

УДК 621.383

Оценка эффективности гибридных систем электрического и теплового снабжения, основанных на солнечной энергии

Б. Т. Шохзода*, Н. Н. Кокин

Одной из приоритетных задач в области альтернативной энергии в настоящее время стала разработка гибридных систем для обеспечения потребителей как электрической, так и тепловой энергией за счет возобновляемых источников, экономя таким образом затраты на производство, используемые площади и себестоимость. Рассмотрена гибридная система, позволяющая наиболее эффективно использовать солнечную энергию, приходящую на поверхность модуля и смоделированы специально подобранные режимы, повышающие количество выработанной энергии за счет отвода тепла от солнечных модулей.

Ключевые слова: солнечная энергетика, гибридная система.

Современное применение возобновляемых источников энергии

Современная тенденция развития сферы электроэнергетики показывает планомерное увеличение доли используемых возобновляемых источников энергии. Среди них наиболее распространены: солнечный свет, ветер, дождь, приливы, волны и геотермальное тепло. Возобновляемый источник энергии заменяет традиционные виды топлива при производствах электроэнергии и горячей воды, при организации системы отопления, топлива для транспорта, и т. п. Благодаря своей рентабельности возобновляемые источники энергии становятся все более конкурентоспособными. Растет число исследований, показывающих экономичность возобновляемой энергетики при учете экологических и медицинских издержек, особенно для децентрализованных потребителей энергии. Развитые страны с большим потенциалом возобновляемых ресурсов пытаются

увеличить вклад возобновляемых источников в собственную энергетику и ставят их во главе национальной энергетической политики, вводя различные программы субсидирования. Согласно отчету ООН в 2008 г. в солнечную энергетику во всем мире было инвестировано \$33,5 млрд, сюда вошли и большие проекты по строительству солнечных электрических станций и инновационные разработки в области солнечной энергетики [1].

Появление на рынке концентраторов солнечной энергии первого поколения подтвердило предположения проводимой политики, так как, их использование позволяет одновременно вырабатывать электрическую и тепловую энергии (гибридная система). Подобные системы энергоснабжения становятся все популярнее среди автономных потребителей. Они не требуют больших площадей и вырабатывают два вида энергии, а благодаря простой конструкции их можно использовать практически в любом месте.

Существуют различные виды солнечных концентраторов, но наиболее распространены: параболические концентраторы башенного типа с центральным

* Gaint90@mail.ru

приемником, концентраторы тарельчатого типа и голографические солнечные концентраторы. Самыми простыми для эксплуатации автономным потребителем являются голографические концентраторы.

Возможность применения голографических структур для концентрации солнечного излучения рассматривалась еще в 80-х гг. XX в. [2]. Первым стал голокон, предложенный советскими учеными. Потом к вопросу использования голографических систем для применения в солнечной энергетике вернулись лишь в начале 2000 г. Американская компания Prism Solar Technologies [3] предложила фотоэлектрическую батарею с использованием голографического концентратора, который являлся голоконом в виде плос-копараллельной пластины и назывался плоским голографическим концентратором (ПГК) [4].

В настоящее время продолжается разработка концентраторов, гораздо эффективнее голографических: швейцарская Airlight Energy и американская IBM Research компании разработали установку, преобразующую до 80% солнечного излучения в тепло и электричество [5], которая выйдет на рынок в 2017 г. Ее установка и обслуживание не осложняют использование в гористой местности. Отличия ПГК от других концентраторов заключаются в том, что его эффективность практически не зависит от угла наклона и он обладает довольно простой конструкцией.

Представленные факты и важность энергетической проблемы позволяют сделать вывод о том, что направление применения ВИЭ в ближайшее время станет одним из актуальных направлений развития глобальных научных исследований.

Типовая конструкция системы энергоснабжения на основе возобновляемых источников энергии

В упрощенных вариантах конструкции солнечных модулей для выработки электроэнергии используется только часть приходящей энергии, оставшаяся — рассеивается в виде тепловой энергии в окружающее пространство. Задача эффективного использования солнечного излучения, приходящего на поверхность модуля, решается путем интеграции фотоэлектрических (ФЭ) панелей и солнечных коллекторов (СК) в одно технологическое устройство, т.е. создания нового гибридного типа установок. В таких модулях солнечная энергия за счет полупроводниковых фотопреобразователей конвертируется в электричество, а благодаря теплому абсорберу — удерживается тепловая энергия. Более полное использование энергии приходящего солнечного излучения (СИ) в фотоэлектрических тепловых модулях (ФЭТМ) и меньшее количество конструктивных элементов позволяют снизить себестоимость вырабатываемой энергии по сравнению с комбинированной установкой из ФЭ и СК.

За время работы ФЭП под воздействием СИ их температура достигает высоких значений, из-за чего суще-

ственно снижается эффективность выработки электрической энергии. Специально подобранные режимы и схемы работы ФЭТМ позволяют повысить вырабатываемую им фотоэлектрическую энергию за счет отвода теплоносителем от них тепловой энергии. Типовая конструкция гибридной системы приведена на рис. 1.

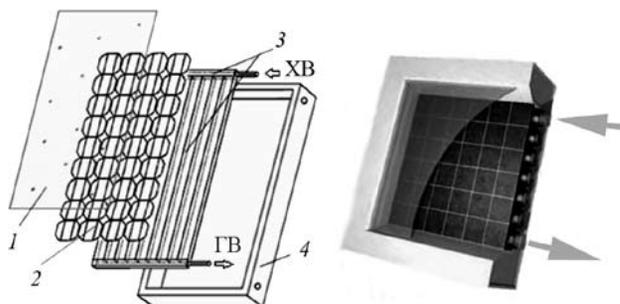


Рис. 1. Типовая конструкция гибридной системы для электроснабжения и отопления на основе солнечной энергии:

1 — стеклянное покрытие (прозрачная изоляция); 2 — фотоэлектрический модуль; 3 — труба, по которой протекает тепловой поглощающий элемент, например вода; 4 — теплоизоляционный каркас; ХВ, ГВ — холодная и горячая вода

Выбор критерия оценки эффективности системы

Систему можно оценить с помощью трех критериев: сохранения КПД солнечных модулей при максимальном приходе солнечной радиации и высокой температуре окружающей среды за счет охлаждения; оптимального значения КПД солнечных модулей при повышенной температуре воды на входе в коллектор; снижения габаритов солнечного модуля, благодаря совершенствованию конструкции системы охлаждения.

Планируемое место размещения системы и оценка условий функционирования (приход солнечной энергии, дневной цикл температуры и т. д.)

Рассмотрим случай на примере потребителя, находящегося в Республике Таджикистан в районе Джиликуль. Системы автономного энергоснабжения применяются, как правило, там, где невозможно подключение к сетям централизованного энергоснабжения. Республика, расположенная в «мировом солнечном поясе» обладает огромным потенциалом для освоения альтернативной солнечной энергии. Годовая продолжительность солнечного сияния на ее территории колеблется от 2100 до 3170 часов в год, в наиболее обжитых районах — 2700 часов в год, а плотность солнечного излучения доходит до 1 кВт/м². Максимальной интенсивности суммарное излучение на всей территории страны достигает в мае — июле. Большая часть населения проживает в сельской местности и адекватное обеспечение экологически чистой энер-

гией является основой устойчивого развития сельских и горных регионов, позволяет рационально использовать природные ресурсы.

Для оценки эффективности системы снабжения дома энергией и горячей водой были применены современные средства автоматизированного проектирования и моделирования разнородных физических процессов.

В диссертационной работе Йе Вин «Исследование эффективности использования солнечной энергии для систем автономного энергоснабжения в республике Союза Мьянма», посвященной вопросам проектирования солнечных панелей и теплообменников проведен сравнительный анализ ряда факторов, оказывающих наибольшее влияние на эффективность теплового охлаждения системы. Рассмотрены такие параметры, как: температура окружающей среды, длина, диаметр труб и массовый расход теплоносителя, приход солнечной радиации (табл. 1).

Исходя из перечисленных параметров целесообразно создавать систему, эффективность которой будет основана на варьировании массового расхода теплоносителя и оценке его температуры на выходе из системы охлаждения, а также средних температурах элементов солнечной панели. Данные, полученные в диссертационной работе, позволяют обоснованно выбирать параметры системы снабжения теплоносителем солнечных

панелей. Таким образом, анализу будет подвергнута следующая конструкция солнечной панели.

Общая характеристика исследованной системы: 30 солнечных модулей 100×100 мм, объединенных в 3 ряда по 10 модулей. Через каждый ряд проходит 5 каналов теплоносителя диаметром 2 мм каждый. Итоговая площадь облучаемой поверхности составит $0,3 \text{ м}^2$. Поступление солнечной энергии исследуется согласно рис. 2, схема ячейки солнечной батареи приведена на рис. 3 [6].

Важными этапами анализа эффективности являются оценка качества прогрева воды при прохождении системы охлаждения солнечной батареи и определение создаваемого напора в системе при работе насоса TL-B04/S/PV. Для этой цели была применена программа моделирования гидродинамических процессов АСОНИКА-П (см. рис. 4) [7].

Модель процессов прокачки теплоносителя через элементы солнечной батареи представляет собой источник давления, зависящий от расхода в системе и описывающий работу насоса. Дальнейшую часть составляют гидравлические сопротивления каналов, возникающие при прокачке через них теплоносителя. Так же в систему добавлено давление, описывающее влияние перепада высоты между солнечной панелью и насосом (рис. 5).

Полученные данные были использованы для создания модели тепловых процессов, описывающих рас-

Таблица 1

Изменение тепловой эффективности охлаждения в зависимости от расхода воды

Фактор	Размерность	Значение 1	Значение 2	$n_{A1}, \%$	$n_{A2}, \%$	$\Delta n_A, \%$
m	Кг/с	$1,10^{-5}$	$1,10^{-3}$	42	57,2	26,6
W/D	–	1,1	10	58,5	44,5	23,9
R	Вт/м ²	200	1200	49,5	58,2	14,9
$T_{o,c}$	К	283	315	56,87	56,33	0,9
$T_{вх}$	К	283	315	56,61	55,88	1,3
$L_{п}$	м	1,5	2	56,61	56,4	0,4

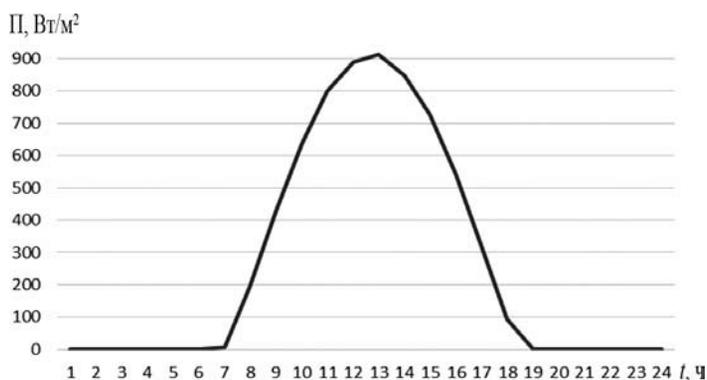


Рис. 2. График прихода солнечной энергии в течении суток:

Π — поток энергии; t — время

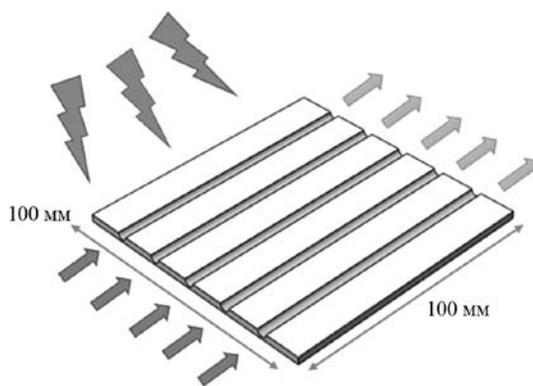


Рис. 3. Схематичное изображение исследуемой ячейки солнечной батареи

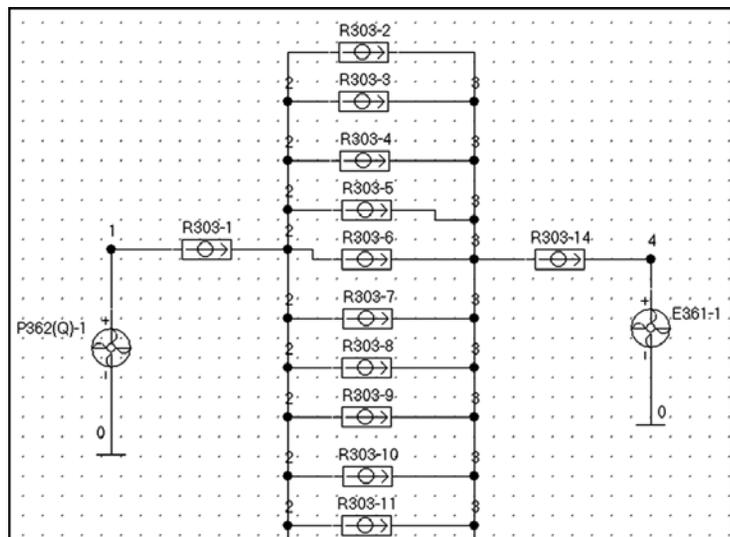


Рис. 4. Пример графического изображения модели гидродинамических процессов в программе АСОНИКА-П

пределение тепловой энергии, попадающей на модули солнечной панели в течении суточного хода температуры [8].

Совокупность процессов распределения тепловой энергии для солнечного модуля можно представить следующим образом (рис. 6):

- нагрев солнечной батареи за счет излучения солнца;
- излучение тепловой энергии с нагретой поверхности солнечного модуля в окружающее пространство;
- переход тепловой энергии от солнечных модулей за счет вынужденной конвекции на теплоноситель;
- конвективный теплообмен между поверхностью солнечной батареи с окружающей средой.

Максимальная мощность солнечного излучения, попадающего на каждый модуль 100×100 мм составляет 9,8 Вт. Результаты моделирования тепловых процессов показаны на рис. 7 и в табл. 2.

Заключение

При условии, что КПД солнечного модуля (СМ) падает не более чем на 1%, согласно [9], можно сказать что в процессе дня реально получить как минимум 43,2 литра воды температурой 42 °С, или большей, при изменении конструкции с ориентацией на более длинный путь прохода теплоносителя через систему, или концентрации солнечной энергии с большей площади. Как следует из рис. 8 — 10, при высоких солнечной активности и температуре окружающей среды

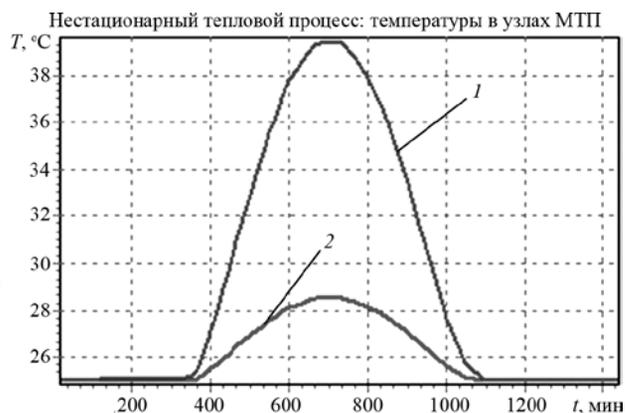


Рис. 6. Динамика температуры самого нагретого (1) и самого холодного (2) модулей солнечной панели за сутки при входной температуре воды 25 °С

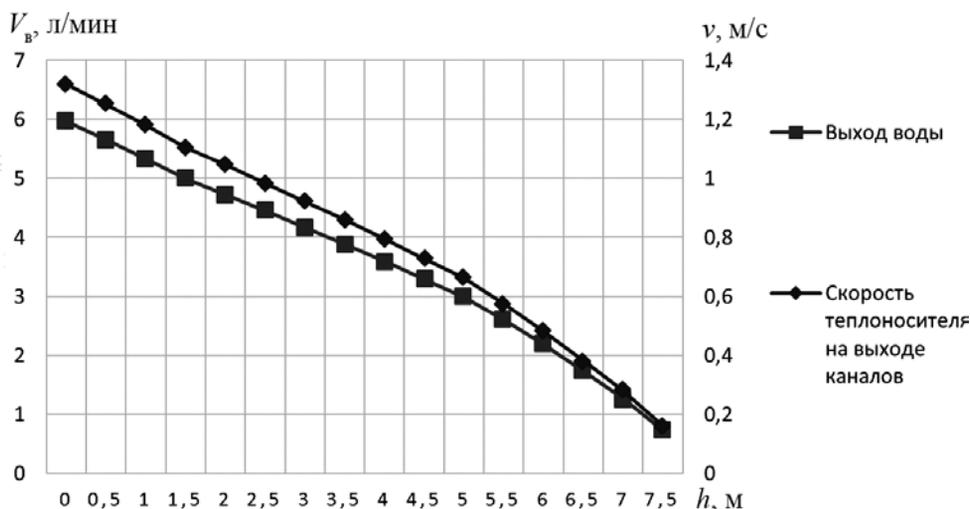


Рис. 5. График снижения расхода охлаждающей жидкости в системе с повышением высоты подъема солнечной панели относительно насоса, полученный при моделировании:

V_v — объем воды; h — высота батареи, относительно насосной системы; v — скорость воды в системе

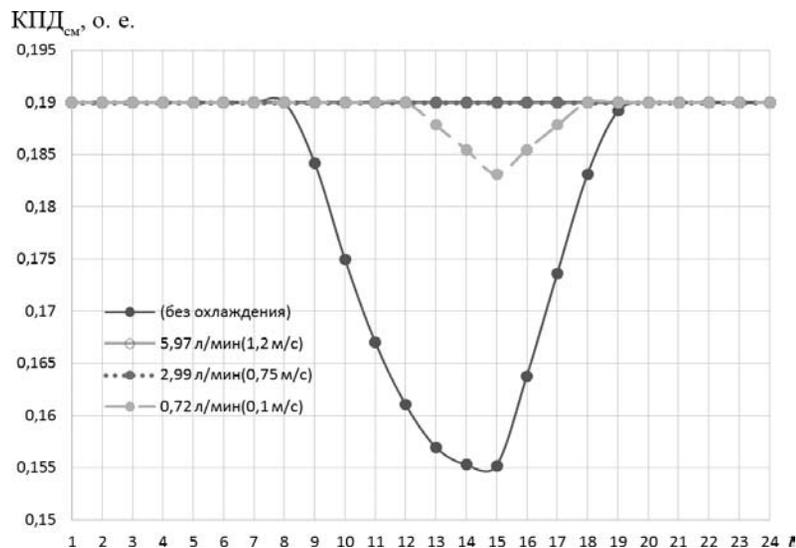


Рис. 8. Изменение КПД солнечного модуля с охлаждением и без него

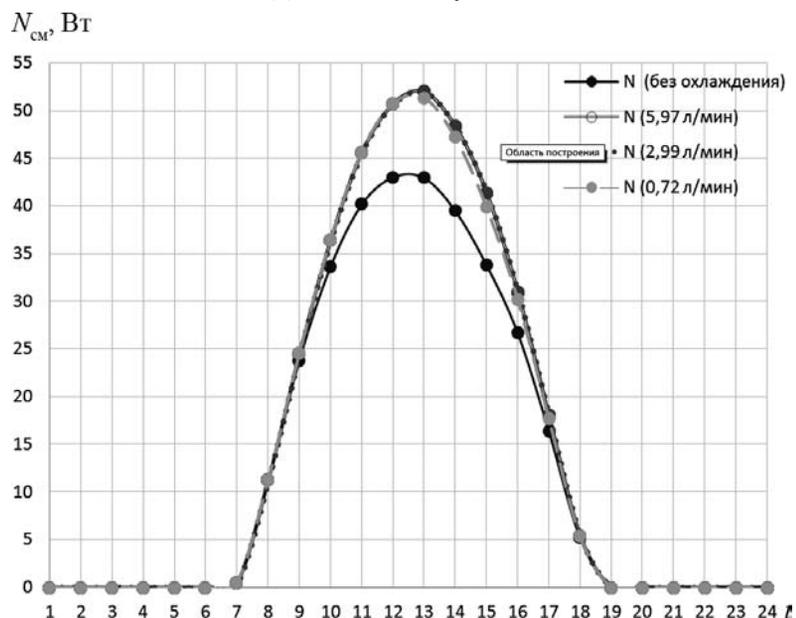


Рис. 9. Вырабатываемая мощность солнечного модуля с охлаждением и без него

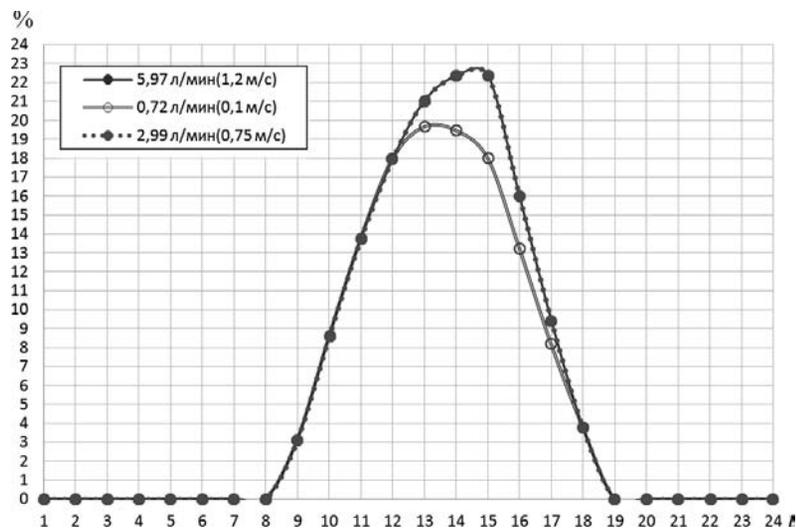


Рис. 10. Увеличение выработки солнечного модуля при охлаждении

КПД СМ сохраняется, при этом держа выработку электрической энергии больше 22%. При заданных условиях функционирования можно одновременно получить максимальную выработку и горячую воду, сохранить срок службы солнечных модулей и уменьшить выбросы в атмосферу.

Литература

1. **Macalister T.** Green energy overtakes fossil fuel investment, says UN // The guardian. 2009. 3 June.

4. **Стребков Д.С., Тверьянович Э.В.** Концентраторы солнечного излучения. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2007. С. 109.

3. **Prism Solar Technologies** [Электрон. ресурс]. <http://www.prismsolar.com/> (дата обращения 14.04.2016).

4. **Solar Market Research and Analysis** [Электрон. ресурс]. <http://www.solarbuzz.com/facts-and-figures/retail-price-environment/module-prices> (дата обращения 14.04.2016).

5. **IBM Research, Airlight Energy** [Электрон. ресурс]. <http://www.research.ibm.com/labs/zurich/dsolar/> (дата обращения 14.04.2016).

6. **Meteonorm Version 6.0.2.5** Meteotest Fabrikstrasse 14 CH-3012 Bem Switzerland [Электрон. ресурс] <http://meteonorm.com/> (дата обращения 14.04.2016).

7. **Воловиков В.В.** Использование математического моделирования при профессиональном творчестве в радиоэлектронике // Информационные технологии в проектировании, производстве и образовании: Тр. Росс. науч.-техн. конф. Ковров: КГТА, 2002. С. 12 — 13.

8. **Воловиков В.В., Увайсов С.У.** Модель тепломассопереноса в конструкциях радиоэлектронных устройств // Информационные технологии. 2009. № 8. С. 50 — 54.

9. **Renewable Energy: World Invests \$244 billion in 2012, Geographic Shift to Developing Countries** [Электрон. ресурс]. http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2013/Press%20release%20short_English.pdf (дата обращения 14.04.2016).

Статья поступила в редакцию 24.07.2015