

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕРМОФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИЕЙ

© 2017

В.В. Кувшинов, кандидат технических наук,

доцент кафедры «Возобновляемые источники энергии и электрические системы и сети»

Севастопольский государственный университет, Севастополь (Россия)

Б.Л. Крит, доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии производства приборов
и информационных систем управления летательных аппаратов»

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва (Россия)

Н.В. Морозова, кандидат педагогических наук, доцент кафедры «Медицинская техника»

Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования, Москва (Россия)

Ключевые слова: термофотоэлектрическая установка; гелиопрофиль; термофотоэлектрический гелиопрофиль; фотоэлектрический элемент; солнечный коллектор; Севастополь; Республика Крым.

Аннотация: Использование солнечной радиации для получения энергии является актуальным направлением и общемировым трендом. Установки, преобразующие энергию солнца в тепловую и электрическую энергию, в недалекой перспективе должны стать основными генерирующими мощностями, при этом может быть существенно сокращено использование ископаемого топлива. Многие регионы, в частности Республика Крым, расположены в зонах, пригодных для развития солнечной энергетики. Особый интерес представляет комплексная выработка тепловой и электрической энергии, реализуемая одновременно в установках, совмещающих в себе тепловой солнечный коллектор и фотоэлектрический генератор. Подобные устройства позволяют существенно повысить эффективность преобразования и использования энергии, поступающей от солнца. Вместе с тем, учитывая неодинаковые географические и климатические особенности расположения различных регионов, обоснованность и порядок применения солнечных коллекторов с фотоэлектрическими и тепловыми элементами вызывают большое количество вопросов. В статье применительно к условиям Республики Крым и на основе модели расчета гелиотехнических мощностей городов полуострова рассмотрена возможность и целесообразность размещения на крышах зданий и сооружений термофотоэлектрических гелиопрофилей, вмонтированных в кровельный материал, оценен их энергетический потенциал. В результате проведенных исследований, выполненных применительно к условиям г. Севастополя, дан предварительный расчет технико-экономических показателей и определены мощностные характеристики гелиосистем. В расчетах были учтены закономерные и стохастические изменения поступающего солнечного излучения. Установлено, что встроенные в кровлю строений комбинированные термофотоэлектрические гелиопрофили позволяют достичь значительной экономии материалов, площадей и текущих расходов по обслуживанию, а также повысить общую эффективность всей системы энергоснабжения исследуемого объекта.

ВВЕДЕНИЕ

Во многих странах, заинтересованных в развитии своей энергетики, солнечные установки для получения тепловой и электрической энергии могут стать основными энергогенерирующими мощностями, при этом может быть существенно сокращено использование ископаемого топлива. Большую роль при этом играют климатические условия. Многие регионы Российской Федерации расположены в благоприятных в этом смысле поясах, что иллюстрируется данными таблицы 1.

Таблица 1. Среднегодовая инсоляция
в некоторых городах России, ч [1]

Город	Среднегодовая инсоляция, ч
Астрахань	2 410
Борзя	2 797
Находка	2 368
Москва	1 723
Санкт-Петербург	1 633
Севастополь	2 342
Сочи	2 177
Хабаровск	2 449
Якутск	2 229

Использование солнечной радиации весьма актуально для Юга России и Забайкалья, а ее комплексная переработка в тепловую и электрическую энергию повышает целесообразность данного источника. При преобладающем использовании электричества для нагрева воды солнечный нагрев может снизить уровень пиковых нагрузок, это преимущество можно использовать для уменьшения цены на солнечные нагреватели, к этому можно прибавить уменьшение вредных выбросов и положительное влияние на чистоту воздуха. Факторы, способные положительно влиять на рынок солнечной энергетики, – это политика правительства в области энергосбережения, активность промышленности, высокие технологии в производстве солнечных установок, наличие монтажных организаций [2–4]. Вышесказанное в полной мере относится к специфике Республики Крым [5].

Известно, что солнечная радиация, падающая на поверхность Земли, является нестабильным энергетическим источником как в течение года, так и в течение суток и во многом зависит от климатических условий данной местности. По оценкам ученых, до 75 % поступающей солнечной инсоляции приходится на теплое время года (с апреля по сентябрь) и только 25 % – на зимний период, когда потребность в тепловой энергии

является наибольшей [1; 6]. Поэтому необходимо применение специальных технических устройств по аккумулярованию энергии на период отсутствия солнечной радиации.

Анализируя данные поступающей солнечной радиации на поверхность абсорбера и возможности ее преобразования в тепловую энергию в течение календарного года на территории Крымского региона, можно предложить следующие основные технические решения по созданию солнечных установок и систем солнечного теплоснабжения с учетом достижения наиболее высокого энергетического результата. Первое – применение конструкций строящихся в Крыму жилых и общественных зданий для использования солнечной энергии [6]. Второе – широкое применение сезонных солнечных установок с суточным аккумулярованием для получения горячей воды на нужды горячего водоснабжения объектов различного назначения в летний период [6]. Третье решение, предложенное авторами, – это строительство комбинированных солнечных установок для электрообеспечения и теплоснабжения зданий, в частности термофотоэлектрических установок, совмещенных с крышей зданий.

По экспериментальным и расчетным данным, применение гелиосистем может обеспечить снижение расхода традиционных энергоносителей (газ, дизельное топливо, мазут, уголь) от 100 % при летнем режиме работы объекта (пансионаты, детские лагеря) до 50–70 % при круглогодичной работе. Срок окупаемости гелиосистем при существующих ценах на гелиоколлекторы может составить от трех до семи лет, в зависимости от сложности систем и вида замещаемого традиционного топлива [6].

Проблема горячего водоснабжения, особенно в летний период, является одной из энергозатратных задач ЖКХ городов, объектов санаторно-курортного комплекса, больниц, детских учреждений и т. п. В Крыму, в том числе Севастополе, эта задача усугубляется отсутствием собственных энергоносителей [7].

Накопленный к настоящему времени опыт использования нетрадиционных энергоносителей показывает, что для обеспечения населения и предприятий горячей водой с температурой вплоть до 100 °С могут использоваться солнечные котельные на основе гелиоколлекторов различных конструкций.

Для нагрева 1 м³ воды от 20 до 60 °С необходимо сжечь в котле с КПД 50 % около 20 кг угля или 10 м³ газа, или израсходовать 50 кВт·ч электроэнергии. Это же количество горячей воды летом (с мая по октябрь) в Крыму можно получить с помощью гелиоколлекторов площадью 8–10 м² [7].

Об экологической пользе от использования для отопления и горячего водоснабжения солнечных водонагревательных установок в Крыму можно судить по результатам исследований экспертов Европейского союза, работавших в Крыму по программе TESIS и получивших данные о количестве вредных выбросов в атмосферу Крыма (таблица 2) [7].

Цель работы – рассмотреть возможность и целесообразность размещения на крышах зданий и сооружений термофотоэлектрических гелиопрофилей, смонтированных в кровельный материал, оценить их энергетический потенциал.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для проведения технико-экономического анализа эффективности использования солнечных установок на территории Крыма была использована модель расчета гелиотехнических мощностей городов полуострова (Симферополь, Севастополь и др.).

Таблица 2. Выбросы в атмосферу Крымского региона, т/год

Наименования загрязняющих веществ	Показатели по видам топлива		
	Уголь	Нефть	Природный газ
Углекислый газ (CO ₂)	30 603	24 054	16 206
Двуокись серы (SO ₂)	536	508	–
Окислы азота (NO ₂)	56	100	19
Твердые частицы	920	32	1

Схема комбинированной термофотоэлектрической установки представлена на рисунке 1.

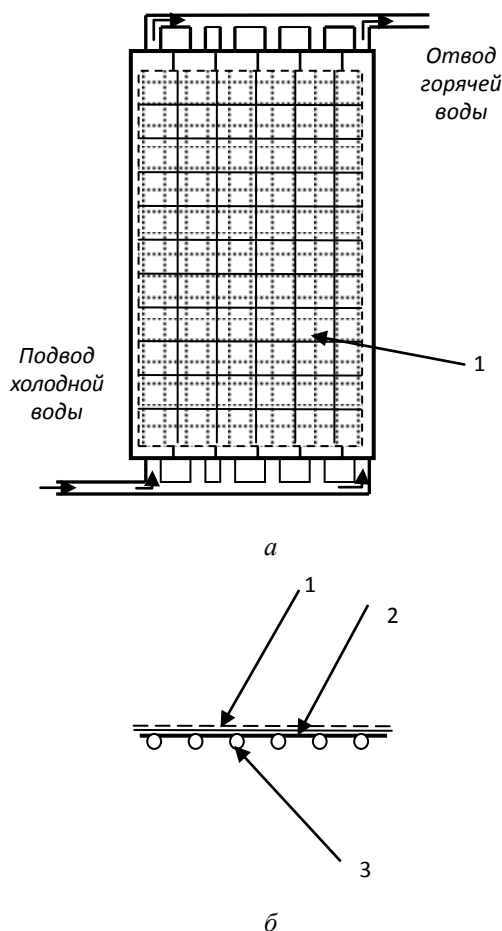


Рис. 1. Комбинированная термофотоэлектрическая установка с полным покрытием абсорбера солнечными элементами:

а – комбинированный коллектор;

б – абсорбер комбинированной установки;

1 – фотоэлементы; 2 – приемная металлическая пластина абсорбера; 3 – трубы для теплоносителя

Комбинированная термофотоэлектрическая установка представляет собой полноразмерный промышленный гелиопрофиль, предназначенный непосредственно для монтажа кровельного покрытия жилых домов [8]. Внутри гелиопрофиля находятся трубки для жидкого теплоносителя. Фотоэлементы крепятся к приемной поверхности при помощи специальной теплопроводящей пасты с большим омическим сопротивлением и могут покрывать до 100 % поверхности гелиопрофиля. При горизонтальном (на плоской кровле) или вертикальном (на стенах) расположении эффективность гелиоколлекторов снижается примерно на 20–25 %, однако при этом существенно упрощается монтаж и уменьшаются ветровые нагрузки.

В результате проведенных исследований применительно к условиям г. Севастополя был рассчитан предварительный технический потенциал, а также определены мощностные характеристики гелиосистем. При расчетах технического потенциала гелиосистем учитывали закономерные изменения поступающего солнечного излучения (определяются вращением Земли вокруг Солнца) и стохастические изменения (определяются изменением облачности и прозрачности атмосферы) [9].

Были учтены два основных способа возможного затенения приемной поверхности: горизонтальными и вертикальными препятствиями [7; 10].

На рис. 2 приведены результаты анализа технически возможного потенциала солнечной энергии для всех крыш зданий г. Севастополя в предположении круглогодичной работы гелиоколлекторов при оптимальном угле наклона приемных поверхностей [3]. Используя данные графиков, представленных на рис. 2, можно рассчитать мощностной технический потенциал для термофотоэлектрических установок (рис. 3), расположенных, при оптимальном угле наклона приемных поверхностей, на крышах г. Севастополя.

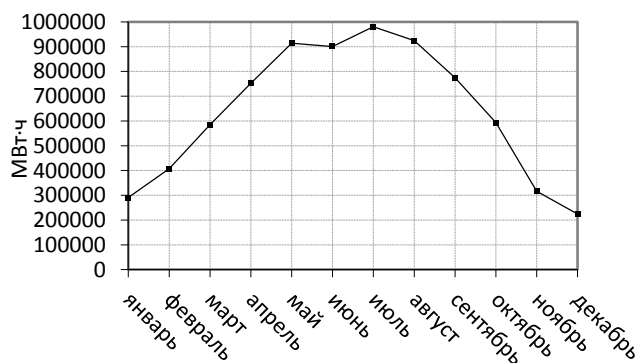


Рис. 2. Технически возможный потенциал солнечной энергии для крыш зданий и сооружений г. Севастополя

Возможная экономия органического топлива и предотвращение различных выбросов путем использования теплофотоэлектрических установок в течение года представлены в таблице 3.

Учитывая, что промышленность в основном выпускает тепловые коллекторы на одних предприятиях, а фотоэлектрические батареи – на других, нами предла-

гается в целях экономии площади покрытия кровли использовать солнечные комбинированные установки [8; 11–14]. Наиболее повторяющиеся площади кровель для индивидуальных частных строений составляют около 100 м² [7]. Максимальная тепловая мощность исследуемой установки – около 0,7 кВт с 1 м², а электрическая – до 0,15 кВт с 1 м². При условии средней площади кровли для одного частного жилого дома 100 м² максимальная удельная тепловая мощность комбинированной установки составит 70 кВт, а электрическая – 15 кВт. С учетом вышеописанного можно рассчитать экономию средств, получаемую при использовании комбинированного гелиопрофиля.

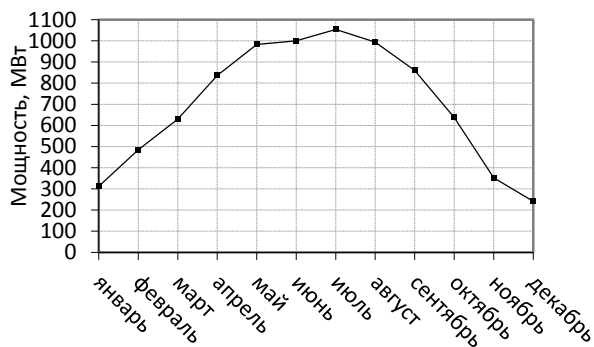


Рис. 3. Технически возможные мощностные характеристики для термофотоэлектрических установок

Номинальная электрическая мощность $P_{эл.ном}$, вырабатываемая фотоэлектрической батареей, рассчитывается по формуле

$$P_{эл.ном} = I_o \cdot S_{ТФУ} \cdot \eta_{эл} = 1\,000 \cdot 100 \cdot 0,15 = 15 \text{ (кВт)}, \quad (1)$$

где I_o – максимальная интенсивность солнечной радиации (1 000 Вт/м²);

$S_{ТФУ}$ – полезная площадь термофотоэлектрической установки (100 м²);

$\eta_{эл}$ – электрический КПД установки (с учетом КПД фотоэлементов 15 % составляет 0,15).

Так как освещенность рабочей поверхности солнечной батареи (а также комбинированного гелиопрофиля) и, соответственно, вырабатываемая мощность зависят от светлого времени суток, облачности и других факторов [15–17], в формулу (1) необходимо добавить коэффициент использования номинальной мощности $K_{ном}$. Значение коэффициента $K_{ном}$ составляет в среднем за год около 0,1. Отсюда среднегодовая выработка электроэнергии $E_{год}$:

$$E_{год} = P_{max} \cdot K_{ном} \cdot T_{год} = 15 \cdot 0,1 \cdot 8\,760 = 13\,140 \text{ (кВт·ч)},$$

где $T_{год}$ – количество часов в году.

Соответственно, месячная выработка составит

$$E_{мес} = P_{max} \cdot K_{ном} \cdot T_{год} = 15 \cdot 0,1 \cdot 720 = 1\,080 \text{ (кВт·ч)}, \quad (2)$$

где $T_{год}$ – количество часов в месяц (30 дней).

Расчет теплового абсорбера производили с применением методик, описанных в работах [9; 14; 18; 19].

Таблица 3. Объемы сокращения выбросов органического топлива

Наименование вещества	Объемы сокращения выбросов, т/год			Общая экономия органического топлива, ТДж/год
	Виды органического топлива			
	Уголь	Нефть	Природный газ	
CO ₂	317 591,7	249 627,3	168 185,9	2604
SO ₂	5 567,4	5 273,1	–	
NO _x	585,9	1 041,6	195,3	
Твердые частицы	9 546,3	333,3	10,4	

Полезная мощность Q_u , отводимая из коллектора в единицу времени (Вт), равна

$$Q_u = G \cdot C_p (t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}}) \quad (\text{Вт}), \quad (3)$$

где G – расход теплоносителя (кг/с);

C_p – теплоемкость воды (4 200 Дж/кг·К);

$t_{\text{вых}}$ – температура теплоносителя на выходе из коллектора;

$t_{\text{вх}}$ – температура теплоносителя на входе в коллектор.

В нашем случае максимальная полезная мощность установки (Q_u) составляет 70 кВт (из расчета 0,7 кВт с 1 м², при площади установки 100 м²). Температура воды на выходе из коллектора для горячего водоснабжения – 50 °С. При температуре воды на входе в систему 20 °С количество горячей воды (m) за время T составляет

$$m = Q_u T / C_p (t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}}). \quad (3.1)$$

При работе на номинальном режиме за сутки около 12 часов количество горячей воды (m), получаемой с 1 м² установки за время T (с), составит

$$m = Q_u T / C_p S_{\text{ТФУ}} (t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}}) = (70 \cdot 000 \cdot 12 \cdot 3 \cdot 600) / (4 \cdot 200 \cdot 100 \cdot (50 - 20)) = 240 \text{ (л/м}^2\text{)}.$$

Месячная тепловая выработка гелиоколлектора с учетом годового коэффициента использования номинальной мощности будет равна

$$E_{\text{мес}} = Q_u \cdot K_{\text{ном}} \cdot T_{\text{мес}} = 70 \cdot 0,1 \cdot 720 = 5 \cdot 040 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)}. \quad (4)$$

Годовая выработка:

$$E_{\text{год}} = Q_u \cdot K_{\text{ном}} \cdot T_{\text{год}} = 70 \cdot 0,1 \cdot 8 \cdot 760 = 61 \cdot 320 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)}. \quad (5)$$

Стоимость промышленных фотоэлектрических модулей разных мировых производителей, по их данным, составляет около 70 руб. за 1 Вт установленной мощности; мировая цена за солнечные элементы, из которых собран модуль, различных фирм производителей, – 35 руб. за 1 Вт установленной мощности [13].

Стоимость промышленного гелиопрофиля – 14 000 руб. Цена комбинированной установки складывается из цены промышленного гелиопрофиля и цены фотоэлементов. Электрическая мощность 1 м² солнечной комбинированной установки составляет 150 Вт, цена такой же мощности фотоэлектрических модулей – 10 500 руб. Так как стоимость фотоэлементов (за 150 Вт) составляет 5 250 руб. (35 руб. за 1 Вт), то экономия средств получается 5 250 руб. (без учета стоимости работ) [13].

При монтаже комбинированной установки одновременно собираются гелиопрофиль и фотоэлектрические блоки [20], соответственно, стоимость работ сравнима со стоимостью монтажа гелиопрофиля без элементов, а экономия средств составляет около 5 250 руб. с 1 м² установки [13]. Полная экономия средств $C_{\text{пол}}$ со всей кровли за счет материалов конструкций фотоэлектрических модулей и монтажа составляет

$$C_{\text{пол}} = 5 \cdot 250 \cdot 100 \text{ м}^2 = 52 \cdot 500 \text{ (руб.)}.$$

При использовании комбинированного гелиопрофиля, в отличие от установки теплового коллектора и фотоэлектрических батарей [20] при той же мощности, получается значительный экономический эффект. Мощностные и экономические характеристики установок приведены в таблице 4.

Таблица 4. Характеристики термофотоэлектрической установки в сравнении с гелиопрофилем и фотоэлектрическим модулем при равных мощностях

Солнечные установки	Характеристики установок				
	Цена 1 м ² гелиопрофиля, руб.	Удельная тепловая мощность, Вт/м ²	Удельная электрическая мощность, Вт/м ²	Удельная суммарная мощность, Вт/м ²	Цена 1 Вт суммарной мощности, \$
Промышленный Гелиопрофиль	14 000	700	–	700	20,0
Теплофотоэлектрический гелиопрофиль	19 250	700	150	850	22,6
Промышленные гелиопрофиль и фотоэлектрические модули	24 500	700	150	850	28,8

Экономический расчет теплофотоэлектрической установки производится отдельно для тепловой и электрической части. Тепловой расчет установки включает в себя расчет системы горячего водоснабжения и отопления, а электрический – данные по работе солнечных элементов.

Выработка электроэнергии за месяц солнечной фотоэлектрической установкой, согласно формуле (2), насчитывает 1 080 кВт·ч. Для оценки средней стоимости за 1 кВт·ч для коммунальных потребителей в Крыму использовались данные Государственного комитета по ценам и тарифам Республики Крым [21], согласно которым средняя цена за 1 кВт·ч для населения составляет 1,7 руб.

Следовательно, стоимость электроэнергии, полученной со всей крыши автономного строения, составит в месяц

$$1\,080 \text{ кВт} \cdot 1,7 \text{ руб.} = 1\,836 \text{ (руб.)}$$

и, соответственно, за год

$$1\,836 \text{ (руб.)} \cdot 12 \text{ (мес.)} = 22\,032 \text{ (руб.)}$$

Стоимость горячей воды рассчитывается по количеству потребителей, проживающих в строении, в среднем этот показатель для частного жилого дома (площадью 100 м²) составляет 5 человек [21]. По санитарным нормам количество горячей воды, необходимой для 1 человека, составляет 100 л в день, а ее температура должна быть не ниже 50 °С [22]. Учитывая среднюю температуру подачи воды для нагрева, равную 20 °С, согласно формулам (3) и (3.1) для нагрева воды для N человек за сутки необходимо израсходовать тепловой энергии:

$$Q_u = N \cdot m \cdot C_p \cdot (t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}}) = 5 \cdot 100 \cdot 4\,200 \cdot (50 - 20) = 63\,000 \text{ (кДж)} = 17,5 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)}$$

В день расход горячей воды на 5 человек насчитывает 0,5 м³. Соответственно, за месяц тепловой расход при нагреве составит

$$17,5 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)} \cdot 30 \text{ (дней)} = 525 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)}$$

Цена за 1 м³ горячей воды для централизованного водоснабжения составляет 275 руб. [21]. Следовательно, стоимость горячей воды равна

$$0,5 \text{ (м}^3\text{)} \cdot 275 \text{ (руб.)} \cdot 30 \text{ (дней)} = 4\,125 \text{ (руб.)}$$

За год экономия составит

$$0,5 \text{ (м}^3\text{)} \cdot 275 \text{ (руб.)} \cdot 365 \text{ (дней)} = 50\,187,5 \text{ (руб.)}$$

Средняя стоимость тепловой энергии по Республике Крым при централизованном теплоснабжении для частных потребителей равна 1,7 руб. за 1 кВт·ч [21]. Соответственно, можно подсчитать экономию тепловой энергии за месяц за счет использования солнечной установки, за вычетом энергии идущей на нагрев горячей воды, согласно формуле (4):

$$(5\,040 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)} - 525 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)}) \cdot 1,7 \text{ руб.} = 4\,515 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)} \cdot 1,7 \text{ руб.} = 7\,675,5 \text{ (руб.)}$$

За год экономия средств, согласно формуле (5), равна

$$(61\,320 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)} - (525 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)} \cdot 12 \text{ (мес.)}) \cdot 1,7 \text{ (руб.)}) = 93\,799,2 \text{ (руб.)}$$

Соответственно, годовая экономия средств для строения с покрытием комбинированного гелиопрофиля общей площадью 100 м² составит:

– по экономии за счет выработки электроэнергии – 22 032 (руб.);

– по экономии за счет выработки горячей воды – 50 187,5 (руб.);

– по экономии за счет выработки тепловой энергии – 93 799,2 (руб.).

Следовательно, суммарная экономия средств за год равна

$$22\,032 \text{ (руб.)} + 50\,187,5 \text{ (руб.)} + 93\,799,2 \text{ (руб.)} = 166\,018,7 \text{ (руб.)}$$

ВЫВОДЫ

Использование встроенных в крышу строений комбинированных гелиопрофилей позволяет значительно экономить материалы, площади и себестоимость работ по монтажу и установке систем солнечных теплоэлектрических установок. Средняя технически возможная мощность термофотоэлектрических установок для Севастополя составляет в летний период около 1 000 МВт. Средний годовой энергетический потенциал составляет около 700 тыс. МВт·ч.

Использование предложенных солнечных установок для обеспечения автономного потребителя позволяет при комбинированной выработке тепловой и электрической энергии значительно повысить общую эффективность всей системы, годовая экономия средств при использовании предложенных установок на крыше площадью 100 м² составит 166 018,7 руб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Климат России / под ред. Н.В. Кобышевой. СПб.: Гидрометеоздат, 2001. 656 с.
2. Morozova N.V. The Increasing of Efficiency of Solar Power Systems // Russia – ASEAN Energy Dialogue in the Field of Renewable Energy and Clean Energy Technologies: proc. 2nd workshop. ISTI, 2016. P. 7–10.
3. Кувшинов В.В., Морозова Н.В. Возможности повышения мощностных характеристик солнечных установок для использования в энергетике Крыма. М.: Спутник+, 2017. 175 с.
4. Возобновляемая энергетика 2003: состояние, проблемы, перспективы: сборник докладов международной научно-практической конференции. СПб.: СПбПУ, 2003. 616 с.
5. Боков В.А., Ена В.Г., Ефимов С.А. Устойчивое развитие – стратегия развития Крыма в 21 веке. Симферополь: Ассоциация поддержки биологического и ландшафтного разнообразия Крыма, 2000. 80 с.
6. Кибовский С.А., Ефимов С.А., Петрук С.К., Сафонов В.А. Энергосбережение в Крыму: приложение к научно-практическому дискуссионно-аналитическому сборнику «Вопросы развития Крыма». Симферополь: Таврия-Плюс, 2001. 220 с.

7. Багров Н.В., Боков А.И., Бекиров Э.А. Солнечная энергетика для устойчивого развития Крыма. Симферополь: Крымский научный центр, 2009. 293 с.
8. Кувшинов В.В., Башта А.И., Сафонов В.А. Фото-термопреобразователь солнечной энергии: патент РФ № 150121, 2015.
9. Бекман У., Кейли С., Даффи Д. Расчёт систем солнечного теплоснабжения. М.: Энергоатомиздат, 1988. 176 с.
10. Кузнецов К.В., Тухов И.И., Сергиевский Э.Д. Исследование характеристик солнечного воздушного гибридного коллектора // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: труды 6-й Международной научно-технической конференции. Ч. 4. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2008. С. 227–231.
11. Кувшинов В.В., Башта А.И. Фототермопреобразователь солнечной энергии: патент РФ № 150122, 2015.
12. Кувшинов В.В. Комбинированные солнечные установки для выработки тепловой и электрической энергии // Сборник научных трудов СНУЯЭиП. 2010. Вып. 2. С. 182–189.
13. Башта А.И., Кувшинов В.В. Экономическое обоснование использования гелипрофиля для автономного энергосберегающего здания // Вестник социально-экономических исследований. 2011. № 2. С. 12–16.
14. Кувшинов В.В. Методы расчета и повышения эффективности использования теплофотоэлектрических установок // Сборник научных трудов СНУЯЭиП. 2013. Вып. 3. С. 166–172.
15. Колтун М.М. Оптика и метрология солнечных элементов. М.: Наука, 1985. 300 с.
16. Андреев В.М., Грилихес В.А., Румянцев В.Д. Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения. Л.: Наука, 1989. 405 с.
17. Беляев Ю.М., Нагайкин А.С., Разгоняев Ю.В. Повышение эффективности использования наземных фотоэлектрических систем // Гелиотехника. 1989. № 2. С. 6–10.
18. ГОСТ 28976-91. Фотоэлектрические приборы из кристаллического кремния. Методика коррекции результатов измерения вольтамперной характеристики (МЭК 891-87). М.: Издательство стандартов, 2004. 42 с.
19. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. М.: Наука, 1971. 192 с.
20. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей. М.: Энергоатомиздат, 1983. 397 с.
21. Государственный комитет по ценам и тарифам Республики Крым. Тарифы для населения, Симферополь, 2016. Приложение № 1 по ценам и тарифам Республики Крым от 21.12.2016 № 53/1. URL: gkz.rk.gov.ru.
22. СНиП 2.04.01-85. Внутренний водопровод и канализация зданий: введ. 01.07.86. М.: Госстрой России, 2000. 128 с.
3. Kuvshinov V.V., Morozova N.V. *Vozmozhnosti povyshe-niya moshchnostnykh kharakteristik solnechnykh ustanovok dlya ispolzovaniya v energetike Kryma* [Possibilities of increase in power characteristics of solar installations for use in power industry of the Crimea]. Moscow, Sputnik+ Publ., 2017. 175 p.
4. *Vozobnovlyаемая энергетика 2003: sostoyanie, problema, perspektivy: sbornik dokladov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Renewable power of 2003: state, problems, prospects: Reports of the international scientific and practical conference]. Sankt Petersburg, SPbPU Publ., 2003. 616 p.
5. Bokov V.A., Ena V.G., Efimov S.A. *Ustoychivoe razvitie – strategiya razvitiya Kryma v 21 veke* [Sustainable development – the strategy of development for the Crimea in the 21st century]. Simferopol, Assotsiatsiya podderzhki biologicheskogo i landshaftnogo raznoobraziya Kryma Publ., 2000. 80 p.
6. Kibovskiy S.A., Efimov S.A., Petruk S.K., Safonov V.A. *Energoberezhenie v Krymu: prilozhenie k nauchno-prakticheskomu diskussionno-analiticheskomu sborniku "Voprosy razvitiya Kryma"* [Energy saving in the Crimea: the application to scientific practically debatable analytically to the collection of Questions of Development of the Crimea]. Simferopol, Tavriya-Plyus Publ., 2001. 220 p.
7. Bagrov N.V., Bokov A.I., Bekirov E.A. *Solnechnaya energetika dlya ustoychivogo razvitiya Kryma* [Solar power for sustainable development of the Crimea]. Simferopol, Krymskiy nauchnyy tsentr Publ., 2009. 293 p.
8. Kuvshinov V.V., Bashta A.I., Safonov V.A. *Fototermopreobrazovatel solnechnoy energii* [Photothermoconverter of solar energy], patent RF no. 150121, 2015.
9. Bekman U., Keyli S., Daffi D. *Raschet sistem solnechnogo teplosnabzheniya* [Calculation of solar heat supply systems]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1988. 176 p.
10. Kuznetsov K.V., Tyukhov I.I., Sergievskiy E.D. A research of characteristics of a solar air hybrid collector. *Energoobespechenie i energoberezhenie v selskom khozyaystve: trudy 6-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*. Moscow, GNU VIESKh Publ., 2008, pp. 227–231.
11. Kuvshinov V.V., Bashta A.I. *Fototermopreobrazovatel solnechnoy energii* [Photothermoconverter of solar energy], patent RF no. 150122, 2015.
12. Kuvshinov V.V. Combined solar systems to generate heat and power. *Sbornik nauchnykh trudov SNUYaEiP*, 2010, vyp. 2, pp. 182–189.
13. Bashta A.I., Kuvshinov V.V. Economic justification of using heliprofile for an autonomous energy-saving building. *Vestnik sotsialno-ekonomicheskikh issledovaniy*, 2011, no. 2, pp. 12–16.
14. Kuvshinov V.V. Methods of calculation and improve the utilization of the heat of photovoltaic installations. *Sbornik nauchnykh trudov SNUYaEiP*, 2013, vyp. 3, pp. 166–172.
15. Koltun M.M. *Optika i metrologiya solnechnykh elementov* [Optics and metrology of solar cells]. Moscow, Nauka Publ., 1985. 300 p.
16. Andreev V.M., Grilikhes V.A., Rummyantsev V.D. *Fotoelektricheskoe preobrazovanie kontsentrirrovannogo solnechnogo izlucheniya* [Photoelectric transformation

REFERENCES

1. Kobysheva N.V., ed. *Klimat Rossii* [Climate of Russia]. Sankt Petersburg, Gidrometeoizdat Publ., 2001. 656 p.
2. Morozova N.V. The Increasing of Efficiency of Solar Power Systems. *Russia – ASEAN Energy Dialogue in the Field of Renewable Energy and Clean Energy Technologies: proc. 2nd workshop*. ISTI, 2016, pp. 7–10.

- of concentrated solar radiation]. Leningrad, Nauka Publ., 1989. 405 p.
17. Belyaev Yu.M., Nagaykin A.S., Razgonyaev Yu.V. Increase of the efficiency of the use of terrestrial photoelectric systems. *Geliotekhnika*, 1989, no. 2, pp. 6–10.
18. GOST 28976-91. *Fotoelektricheskie pribory iz Kristallicheskogo kremniya. Metodika korrektsii rezultatov izmereniya voltampernoy kharakteristiki (MEK 891-87)* [GOST 28976-91. Photovoltaic devices from crystalline silicon. Method of correction of the results of measuring the current-voltage characteristic (IEC 891-87)]. Moscow, Izdatelstvo standartov Publ., 2004. 42 p.
19. Rumshinskiy L.Z. *Matematicheskaya obrabotka rezultatov eksperimenta* [The mathematical processing of the experimental results]. Moscow, Nauka Publ., 1971. 192 p.
20. Raushenbakh G. *Spravochnik po proektirovaniyu solnechnykh batarey* [A handbook on solar batteries design]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1983. 397 p.
21. State committee on the prices and tariffs of the Republic of Crimea. Tariffs for the population, Simferopol, 2016. The appendix No. 1 at the prices and tariffs of the Republic of Crimea from 21.12.2016 № 53/1. URL: gkz.rk.gov.ru.
22. SNiP 2.04.01-85. *Vnutrenniy vodoprovod i kanalizatsiya zdaniy* [SNiP 2.04.01-85. Internal water supply and sewerage systems of buildings]. Moscow, Gosstroy Rossii Publ., 2000. 128 p.

THE ASSESSMENT OF EFFICIENCY OF THERMOPHOTOVOLTAIC UNITS APPLICATION FOR THERMAL AND ELECTRIC ENERGY PROVIDING

© 2017

V.V. Kuvshinov, PhD (Engineering), assistant professor of Chair “Renewables and Electric Systems and Networks”
Sevastopol State University, Sevastopol (Russia)

B.L. Krit, Doctor of Sciences (Engineering), professor of Chair “Technologies of Production of Devices and Information Systems for Aircraft Control”

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow (Russia)

N.V. Morozova, PhD (Pedagogics), assistant professor of Chair “Medical Equipment”
Russian Medical Academy of Continuous Professional Training, Moscow (Russia)

Keywords: thermophotovoltaic unit; helioprofile; thermophotovoltaic helioprofile; photovoltaic cell; solar collector; Sevastopol; the Republic of Crimea.

Abstract: The application of solar radiation for producing energy is the hot topic and a worldwide trend. The plants converting solar energy to thermal and electric energy should become some day the main generating capacities, in this case, the use of fossil fuel can be reduced considerably. Many regions, in particular, the Republic of Crimea, are located in the zones suitable for the development of solar power. Complex producing of thermal and electric energy used simultaneously in the units combining thermal solar collector and the photoelectric generator is of special interest. Such units allow improving considerably the efficiency of transformation and application of energy coming from the sun. At the same time, considering different geographic and climate irregularities of the location of different regions, justification, and procedure of application of solar collectors with photovoltaic and thermal cells raise many questions. With regard to the conditions of the Republic of Crimea and based on the model of calculation of active solar capacities of the peninsula cities, the authors considered the possibility and reasonability of allocation of thermophotovoltaic helioprofiles mounted into the roofing material on the roofs of buildings and constructions and estimated their energy potential. In the result of the studies carried out with regard to the conditions of Sevastopol, the authors pre-calculated technical and economic indicators and determined the power characteristics of heliosystems. In the calculations, natural and stochastic changes of coming sunlight were considered. It is determined that the combined thermophotovoltaic helioprofiles mounted into the roof of buildings will allow achieving considerable economy of materials, areas and operating costs and increasing general efficiency of the whole system of the power supply of the object under the study.