Нет данных       | [6]      |
| Гетерозлементы | –                      | 54     | г. Дубна НЦЕПИ ОИЯИ  | –                         | 50               | [7]      |

Таблица 2

Некоторые характеристики двигателей Стирлинга

| Фирма        | Марка    | Мощность, кВт | Эффективный КПД, % |
|--------------|----------|---------------|--------------------|
| Philips      | 4-S-1210 | 265           | 30                 |
| STM Inc      | STM-4    | 52            | 45                 |
| Daimler Benz | KS15D    | 15            | 37,1               |
| MTI          | 4-95     | 52            | 41                 |



Рис. 3. «Солнечные фермы» компаний Sandia National Laboratories и Stirling Energy Systems

Американская национальная лаборатория Сандия (Sandia National Laboratories), специализирующийся на энергетике, объединила свои усилия с американской компанией Stirling Energy Systems для строительства солнечных установок, основанных на двигателях Стирлинга (рис. 3).

Шесть солнечных генераторов образуют электростанцию с выходной электрической мощностью 150 киловатт (в дневные часы, конечно). Солнечный свет концентрируется на двигателях с помощью зеркал, каждое из которых построено из 82 отдельных секций. Каждая установка работает автоматически. Без вмешательства оператора или даже присутствия человека. Она запускается каждое утро на рассвете и работает в течение дня, отслеживая солнце и переходя «ко сну» на закате. Параметры системы могут быть проверены и изменены через Интернет.

Полный КПД, рассчитанный от солнечного света и до электричества в выходных проводах, составляет 30%, что немного выше, чем у обычных фотоэлектрических солнечных батарей. Стоимость каждой установки – приблизительно \$150 тысяч. При серийном выпуске цена на эти стирлинги может быть снижена более чем втрое, что доведёт стоимость электричества, произведённого таким способом, до уровня классических топливных технологий.

Однако солнечный Стирлинг это не обязательно нечто громадное, как на фото выше, Стирлинги тем и уникальны, что их можно делать любых размеров и под любую тепловую нагрузку. Это чрезвычайно важно для индивидуальных электростанций. Так в арабских странах большой потребностью становятся автономные солнечные электростанции мощностью 20–40 кВт, обеспечивающие технологическую нагрузку и кондиционирование помещений индивидуального предпринимателя работающего в пустынной зоне с числом дней солнечного

сияния до 350 в году! В этих условиях применение двигателя Стирлинга с высоким КПД преобразования солнечной энергии позволяет создать солнечный концентратор приемлемых габаритов и в целом такая установка способна обеспечить надёжное электроснабжение потребителя.

### Выводы

1. Работы по вовлечению солнечной энергии в промышленную электроэнергетику успешно продолжаются в разных странах уже около пятидесяти лет.

2. Наиболее успешные проекты относятся к промышленным СЭС фотовольтаического типа.

3. В последнее время значительный объём научных исследований направлены на создание солнечных электростанций на базе двигателя Стирлинга, как имеющие более высокий КПД преобразования солнечного излучения в электрическую энергию.

### Список литературы

1. Возобновляемая энергетика // Солнечные электростанции // URL: <http://new-renewenergy.ru/sun/597-solnechnye-jelektrostancii.html>.
2. В США была запущена крупнейшая в мире солнечная электростанция башенного типа // URL: <http://www.3dnews.ru/804144>.
3. Галушак В.С. Первая в СССР солнечная электростанция / В.С. Галушак // ж. Энергетика и электрификация. – 1985. – № 1. – С. 20–21.
4. Коноваленко В.А. Двигатели высокой удельной мощности / В.А. Коноваленко под ред. С.И. Маркова. – Санкт-Петербург, 2011. – 49 с.
5. Рязанский завод металлокерамических приборов // солнечные модули // URL: <http://www.rmcip.ru/>
6. Солнечные электростанции (СЭС) // URL: [miscom.info/solarelectro/](http://miscom.info/solarelectro/)
7. Сагун // Солнечные батареи // URL: <http://www.saturn.kuban.ru/>
8. Солнечный генератор на двигателе Стирлинга SOLAR STIRLING ENGINE GENERATOR (Игорь Белецкий) // URL: <http://www.physicstoy.narod.ru>.
9. Технологии // Энергетика // Звездные батареи – наше // URL: <http://iqrate.com/energetics/zvezdnye-batarei-nashe-budushee/>