

1.3. ИЛМҲОИ ФИЗИКА
1.3. ФИЗИЧЕСКИЕ НАУКИ
1.3. THE PHYSICS SCIENCES

1.3.8. Физикаи ҳолатҳои конденсӣ
1.3.8. Физика конденсированного состояния
1.3.8. Physics of condensed state

УДК: 620.92(075.8)

ББК: 31.25973

**ВЫЖИВАЕМОСТЬ
ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
СИСТЕМ ПОЛУЧЕНИЯ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

Джавхарова Нилуфар Илхомджоновна - преподаватель кафедры теоретической физики физико-технического факультета Худжандского государственного университета имени академика Бободжона Гафурова, e-mail: nilufar.kuchkorova.94@mail.ru

**РАҚОБАТПАЗИРИИ
СИСТЕМАҲОИ
ФОТОЭЛЕКТРИКӢ БАРОИ
ГИРИФТАНИ ЭНЕРГИЯИ
ЭЛЕКТРИКӢ**

Чавҳарова Нилуфар Илхомҷоновна - муаллимаи кафедраи назарияи физикаи факултаи физика ва техникаи Донишгоҳи давлатии Хуҷанд ба номи академик Б.Гафуров, e-mail: nilufar.kuchkorova.94@mail.ru

**THE VERSATILITY OF A
PHOTOVOLTAIC SYSTEM FOR
GENERATING ELECTRICAL
ENERGY**

Dzhavkharova Nilufar Ilkhomjonovna - Lecturer of the Department of Theory of Physics of the Faculty of Physics and Technic of the Khujand State University named after Academician B. Gafurov, e-mail: nilufar.kuchkorova.94@mail.ru

Калидвожаҳо: рақобатпазирӣ, системаи фотоэлектрикӣ, нурҳои офтобии концентронидашуда, кремний техникӣ, поликристаллӣ ва монокристаллӣ, моносилан, муносибатгардонии конфигуратсияи соҳа.

Дар кори пешниҳодшуда дар доираи баррасии мушкилоти рушди устувор дар баробари баланд бардоштани самаранокии истифодаи захираҳои энергетикӣ пешниҳод карда мешавад, ки масъалаҳои беҳатарии экологӣ ва рақобатпазирии манбаъҳои нави барқароршавандаи энергия, масалан, энергияи офтобӣ таҳқиқ ва муҳокима карда мешаванд. Истеҳсоли кремний ва дигар маводҳои чунин энергетикӣ бо равандҳои истехсолоти химиявӣю металлургӣ алоқаманд аст, ки дар натиҷа миқдори зиёди партовҳо бо истехсолоти энергияи гармӣ ва электрикӣ бо сӯзонидани энергияи истихроҷшаванда монанданд. Дар ин замина, гуфта мешавад, ки дар дурнамои наздик, истехсоли маҳсулоти саноати фотоэлектрикӣ ба ҳеҷ вазҳ сабз ҳисобида намешавад, балки танҳо истифодаи маҳсулоти ниҳой дар шакли модулҳои фотоэлектрикӣ аз ҷиҳати экологӣ безарар мебошад.

Ключевые слова: конкурентоспособность, экологичность и выживаемость фотоэлектрических систем, концентрированное солнечное излучение, технический, поликристаллический и монокристаллический кремний, оптимизация конфигурации отрасли.

В представленной работе в рамках рассмотрения проблемы устойчивого развития предлагается наряду с повышением эффективности использования энергетических ресурсов,

исследовать и обсудить проблемы экологической безопасности и конкурентоспособности новых, нетрадиционных источников энергии, каким является, например, солнечная энергетика. Производство кремния и других материалов такой энергетики связано с энергоемкими химико-металлургическими процессами, в результате которых образуются большие количества отходов аналогичных при производстве тепловой и электрической энергии сжиганием ископаемых энергоносителей. На этой основе утверждается, что в обозримой перспективе экологичным может считаться отнюдь не производство продуктов фотоэлектрической отрасли, а только эксплуатация конечного продукта в виде фотоэлектрических модулей и станций.

Keywords: competitiveness, environmental friendliness and survival of photovoltaic systems, concentrated solar radiation, technical, polycrystalline and monocrystalline silicon, monosilane, optimization of the configuration of the industry

In the presented work, as part of the consideration of the problem of sustainable development, it is proposed, along with increasing the efficiency of the use of energy resources, to investigate and discuss the problems of environmental safety and competitiveness of new, non-traditional energy sources, such as, for example, solar energy. The production of silicon and other materials of such energy is associated with energy-intensive chemical and metallurgical processes, as a result of which large amounts of waste are generated, similar to the production of thermal and electrical energy by burning fossil energy carriers. On this basis, it is argued that in the foreseeable future, it is not the production of photovoltaic products that can be considered environmentally friendly, but only the operation of the final product in the form of photovoltaic modules and stations.

Понятие «выживаемость», впервые предложенное академиком АН РУз Саидовым М.С.[1] является более емким, чем просто конкурентоспособность, поскольку отражает ситуацию, когда сравнивается хорошо освоенная техника или технология с новой, причем при проведении анализа новая намеренно ставится в наиболее жесткие условия испытаний или эксплуатации. Указанное понятие подразумевает безусловную экономическую выгоду от использования новой техники и применительно к отрасли производящей компоненты и материалы для получения «солнечного электричества» пригодно для оценок перспектив ее планового развития.

При оценке «выживаемости» фотоэлектрических систем проводится сравнение объемов энергии, затраченной на изготовление всех компонентов фотоэлектрических модулей (ФЭМ) или солнечной фотоэлектростанция (СФЭС) и энергии, получаемой от этих изделий в течение их срока службы в условиях эксплуатации, максимально приближенных к реальным. Энергозатраты только на выплавку $9,0 \cdot 10^4$ т стали для опорно-поворотных устройств (ОПУ) этой фотоэлектрической системы составят $1,15 \cdot 10^2$ ГВт·ч электроэнергии. В этих оценочных расчетах необходимо учесть также энергозатраты на изготовление $9,6 \cdot 10^4$ т стекла, $1,8 \cdot 10^4$ т алюминиевых сплавов и $4 \cdot 10^3$ т меди, выплавка одной тонны которой требует ~ 950 кВт·ч электроэнергии, а также прямых и косвенных энергозатрат на изготовление флюса, огнеупоров и т.д. Если энергозатраты на отдельные техпроцессы определить невозможно, то оценку ведут по косвенным показателям или вообще выражают рыночную стоимость фотоэлектрического изделия в объеме электроэнергии по ее ценам от традиционного энергоисточника. Так, в [1] проведены определение и сложение энергозатрат на получение технического кремния (ТК), полукристаллический полупроводниковый кремний (ППК), SiHCl_3 , H_2 , HCl , МК. Из [2] были взяты конкретные энергозатраты на, соответственно, получение ППК и техпроцесс изготовления солнечных элементов (СЭ). Остальные энергозатраты оценены не прямо, а по косвенным показателям. Тем не менее, используя условия эксплуатации, близкие к реальным, например, ЦА или Юга России, т.е. выбрав среднюю интенсивность прямого облучения 800 Вт/м^2 при 280 солнечных днях в году со средней длительностью работы ФЭМ в день 8 часов, что позднее было экспериментально подтверждено в [3], а не обычно применяемые в расчетах идеальные условия, при которых ведется паспортизация ФЭМ, в [4] было показано, что фотоэлектрические установки

невыгодны и не оправданы при сроке их службы ~20 лет и становятся приемлемыми при сроке службы ~30 лет. Удельная мощность, вырабатываемая в этих условиях с 1м² ФЭМ была оценена для 30-летнего срока эксплуатации в 8,064 МВт·ч, что почти в 2 раза ниже оптимистических оценок [4,5], оперирующих с цифрой ~15 МВт·ч и, тем более, несоизмерима с совершенно фантастическими оценками, приведенными в [4,5].

Принятая нами для аналогичных [4] оценок величина коэффициент полезной действию (КПД) ~10 % для солнечной фотоэлектрической энергосистемы, подключаемой к типовой сети энергоснабжения народно-хозяйственных объектов с промышленной частотой 50 Гц, оказывается ближе к реальности, чем [1] и тем более расчетные данные [4,5], т.к., исходя из определения «выживаемости» наш подход отражает максимум потерь в больших энергосистемах, включая потери на применение инверторов (КПД_{ср} ~ 92 %) [6] и среднестатистические световые потери и так называемую деградацию мощности из-за оседания пыли на рабочую поверхность ФЭМ [6], причем даже не в таких катастрофически больших объемах, как это имеет место в некоторых регионах ЦА с преимущественно лессовыми почвами. Учитывает он также и эффект деградации тока I_{кз}, проявляющийся в его уменьшении в первые три года эксплуатации ФЭМ на 0,8 ≅ 1,4 % в год и далее на < 0,7 % в год в течение 5 ≅ 6 лет с последующей стабильностью этого важнейшего эксплуатационного параметра. В расчетах принято среднее значение мощности солнечного излучения (СИ) ~ 800 Вт/м², облучающего в течение 8 часов рабочую поверхность СФЭС, т.е. отражен факт поступления к ней в день энергии 6,4 кВт·ч/м², что является крайне упрощенным оценочным вариантом, тем не менее дающим более близкий к реальности результат, чем применение паспортных данных ФЭМ, предполагающих идеальные, но совершенно не реальные условия эксплуатации при P₀ ~ 1000 В/м² и 25 °С. Более точный и правильный расчет, учитывающий территориальное размещение СФЭС и даже позволяющий выбрать оптимальные для этого районы, может быть осуществлен с применением методики, разработанной и использованной в [6,7] для сопоставления эффективности применения двух принципиально отличающихся типов станции: СФЭС-со следящей за ходом Солнца системой и соответствующим ОПУ и неподвижной СФЭС с рабочей панелью, ориентированной на Юг под углом местности. Согласно этой методике исходными данными для расчета являются:

- географическая широта и долгота места φ_m, λ_m , угл, град.;
- наблюдаемые среднемесячные дневные суммы энергии прямого солнечного

излучения, поступающего на следящую поверхность, $W_{след\ день.j}^{np\ набл\ реал}$;

- наблюдаемые среднемесячные дневные суммы энергии прямого и диффузного солнечного излучения, поступающего на горизонтальную поверхность, соответственно

$W_{гор\ день.j}^{np\ набл\ реал}$ и $W_{гор\ день.j}^{диф\ набл\ реал}$.

Реальные почасовые значения плотности прямого СИ, падающего на следящую поверхность, определяются как

$$E_{след\ j}^{np\ расч\ реал} = E_{след\ j}^{np\ расч\ чист} \cdot \frac{W_{след\ день.j}^{np\ набл\ реал}}{W_{след\ день.j}^{np\ расч\ чист}} \quad (1)$$

где $E_{след\ j}^{np\ расч\ чист}$ - плотность прямого СИ, падающего на следящую поверхность при

чистом небе; $W_{след\ день.j}^{np\ расч\ чист} = \sum_{t_{восх}}^{t_{зах}} E_{след\ i}^{np\ расч\ чист} \cdot \Delta t$ – расчетное значение дневной суммы

энергии прямого СИ, падающего на следящую поверхность при чистом небе в средний день каждого j -го месяца года; $t_{восх}, t_{зах}$ – время восхода и захода Солнца.

Значение $E_{след_j}^{nr\ расччист}$ может быть найдено по формуле:

$$E_{след_i}^{nr\ расччист} = E_C \cdot K_{след}^{nrчист} \cdot \tau_{R_i} \cdot \tau_{A_i} \cdot \tau_{O_{3i}} \cdot \tau_{Газi} \cdot \tau_{H_2O_i}, \quad (2)$$

где E_C – солнечная постоянная, равная 1367 Вт/м^2 ; $K_{след}^{nrчист} = 0.9$ – введенный поправочный коэффициент для расчета прямого СИ, падающего на следящую поверхность, действительный при расчете радиации на территории бывшего СССР; τ_{R_i}, τ_{A_i} – коэффициенты пропускания, учитывающие релеевское и аэрозольное рассеяние СИ;

$\tau_{O_{3i}} \cdot \tau_{Газi} \cdot \tau_{H_2O_i}$ – коэффициенты пропускания, учитывающие поглощение СИ озоном, газовой смесью (O_2, N_2, CO_2 и т.д.) в составе атмосферного воздуха и парами воды. Значение коэффициентов пропускания, входящие в формулу (2), определяются по зависимостям, представленным в [1].

Реальные почасовые значения плотности полного СИ, падающего на поверхность наклонной СФЭС, находятся как сумма трех слагаемых-прямого, диффузного и отраженного СИ. Реальные почасовые значения плотности прямого СИ, падающего на неподвижную, ориентированную на юг и наклоненную под углом широты места поверхность, можно найти по формуле

$$E_{накл_i}^{nr\ расчреал} = E_{след_i}^{nr\ расчреал} \cdot \cos \delta_n \cdot \cos \omega_{C_i}, \quad (3)$$

где δ_n – угол склонения Солнца; ω_{C_i} – часовой угол Солнца.

Реальные почасовые значения плотности потока диффузного СИ, падающего на поверхность наклонных СФЭС, зависят от значения угла наклона поверхности установки к горизонту β :

$$E_{накл_i}^{диф\ расчреал} = E_{гор_i}^{диф\ расчреал} \cdot \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right). \quad (4)$$

Отраженная составляющая плотности полного СИ, падающего на наклонные СФЭС, также определяется углом наклона луче воспринимающей поверхности к горизонту:

$$E_{накл_i}^{отр\ расчреал} = E_{гор_i}^{полн\ расчреал} \cdot \rho_3 \cdot \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right), \quad (5)$$

где $E_{гор_i}^{полн\ расчреал}$ – плотности полного СИ, падающего на горизонтальную поверхность;

ρ_3 – альbedo подстилающей поверхности Земли.

Значение $E_{гор_i}^{полн\ расчреал}$ может быть найдено по формуле

$$E_{гор_i}^{полн\ расчреал} = E_{гор_i}^{nr\ расчреал} + E_{гор_i}^{диф\ расчреал} \quad (6)$$

Значение угла наклона луче воспринимающей поверхности к горизонту, в выражениях (4) и (5), зависит от ориентации солнечной установки в пространстве. Для неподвижной, наклонной СФЭС оно неизменно и в рассматриваемом случае принято равным углу широты места $\beta = \varphi_M$.

Входящие в формулу (6) реальные значения плотности прямого $E_{гор_i}^{nr\ расчреал}$ и диффузного $E_{гор_i}^{диф\ расчреал}$ солнечного излучения, падающего на горизонтальную поверхность, рассчитываются по следующим зависимостям:

$$E_{гор_i}^{пр\ расч\ реал} = E_{гор_i}^{пр\ расч\ чист} \cdot \frac{W_{гор\ день.j}^{пр\ набл\ реал}}{W_{гор\ день.j}^{пр\ расч\ чист}}; \quad (7)$$

$$E_{гор_i}^{диф\ расч\ реал} = E_{гор_i}^{диф\ расч\ чист} \cdot \frac{W_{гор\ день.j}^{диф\ набл\ реал}}{W_{гор\ день.j}^{диф\ расч\ чист}}; \quad (8)$$

где $W_{гор\ день.j}^{пр\ расч\ чист} = \sum_{t_{восх}}^{t_{зах}} E_{гор_i}^{диф\ расч\ чист} \cdot \Delta t$; $W_{гор\ день.j}^{диф\ расч\ чист} = \sum_{t_{восх}}^{t_{зах}} E_{гор_i}^{диф\ расч\ чист} \cdot \Delta t$ – расчетные значения дневных сумм энергии прямого и диффузного СИ, падающего на горизонтальную поверхность при чистом небе; $E_{гор_i}^{пр\ расч\ чист}$, $E_{гор_i}^{диф\ расч\ чист}$ – плотности прямого и диффузного СИ.

Плотность прямого солнечного излучения определяется как

$$E_{гор_i}^{пр\ расч\ чист} = E_c \cdot K_{гор}^{пр\ чист} \cdot \tau_{R_i} \cdot \tau_{A_i} \cdot \tau_{O_{3i}} \cdot \tau_{Газ_i} \cdot \tau_{H_2O_i} \cdot \cos \Theta_{Zi}, \quad (9)$$

где $\cos \Theta_z$ – косинус угла падения солнечных лучей на горизонтальную поверхность; $K_{гор}^{пр\ чист}$ – поправочный коэффициент, равный 1.14 в зимние и 0.91 в летние месяцы года.

Плотность диффузного СИ рассчитывается по формуле:

$$E_{гор_i}^{диф\ расч\ чист} = E_c \cdot K_{гор}^{диф\ чист} \cdot \cos \Theta_{Zi} \cdot \tau_{O_{3i}} \cdot \tau_{Газ_i} \cdot \tau_{H_2O_i} \cdot \tau_{AA_i} \cdot (0.5 \cdot (1 - \tau_{R_i}) + 0.82 \cdot (1 - \tau_{AC_i})), \quad (10)$$

где $K_{гор}^{диф\ чист} = 1.05$ – поправочный коэффициент для расчета диффузного СИ, поступающего на горизонтальную поверхность; τ_{AA} , τ_{AC} – коэффициенты пропускания, учитывающие аэрозольное рассеяние и рассеяние частицами сухого воздуха. Значения коэффициентов пропускания могут быть найдены по зависимостям, представленным в [8].

Реальные значения плотности полного солнечного излучения, падающего на наклонную поверхность, определяются путем суммирования найденных ранее компонентов СИ:

$$E_{накл_i}^{полн\ расч\ реал} = E_{накл_i}^{пр\ расч\ реал} + E_{накл_i}^{диф\ расч\ реал} + E_{накл_i}^{отр\ расч\ реал}. \quad (11)$$

После того, как определены реальные значения плотности потока солнечного излучения, приходящего на поверхности рассматриваемых установок, можно рассчитать месячные значения поступающей и вырабатываемой энергии:

- энергия солнечного излучения, поступающего на 1 м^2 поверхности СФЭС в течение расчетного месяца:

$$W_{след(накл)мес_j}^{СИ\ расч\ реал} = N \cdot \int_{t_m}^{t_{зах}} E_{след(накл)_i}^{СИ\ расч\ реал}(t) \cdot dt, \quad (12)$$

где $E_{след(накл)_i}^{СИ\ расч\ реал}$ – реальные значения плотностей СИ, поступающего на различным образом ориентированные поверхности СФЭС в каждый i – й час среднего дня месяца; N – количество в месяце;

- электроэнергия, вырабатываемая 1 м^2 поверхности СФЭС в течение расчетного месяца:

$$W_{след(накл)мес_j}^{выр} = W_{след(накл)мес_j}^{СИ\ расч\ реал} \cdot \eta_{СФЭС\ след(накл)}, \quad (13)$$

где $\eta_{СФЭС_{след(накл)}}$ – КПД следящей или наклонной СФЭС.

По представленным выше зависимостям был выполнен расчет (таблица) значений плотности энергии СИ, поступающего на рабочие поверхности солнечных установок при их размещении в различных географических точках. Следует отметить, что первые 8 позиций в указанной в таблице позиции приведены из известных работ, приведенных в [7] а остальные 4 позиции вычислены нами по указанной в этом разделе методике.

При этом в пределах ошибки измерения все приведенные результаты совпадают с нашими вычислениями для близкого по географическим месторасположениям местности.

Таблица.

Годовые суммы энергии солнечного излучения, поступающего на единицу поверхности двух различных типов СФЭС, и объемы вырабатываемой электроэнергии.

Пункт	φ_m град. С.ш.	λ_m град. В.д.	Годовое соотношение прямого и полного СИ ,%	Плотность энергии СИ (кВт·ч/м ²), поступающего на различно ориентированные СФЭС за год		Плотность электроэнергии (кВт·ч/м ²), вырабатываемой различно ориентированными СФЭС за год	
				следящая, прямое СИ	наклонная, полное СИ	следящая, КПД 25%	наклонная, КПД 12%
Норильск	69	89	42	799	826	200	99
Москва	56	37.5	45	888	1073	222	129
Краснодар	45	39	53	1123	1338	281	161
Сочи	43.8	39.5	59	1392	1519	348	182
Ереван	40	44	64	1711	1760	428	211
Ташкент	41.5	69	65	1943	1890	486	227
Термез	37	67	66	1958	1931	489	232
Чарджоу	39	63.5	67	2120	2027	530	243
Худжанд	40	69.5	56	1735	1689	441	202
Пенджикент	39.2	67.3	57	1707	1661	434	199
Хорог	38	73	65	1985	1932	505	232
Бохтар (Курган- тюбе)	37.8	68.7	55	1716	1670	436	201

В таблице приведены результаты этого расчета включая районы ЦА с различным, от 42 % до 67%, годовым соотношением прямого и полного СИ, а также расчетные значения удельной, получаемой с 1 м² рабочей поверхности СФЭС, электроэнергии при выполнении последней в варианте с концентрацией солнечного излучения (КСИ) с КПД 25 % и в варианте неподвижной станции, ориентированной на Юг под углом местности. Близость результатов расчета полного солнечного излучения [6,7] с результатами измерений, например, на метеостанциях г. Ташкента и г. Термеза позволяет сделать вывод об эффективности расчетной методики и целесообразности ее применения при оценках «выживаемости» тех или иных фотоэлектрических систем при их развертывании в конкретном регионе. Так расчет для района г. Ташкента дает значение полной солнечной радиации в год ~1890 кВт·ч/м², а для г. Термеза-1931 кВт·ч/ м², усредненные данные многолетних измерений на метеостанциях г.Ташкента и г. Термеза [5] составляют, соответственно, 1945 ± 56 кВт·ч/м² в год и 2160 ± 36 кВт·ч./м² в год. Максимальное расхождение результатов не превышает 10 %.Используя описанную методику для наших оценок «выживаемости», получаем, что при КПД сравнительно большой, порядка 1 МВт мощности, фотоэлектрической системы ~10 % ее разворачивание в регионе ЦА, например, Ташкентском оазисе, позволит получить с 1 м² за 30 лет эксплуатации всего около 5,670

МВт·ч электроэнергии в виде переменного тока промышленной частоты. Полученная величина почти в 3 раза ниже оптимистических расчетов, основанных на паспортных данных единичных ФЭМ, и примерно в 1,5 раза ниже расчетных данных, где КПД энергосистемы предполагалось равным КПД самих СЭ ~12 %. Исходя из определенного нами реального объема электроэнергии, вырабатываемой в год 1 м² площади упомянутой выше фотоэлектрической системы, получаем, что при тогдашних, на конец XX века, среднемировых ценах на электричество в промышленных и бытовых сетях [4] один из важнейших показателей «выживаемости» - срок окупаемости данной фотоэлектрической системы при цене ее единичной мощности с учетом не только модулей, но и всей инфраструктуры СФЭС ~4÷5 долл. за 1 Вт, составит более 40 лет. Полученная цифра не только превышает оптимистические оценки, обычно применяемые в оценочных расчетах [4,5], но и сам срок службы СЭ, составляющий ~30 лет. Однако это никак не умаляет достоинств фотоэлектрических систем, во-первых, потому что реальный срок службы уже находящихся в эксплуатации, а, тем более, перспективных СЭ и ФЭМ, значительно превышает это значение и, например, срок их службы в ФЭМ в виде стеклопакета предполагается равным 100 годам. Во-вторых, ныне наблюдаемое, почти десятикратное падение цен на СЭ и стоимости единицы мощности в составе ФЭМ и солнечных батарей (СБ) привело к существенному падению стоимости солнечного электричества и в больших энергосистемах, в результате чего срок окупаемости также может существенно снизиться. Отметим, что повышение «выживаемости» фотоэлектрических установок за счет снижения цен на главные комплектующие, то есть явный рост конкурентоспособности СФЭС стимулировал оживление фотоэлектрического рынка и рост объемов продаж, но, к сожалению, не в тех же, соизмеримых с падением цен на СЭ и СБ, масштабах, поскольку, почти в этот же временной период, резко упали цены на нефть, потянув за собой некоторое снижение цен на электроэнергию, получаемую стандартными способами.

Таким образом, несмотря на ряд преимуществ концентраторных СФЭС [9÷11], наиболее ярким из которых является экономия числа СЭ пропорционально уровню КСИ, учет результатов эксплуатации таких станций показывает, что они значительно менее конкурентоспособны, чем станции с планарными ФЭМ. Концентраторные станции, например, в том же Ташкентском оазисе могут бесперебойно работать в год не более 2/5 продолжительности работы солнечных систем вообще из-за наличия облачных дней в году. Как показано в [6], такие СФЭС перспективны в регионе ЦА исключительно для сезонного (летнего) применения, например, на пастбищах отгонного животноводства, в системах водоподъема, причем поднимаемая из колодцев вода на своем пути в накопитель первоначально используется для охлаждения концентраторных СЭ, тем самым обеспечивая поддержание их КПД на номинальном уровне [10,11]. Имеется перспектива их применения в высокогорье, например, в некоторых районах Таджикистана с продолжительным безоблачным периодом.

При оценках «выживаемости» солнечных энергосистем одними из важных были и, вероятно, пока останутся в текущем и будущем десятилетиях не только экономические, но и социальные факторы, возникающие непосредственно у потребителя. Так еще в работе [12] было отмечено, что при внедрении СФЭС в конце XX века явно прослеживаются две противоположные тенденции.

В развивающихся странах наибольшее применение находят сравнительно маломощные установки для электроснабжения индивидуальных домов и объектов в сельской местности в местах, отдаленных от электросетей, в том числе, для оснащения культурных и медицинских центров, где благодаря СФЭС можно пользоваться электронными средствами информации, радио, телевидением или современной медицинской техникой. В этих случаях применения на первый план выступает не стоимость электроэнергии, а социальный эффект. Программы внедрения СФЭС в развивающихся странах активно поддерживаются международными организациями, в их финансировании принимает участие Мировой банк на основе выдвинутой им «Солнечной Инициативы». Так, например, только в Кении в конце XX века с помощью СФЭС было электрифицировано более 20000 сельских домов. Большая программа

по внедрению СФЭС была тогда же реализована и в Индии, где на установку СФЭС в сельской местности было затрачено более половины средств национальной программы применения ВИЭ. Новый импульс к внедрению СФЭС в развивающихся странах безусловно дали итоги Парижского климатического саммита 2015. В промышленно развитых странах активное внедрение СФЭС объясняется несколькими факторами. Во-первых, СФЭС рассматриваются, как экологические чистые источники, способные уменьшить вредное воздействие на окружающую среду. Во-вторых, применение СФЭС в частном секторе повышает его энергетическую автономию и защищает владельца от неудобств при возможных перебоях в централизованном электроснабжении. Следует отметить, что правительства ряда стран, например, Германии, поощряют использование СФЭС и других видов ВИЭ частными владельцами, доплачивая энергокомпаниям, если те покупают у них излишки электроэнергии по более высокой, чем энергия, производимая ими самими, цене. В-третьих, немаловажное значение имеет динамика улучшения экономических показателей СФЭС, а именно, достижение их конкурентоспособности для ряда применений, число и варианты которых непрерывно возрастают [12] чему немало способствовало снижение цен на средства получения «солнечного электричества».

Со всей очевидностью, ожидаемый после 2030 года переход солнечной энергетики в разряд одного из основных, а значит, не экзотических, а рядовых способов получения электроэнергии приведет к пересмотру принципов ценообразования в отрасли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Саидов М.С., Ашуrow М.Х., Абдурахманов Б.М.. Долгосрочные вопросы солнечного фотоэлектричества. // Гелиотехника. №4. 2000. С. 3-14.
2. Абдурахманов К.П., Стрижевский А.Г., Очилow Н.О. Солнечное мобильное зарядное устройство. Патент РУз на полезную модель № SAP 00474.
3. Анарбаев А.И., Захидов Р.А., Орлова Н.И., Таджиев У.А.. Районирование территории Узбекистана по комплексу метеофакторов, влияющих на эффективность работы солнечных систем горячего водоснабжения. // Гелиотехника. 2008. № 2. С. 62-73.
4. Аллаев К.Р. «Энергетика мира и Узбекистана» «Молия», Ташкент, 2007, 388 с.
5. Стребков Д.С., Пинов А.Б.. Фотоэлектричество – проблемы и перспективы. Возобновляемая Энергия. Ежекв. Инф. бюлл. 1997. № 1. С. 21,22, 43-46.
6. Аронова Е.С., Грилихес В.А., Тимошина Н.Х., Шварц М.З.. О влиянии реальных условий эксплуатации на энергетические характеристики солнечных фотоэлектрических установок различных типов. // Гелиотехника. 2008. № 3. С. 3-10.
7. Аронова Е.С., Грилихес В.А.. Сравнительный анализ энергетической эффективности солнечных фотоэлектрических установок различных типов. // Гелиотехника. 2008. № 2. С. 10-17.
8. Bird, R. Hulstrom. A simplified clear sky model for direct and diffuse insolation jn horizontal surfaces. // SERI/TR-642-761. Solar Energy Research Institute (SERI/NREL). 1981. 275 p.
9. Абдурахманов Б.М., Байдаков С.Г., Соловейчик В.И., Чирва В.П.. Модули и элементы солнечных фотоэлектрических станций с концентрацией излучения. Ташкент: ФАН. 1993. 200 с.
10. Андреев В.М., Грилихес В.А., Румянцев В.Д.. Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения. Л. Наука, 1989, 310 с.
11. Соловейчик В.И., Абдурахманов Б.М., Драчук И.В., Саидов М.С. Система теплоотвода от солнечных элементов на основе тепловых труб в условиях эксплуатации при концентрированном излучении. // Гелиотехника. 1999. № 6. С. 10-17.
12. Доброхотов В.И., Шпильрайн Э.Э. Возобновляемые источники энергии. Проблемы и перспективы. Ежекв. Инф. бюлл. № 1. С. 10-14.

LITERATURE

1. Saidov M.S., Ashurov M.H., Abdurakhmanov B.M. Long-term issues of solar photovoltaics. // Solar engineering. No. 4. 2000. pp. 3-14.
2. Abdurakhmanov K.P., Strizhevsky A.G., Ochilov N.O. Solar mobile charger. Patent of the Republic of Uzbekistan for utility model No. SAP 00474.

3. Anarbayev A.I., Zakhidov R.A., Orlova N.I., Tajiev U.A. Zoning of the territory of Uzbekistan according to a complex of meteorological factors affecting the efficiency of solar hot water systems. // Solar engineering. 2008. No. 2. pp. 62-73.
4. Allaev K.R. "Energy of the world and Uzbekistan" "Molia", Tashkent, 2007, 388 p.
5. Strebkov D.S., Pinov A.B.. Photovoltaics – problems and prospects. Renewable Energy. Quarterly Inf. byull. 1997. No. 1. pp. 21,22, 43-46.
6. Aronova E.S., Grilikhes V.A., Timoshina N.H., Schwartz M.Z.. On the influence of real operating conditions on the energy characteristics of solar photovoltaic installations of various types. // Solar engineering. 2008. No. 3. pp. 3-10.
7. Aronova E.S., Grilikhes V.A. Comparative analysis of the energy efficiency of solar photovoltaic installations of various types. // Solar engineering. 2008. No. 2. pp. 10-17.
8. Bird, R. Hulstrom. A simplified clear sky model for direct and diffuse insolation jn horizontal surfaces. // SERI/TR-642-761. Solar Energy Research Institute (SERI/NREL). 1981. 275 p.
9. Abdurakhmanov B.M., Baydakov S.G., Soloveitchik V.I., Chirva V.P.. Modules and elements of solar photovoltaic stations with radiation concentration. Tashkent: FAN. 1993. 200 p.
10. Andreev V.M., Grilikhes V.A., Rummyantsev V.D. Photoelectric transformation of concentrated solar radiation. L. Nauka, 1989, 310 p.
11. Soloveychik V.I., Abdurakhmanov B.M., Drachuk I.V., Saidov M.S. Heat removal system from solar cells based on heat pipes under operating conditions with concentrated radiation. // Solar engineering. 1999. No. 6. pp. 10-17.
12. Dobrokhotov V.I., Shpilrain E.E. Renewable energy sources. Problems and prospects. Quarterly Inf. byull. No. 1. pp. 10-14.