

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА БАЗЕ ТЕПЛОВЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ**

***В.В. Харченко, доктор технических наук  
Б.А. Никитин, А.Т. Беленов, кандидаты технических наук  
П.В. Тихонов, аспирант  
Московский государственный университет дизайна  
и технологии, г. Москва***

*Рассмотрены возможности повышения эффективности солнечных когенерационных установок на базе фотоэлектрических тепловых (ФЭТ) модулей. Предложена конструкция установки, обеспечивающей получение горячей воды с заданной температурой при сохранении высоких значений КПД фотоэлектрического преобразования.*

***Когенерационная система теплоэлектроснабжения, фотоэлектрический тепловой модуль, возобновляемые источники энергии, источники генерации, системы аккумулирования.***

В настоящее время солнечная энергия является одним из наиболее широко используемых видов возобновляемых источников энергии (ВИЭ). В основном она используется для выработки тепловой энергии (горячая вода), которая производится в солнечных коллекторах (СК) и для выработки электрической энергии с помощью фотоэлектрических модулей (ФЭМ).

Фотоэлектрические модули зарекомендовали себя как надежные и простые в эксплуатации устройства, а солнечные тепловые коллекторы как надежные средства генерации тепловой энергии. Теория и практика применения как гелиоводонагревателей (СК), так и фотоэлектрических преобразователей солнечной радиации (ФЭМ) подробно и широко описаны в литературе. При организации энергоснабжения объектов (главным образом автономных) обычно используются и солнечные коллекторы (для выработки тепловой энергии), и фотоэлектрические панели (для выработки электроэнергии). И те и другие могут устанавливаться либо на близрасположенных свободных площадках, либо на крышах зданий.

В последние годы в мировой практике стали использоваться более удобные комбинированные системы, совмещающие и ФЭМ, и СК, функционирующих в одном энергетическом устройстве, создаваемом по так называемой ФЭТ технологии (photovoltaic-thermal technology) [4].

Отличительной особенностью ФЭТ модулей является то обстоятельство, что в его конструкции изначально заложено одно противоречие. Для обеспечения необходимых параметров горячей воды, используемой в системах горячего водоснабжения и отопления, требуется достижение максимально высоких температур (60° или даже 90°). Но

---

\*Научный руководитель – доктор технических наук, профессор В.В. Харченко

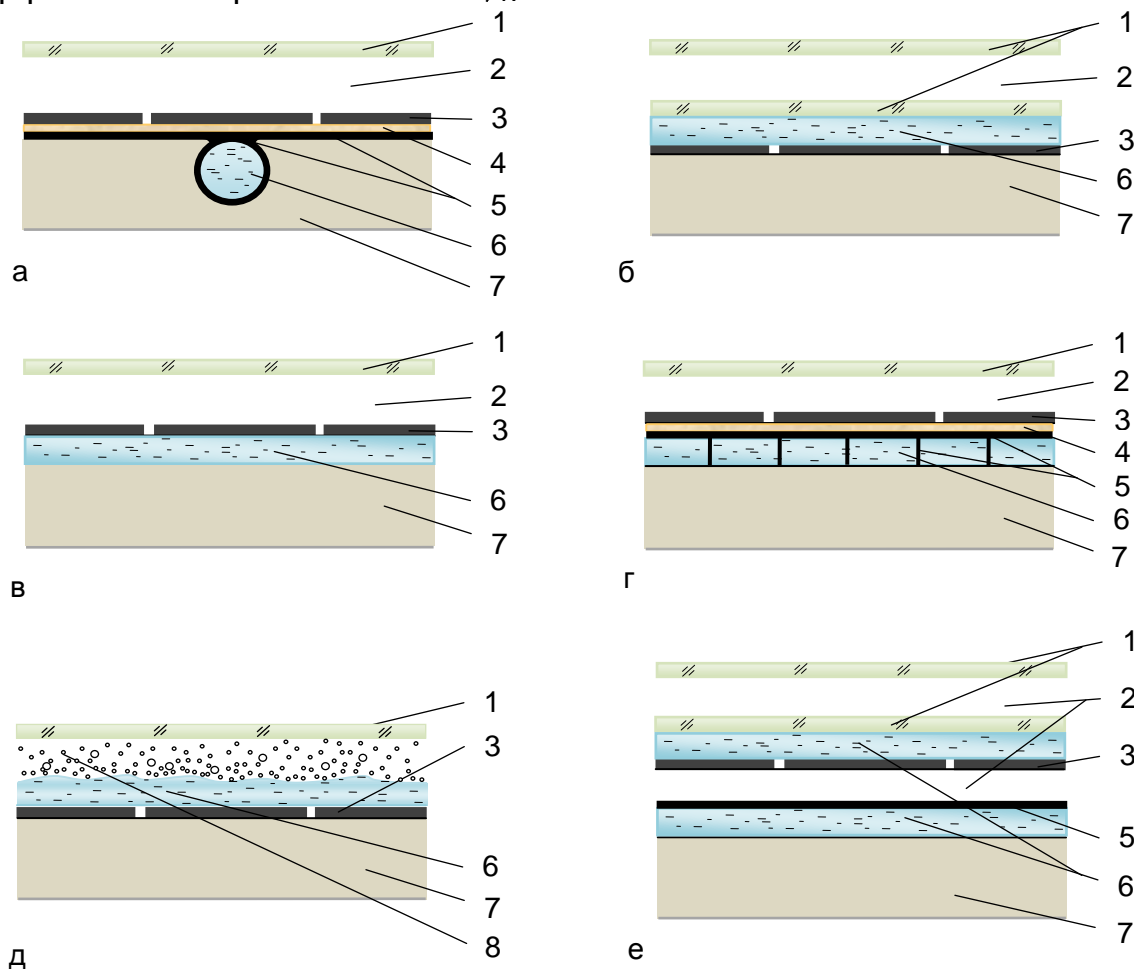
© В.В. Харченко, Б.А. Никитин,  
А.Т. Беленов, П.В. Тихонов, 2014

повышение температуры влечет за собой снижение КПД солнечных элементов. По этой причине установки теплоэлектроснабжения на базе ФЭТ модулей не всегда могут обеспечить потребности потребителей.

**Цель исследований** – изучение функционирования фотоэлектрического теплового модуля (PV-Thermal module) и на этой основе разработка подходов и технических средств, обеспечивающих максимальную эффективность этих когенерационных устройств.

**Материалы и методика исследований.** Для создания ФЭТ модуля наиболее подходящим представляется плоский гелиоколлектор, поскольку его конструкция наиболее удобна для объединения с фотоэлектрическими преобразователями, которые легко располагаются на его приемной поверхности.

В литературе (например [3]) описан ряд конструкций таких агрегированных устройств (рис.1) и приведены результаты теоретических оценок эффективности работы ФЭТ модулей.

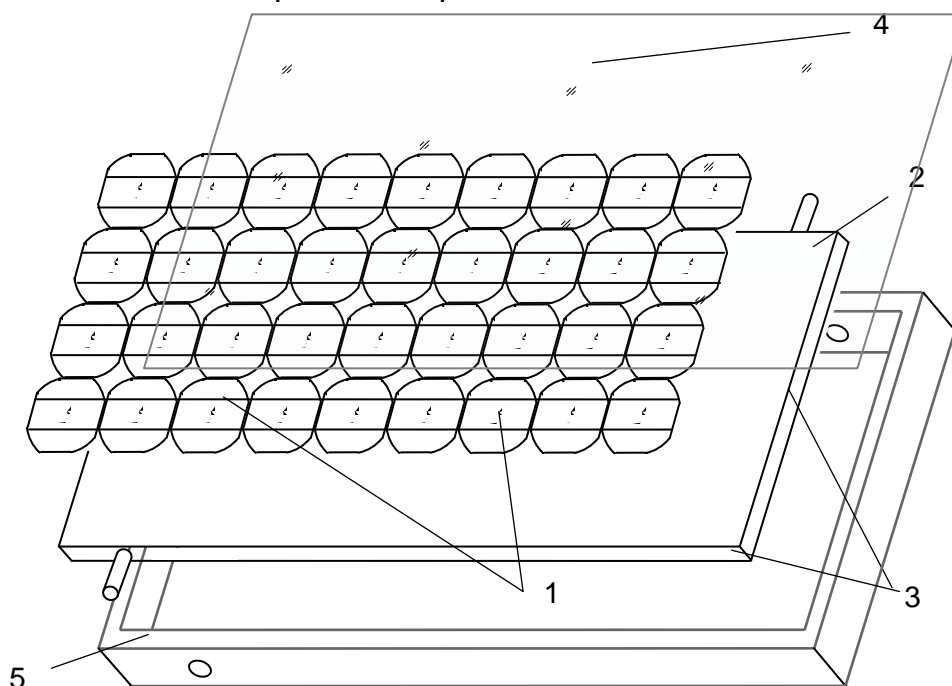


**Рис.1. Наиболее распространенные конструкции ФЭТ модуля:**  
 а – с абсорбером типа «лист-труба»; б – с абсорбером в виде канала жидкости над ФЭ панелью; в – с абсорбером в виде канала жидкости под ФЭ панелью;  
 г – с абсорбером из прямоугольных каналов; д – с абсорбером в виде канала частично заполненного жидкостью, расположенным над ФЭ панелью; е – с двойным абсорбером и воздушной прослойкой; 1 – светопрозрачное покрытие; 2 – воздух; 3 – фотоэлектрическая панель; 4 – теплопроводящее электроизоляционное

скрепляющее вещество; 5 – тепловой абсорбер; 6 – теплоноситель (жидкость);  
7 – теплоизоляционный материал; 8 – пары жидкости

При проведении теоретических расчетов было принято, что модули работают с принудительной циркуляцией теплоносителя, солнечная радиация ( $R$ ) принималась равной  $800 \text{ Вт/м}^2$ , температура окружающей среды равной  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , скорость ветра –  $1 \text{ м/с}$ , температура неба –  $4 \text{ }^\circ\text{C}$ , а угол наклона коллектора соответствовал значению  $45^\circ$ .

Было показано, что перспективной представляются конструкция с каналом для жидкости, располагаемым за фотоэлектрической панелью, поскольку помимо простоты и надежности в эксплуатации она при серьезных преимуществах по выработке электроэнергии имеет незначительно меньшую выработку по теплоте в сравнении с другими конструкциями. К аналогичным выводам привели и проведенные нами исследования.



**Рис.2. Конструкция ФЭТ модуля, разработанного в ВИЭСХ:**

1 – фотоэлектрическая панель (батарея СЭ); 2 – тепловой поглощающий элемент (абсорбер); 3 – резервуар с теплоносителем; 4 – прозрачная изоляция (остекление); 5 – теплоизоляционный пенал

**Результаты исследований.** Нами был разработан макет ФЭТ модуля вышеуказанной конструкции, принципиальная схема и внешний вид которого приведены на рисунках 2 и 3.

При изготовлении модуля особое внимание было уделено созданию хорошего теплового контакта между обратной стороной фотоэлементов и поверхностью принимающей панели при обеспечении надежной изоляции между ними.

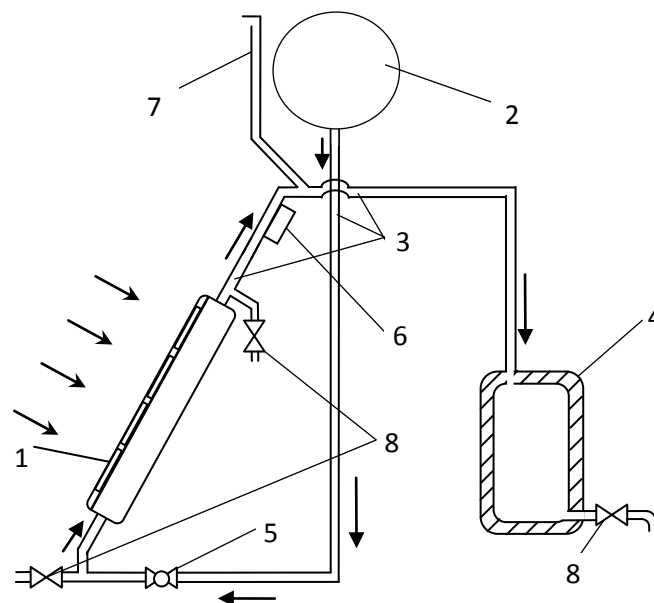
ФЭТ модуль был исследован в натуральных условиях при различных условиях эксплуатации. Для этого была разработана специальная система одновременного мониторинга метеопараметров, контроля

электрических и тепловых параметров ФЭТ модуля и температуры самых разных точек модуля [3].



**Рис.3. Внешний вид разработанного макета ФЭТ модуля**

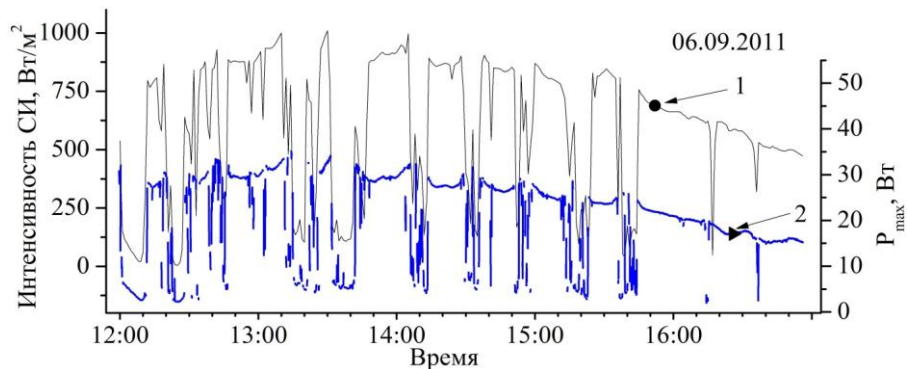
Собственно установка для натурных исследований разработанного макета ФЭТ модуля представлена на рис.4.



**Рис.4. Схема установки для исследования макета ФЭТ модуля:**  
1 – ФЭТ модуль; 2 – напорный бак; 3 – трубопровод; 4 – бак-аккумулятор;  
5 – электромагнитный клапан; 6 – термореле; 7 – воздушник; 8 – вентиль

Был проведен комплекс исследований характеристик ФЭТ модуля в различных условиях эксплуатации, разным уровне приходящей солнечной радиации и изменяющихся метеопараметрах. Было показано, что изменения уровня солнечной радиации в течение дня существенно влияют на выходные параметры ФЭТ модуля. Так, на рис.5 приведены данные по корреляции максимальной мощности фотоэлектрической части модуля с уровнем приходящей солнечной радиации. На этом

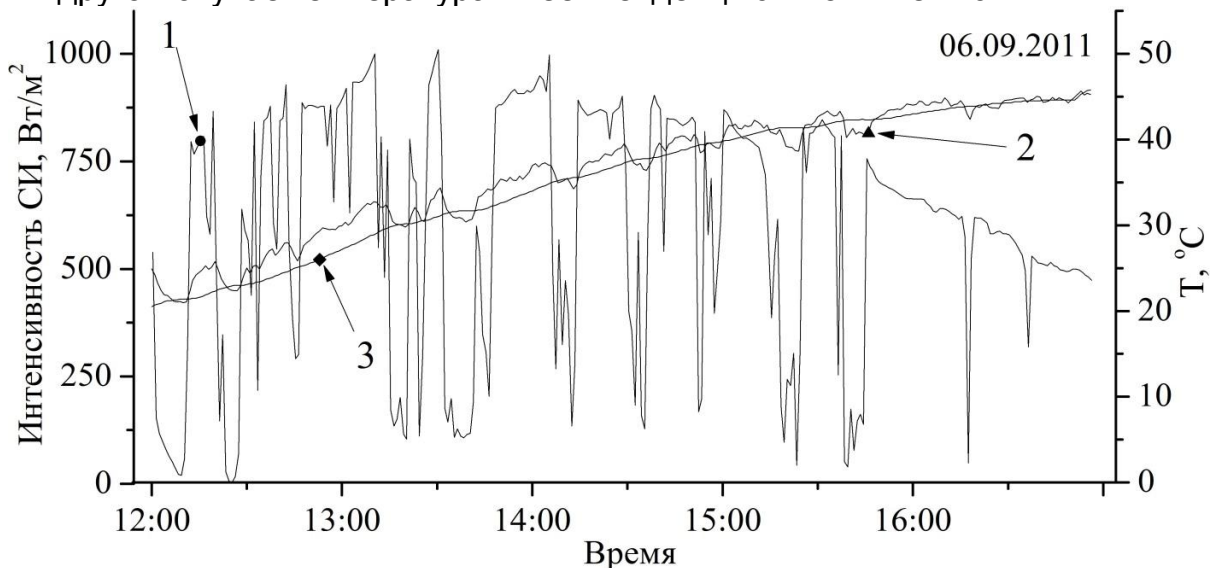
рисунке четко видно, что снижение уровня солнечной радиации влечет за собой практически безинерционное изменение электрической мощности модуля.



**Рис.5. Изменения интенсивности солнечного излучения и максимальной мощности фотоэлектрической части ФЭТ модуля в течение дня:**

1 – уровень солнечного излучения; 2 – электрическая мощность ФЭТ модуля

Совершенно по-разному колебания интенсивности солнечного излучения влияют на температуру рабочей поверхности ФЭТ модуля и температуру теплоносителя (воды) в резервуаре ФЭТ модуля. Если температура поверхности заметно изменяется синхронно с колебаниями радиации, то температура теплоносителя в резервуаре ФЭТ модуля практически не реагирует на эти кратковременные колебания (рис.5). В то же время в одном и в другом случае температура имеет тенденцию к повышению.

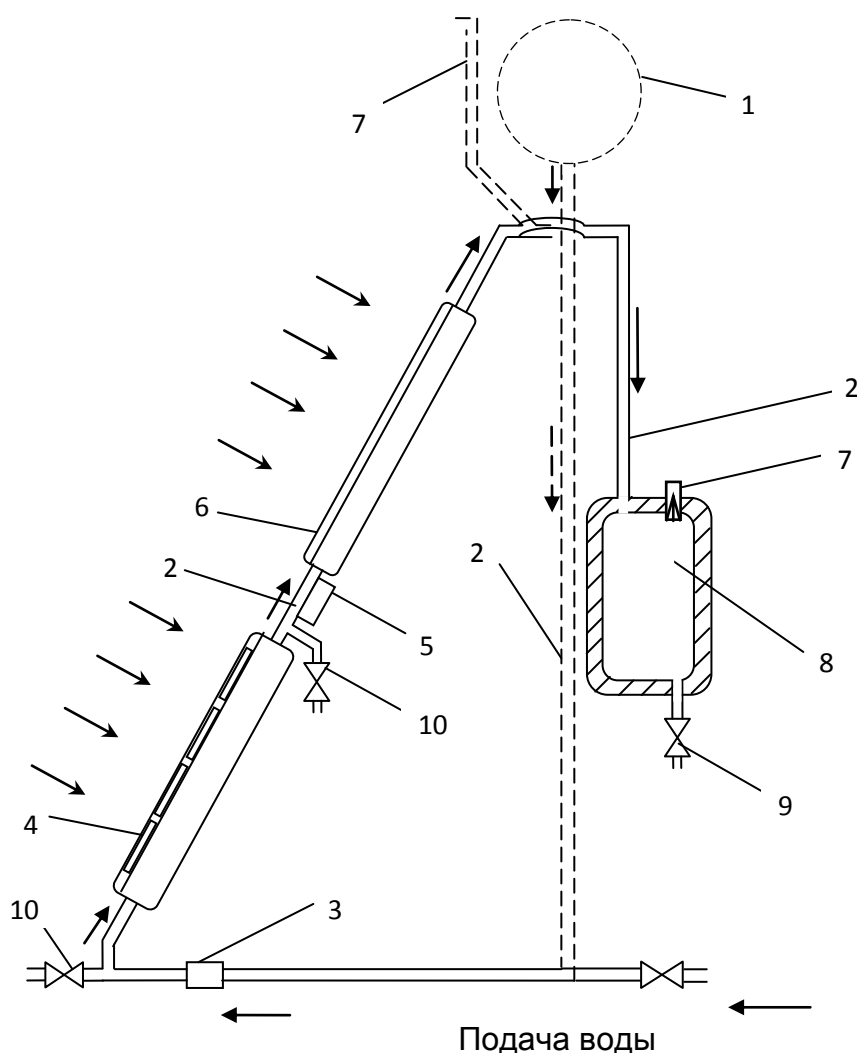


**Рис.6 Влияние колебаний интенсивности солнечной радиации в течение дня (1) на температуру рабочей поверхности ФЭТ модуля (2) и температуры теплоносителя в резервуаре ФЭТ модуля (3)**

Испытуемая схема показала достаточно высокие эксплуатационные характеристики. На основе результатов ее испытаний была предложена и запатентована [2] фотоэлектрическая водогрейная установка. Однако указанная система имела серьезные недостатки, поскольку ее

эффективность существенно снижалась при повышении температуры вырабатываемой воды.

Нами был сделан вывод, что режимы работы такой установки следует выбирать в соответствии с запросами конечного потребителя. В частности, режимы работы могут выбираться таким образом, чтобы обеспечить: максимальную выработку электроэнергии, максимальную выработку тепловой энергии, либо максимальную выработку тепловой и электрической энергии суммарно (максимальный эксергетический КПД установки). По-видимому, наиболее востребованными могут стать системы, отвечающие первому и третьему режимам эксплуатации.



**Рис. 7. Схема модернизированной солнечной станции с ФЭТ модулем:**

- 1 – напорный бак; 2 – трубопровод; 3 – электромагнитный клапан; 4 – ФЭТМ;  
5 – термореле; 6 – СК; 7 – воздушник; 8 – бак-аккумулятор; 9, 10 – вентили

В случае, если необходимо обеспечить максимальную выработку электроэнергии, но при этом получить достаточно высокую температуру горячей воды, целесообразно использовать установки, принципиальная схема которой представлена на рис. 7. Такая схема имеет ряд

преимуществ, поскольку при получении воды с допустимо высокой температурой в ФЭТ модуле 4, ее догрев до заданной температуры можно осуществить в дополнительном водонагревателе 6. Приведенная установка защищена патентом РФ [1].

В Западной Европе ФЭТ модули применяются достаточно широко, в то время как в России в настоящее время такие устройства практически не применяются, несмотря на всю очевидность эффективности их использования. Кроме общих причин, сдерживающих развитие ВИЭ в России, это объясняется отсутствием опыта применения таких систем и исследований в данном направлении.

### **Выводы**

Для содействия ускоренному внедрению ФЭТ модулей в практику целесообразно разработать и освоить в производстве выпуск серийных образцов ФЭТ модулей собственной разработки и реализовать демонстрационные проекты по использованию ФЭТ модулей в крупных системах теплоснабжения потребителей.

### **Список литературы**

1. Пат. № 2509268 Российская Федерация, МКП F24J. Когенерационная фотоэлектрическая тепловая система / Стребков Д.С., Харченко В.В., Тихонов П.В., Тихонов А.В., Никитин Б.А., Сычев А.О.; заявл. 28.04.2012; опубл. 10.03.2013, Бюл.№7.
2. Пат. № 126436 Российская Федерация, МКП F24J 2/42. Фотоэлектрическая водогрейная установка / Харченко В.В., Тихонов П.В., Тихонов А.В., Никитин Б.А., Тюхов И.И.; заявл. 28.04.12; опубл. 27.03.13, Бюл. №9.
3. Харченко В.В. Комплекс мониторинга основных параметров гелиоустановок с фотопреобразователями / В.В. Харченко, П.В. Тихонов // Альтернативная энергетика и экология. – 2013. – № 02 (119). – С.32–36.
4. Zondag H.A., deVries D.W., van Helden W.G.J., van Zolengen R.J.C., Steenhoven A.A. The yield of different combined PV-thermal collector designs, Solar Energy, №74 (3), 2003. с. 253-269.

*Розглянуто можливості підвищення ефективності сонячних когенераційних установок на базі фотоелектричних теплових (ФЕТ) модулів. Запропоновано конструкцію установки, яка забезпечує отримання гарячої води із заданою температурою при збереженні високих значень ККД фотоелектричного перетворення.*

***Когенераційна система теплоелектропостачання, фотоелектричний тепловий модуль, поновлювані джерела енергії, джерела генерації, системи акумулявання.***

*The possibilities of increasing the efficiency of solar cogeneration plants based on photovoltaic thermal (FEE) modules. The design of the installation, which provides hot water to a set temperature while maintaining high efficiency photoelectric conversion values.*

***Cogeneration system heat power supply, photoelectric thermal module, renewable energy, sources for generation, storage systems.***