

УДК 621.383

**В.И.Шкляр**, канд.техн.наук, **В.В.Дубровская**, канд.техн.наук, **Д.С.Карпенко** (Национальный технический университет Украины "КПИ", Институт энергосбережения и энергоменеджмента, Киев)

## Использование энергии Солнца фотоэлектрическими системами

*Рассмотрен вопрос о целесообразности использования солнечной энергии для получения электроэнергии с помощью фотоэлементов на территории Украины. Проведен сравнительный анализ наиболее применяемых фотоэлементов. Приведена характеристика различных видов фотоэлектрических систем с монокристаллическими панелями KV-255M и их дополнительного оборудования. Представлены данные о состоянии производства и стоимости оборудования фотоэлектрических систем в Украине. Выполнен технико-экономический анализ этих систем для трех областей Украины.*

**Ключевые слова:** солнечная энергия, фотоэлектрические системы, фотоэлемент, солнечные панели, "зеленый" тариф, инвестиционный проект.

*Розглянуто питання доцільності використання сонячної енергії для отримання електроенергії за допомогою фотоелементів на території України. Проведено порівняльний аналіз найбільш використовуваних фотоелементів. Наведено характеристику різних видів фотоелектричних систем з монокристалічними панелями KV-255M та їх додаткового обладнання. Представлено дані про стан виробництва і вартість обладнання фотоелектричних систем в Україні. Виконано техніко-економічний аналіз таких систем для трьох областей України.*

**Ключові слова:** сонячна енергія, фотоелектричні системи, фотоелемент, сонячні панелі, "зелений" тариф, інвестиційний проект.

Солнечная энергия является наиболее доступным источником энергии на нашей планете. Благодаря неисчерпаемости этого ресурса, следует отдать ему предпочтение, и потому важно уже сейчас внедрять методы для ее преобразования и использования.

Использование солнечной энергии с помощью фотоэлектрических установок является одним из перспективных видов энергоснабжения. С каждым годом цены на фотоэлектрические системы уменьшаются вследствие роста спроса и развития производства фотоэлементов, фотоэлектрических батарей и необходимых компонентов для построения таких систем.

Учитывая государственные механизмы стимулирования использования нетрадиционных источников энергии, фотоэлектрические установки становятся доступными для их внедрения.

Лидерами в производстве солнечных панелей являются Китай, Япония, Германия, Канада и США. На сегодняшний день минимальная цена на кристаллических фотоэлементов составляет 0,5-0,6 \$/Вт<sub>пик</sub>.

В Украине основными производителями кремния "солнечного" качества, фотоэлементов и

солнечных панелей являются "Пиллар", "Квазар", "Пролог Семикор" (г. Киев), "Актив Солар" (г. Запорожье), "Силикон" (г. Светловодск). Минимальная цена на отечественные фотоэлементы кристаллического типа достигает 1,3-1,4 \$/Вт<sub>пик</sub>.

Солнечный потенциал на территории Украины достаточно высокий для его использования и превращения в электрическую энергию. Умеренный климат позволяет эксплуатировать солнечные батареи в достаточно благоприятных для них условиях. Из-за относительно небольшой скорости ветра снижается фактор загрязнения поверхности солнечных батарей, и невысокие температуры обеспечивают их оптимальную работу.

Уровень производства электроэнергии можно поднять на 10-20% при установке солнечных панелей в южном направлении и под оптимальным углом к горизонту для данной широты местности.

Установка солнечных панелей возможна почти в любом месте: на крышах строений и сооружений, на наземных площадках, которые не используются или непригодны для использования в сельском хозяйстве. По приближенным расчетам, если покрыть 1% площади Украины солнечными панелями, то они смогут генериро-

вать 900 000 ГВт·ч электрической энергии в год, что в несколько раз превышает годовое производство электрической энергии всеми электрическими станциями Украины.

Широкое использование приобрели кристаллические – c-Si (монокристаллические и поликристаллические) и тонкопленочные (аморфного кремния (a-Si), теллурида/сульфида кадмия (CTS), медно-индиевый или медно-индиево-галлиевый диселенид (CIS или CIGS) и др.) фотоэлементы. Фотоэлементы из монокристаллического кремния, по сравнению с поликристаллическими, имеют лучшие технические характеристики, КПД 13-20% и являются менее чувствительными к мгновенным изменениям облачности и погодных условий. Тонкопленочные фотоэлементы, несмотря на достаточно низкий КПД, требуют значительно меньших затрат на их производство и займут львиную долю рынка в будущем. Сравнительные характеристики разных типов фотоэлементов приведены в табл. 1.

Среди всех технических показателей фотоэлементов основными являются: КПД, мощность, ток короткого замыкания, напряжение холостого хода, ток и температура при максимальной мощности, температурные коэффициенты изменения напряжения и тока, диапазон рабочих температур. Все эти характеристики предоставляются производителями солнечных панелей в паспортных данных при условиях STC: уровень солнеч-

ной радиации: 1000 Вт/м<sup>2</sup>; атмосферная масса: AM1,5; температура: +25°C.

Обычно такие условия окружающей среды бывают очень редко, поэтому технические показатели предоставляются еще при условиях NOCT – более приближенных к реальным условиям окружающей среды: уровень солнечной радиации: 800 Вт/м<sup>2</sup>; атмосферная масса: AM1,5; температура: +47±2°C.

КПД солнечного модуля  $\eta_{CM}$  определяется по формуле [6]:

$$\eta_{CM} = (ff I_{SC} V_{OC}) / P_{IN},$$

где  $ff$  – коэффициент заполнения ВАХ;  $I_{SC}$  – ток короткого замыкания, А;  $V_{OC}$  – напряжение холостого хода, В;  $P_{IN}$  – уровень солнечной радиации на поверхности модуля, Вт/м<sup>2</sup>.

Повышение температуры поверхности солнечного модуля отрицательно сказывается на его технико-эксплуатационных характеристиках. Эта зависимость описывается температурными коэффициентами напряжения и тока. Оптимальной температурой для эксплуатации фотоэлементов считается 25°C. При температуре выше оптимальной напряжение холостого хода и коэффициент заполнения ВАХ уменьшается, а ток короткого замыкания незначительно повышается. При уровне солнечной радиации ниже 200 Вт/м<sup>2</sup> КПД солнечной панели начинает резко снижаться. Зависимость КПД от температуры на поверхности и уровня солнечной радиации на примере солнечного модуля KV-255M показаны на рис. 1.

Таблица 1. Сравнительные характеристики разных типов фотоэлементов

	Типы фотоэлементов		
	Кристаллические		Тонкопленочные
	Монокристаллические	Поликристаллические	
ККД, %	13-20	12-17	4-11
Диапазон рабочих температур, °C	(-40) ÷ (+85)	(-40) ÷ (+85)	(-40) ÷ (+100)
Срок эксплуатации, лет	25	25	10-20
Коэффициент заполнения вольт-амперной характеристики, %	75-80	73-75	60-70
Температурный коэффициент $\beta(U_{OC})$ , %/°C	-(0,3 ÷ 0,5)	-(0,3 ÷ 0,5)	-(0,1 ÷ 0,3)
Удельная пиковая мощность, Вт <sub>пик</sub> /м <sup>2</sup>	160-170	145-155	50-95
Минимальная удельная стоимость, \$/Вт <sub>пик</sub>	0,6	0,5	0,3

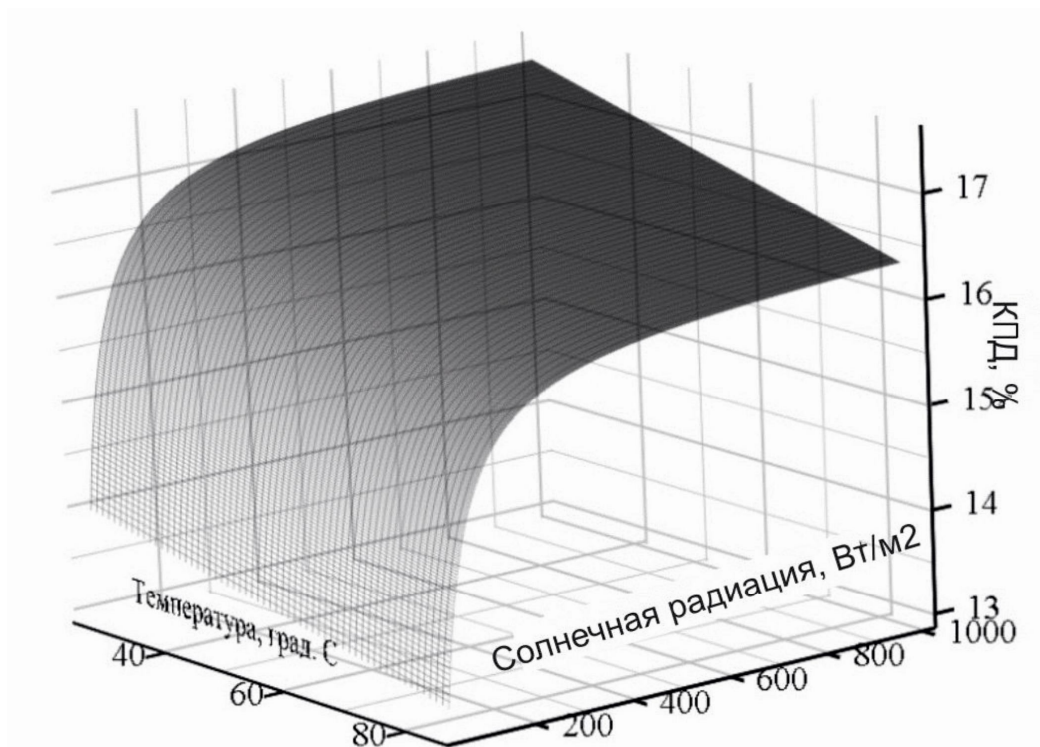


Рис. 1. График зависимости КПД от температуры и уровня солнечной радиации.

При последовательном соединении фотоэлементов в солнечной панели нужно учитывать такое отрицательное явление, как теневой эффект – при полном затенении одного или нескольких фотоэлементов они из источников мощности преобразуются в потребители и начинают нагреваться за счет внутреннего сопротивления, а солнечная панель теряет электрическую мощность. Поэтому для предотвращения этого эффекта последовательное соединение фотоэлементов делят с помощью обходных диодов [5]. При этом, когда участок солнечной панели затенен, ток течет через обходной диод, минуя этот участок. При подключении обходных диодов к каждому элементу панели значительно повышается стоимость модуля, поэтому обычно при производстве обходной диод подключают к каждой группе из 4-х элементов модуля.

Среди основных методов повышения эффек-

тивности солнечных элементов при их производстве можно выделить следующие: снижение паразитирующих сопротивлений, снижение потерь при рекомбинации электронов, оптимизация схем включения передних контактов, создание эффективных световых ловушек, текстурирование поверхности, использование эффективных антиотражающих поверхностей и др.

Солнечные панели являются основным элементом фотоэлектрических систем, но без вспомогательных компонентов такая система не будет функционировать правильно. Существует три типа фотоэлектрических систем: автономные, резервные и безаккумуляторные, соединенные с сетью централизованного электроснабжения (сетевая система). Причем, последние два типа могут объединяться между собой, образуя резервно-сетевую систему. Принципиальные схемы работы фотоэлектрических систем показаны на рис. 2.

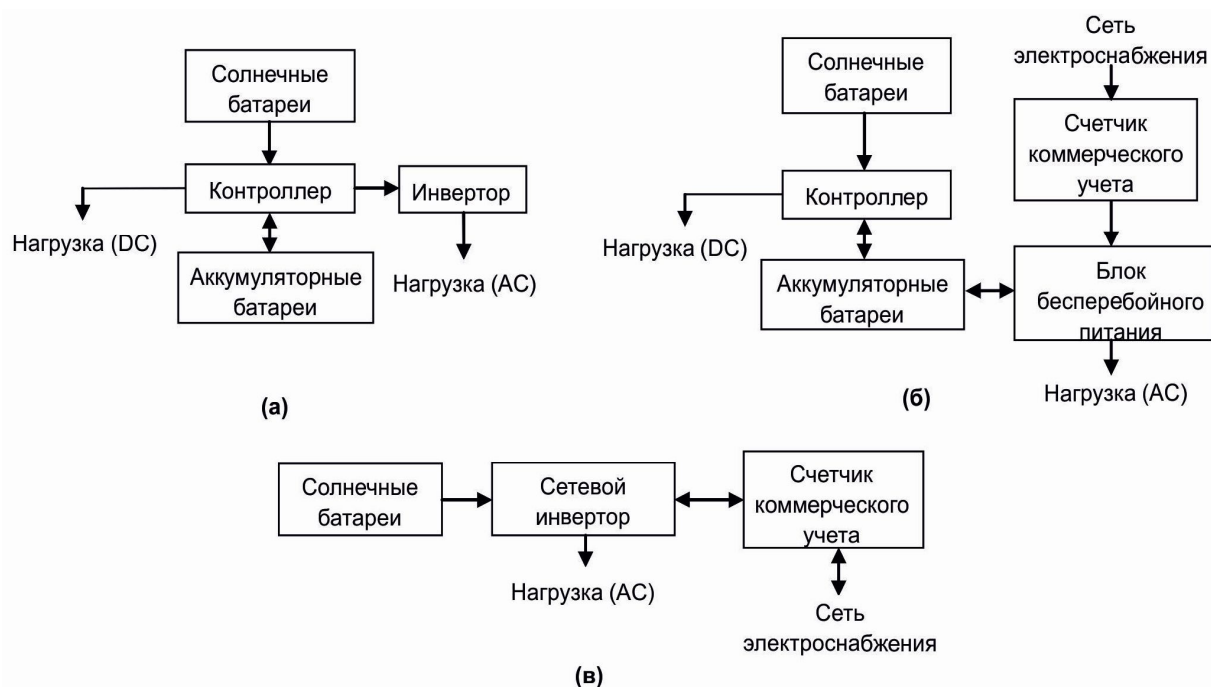


Рис. 2. Принципиальные схемы фотоэлектрических систем:

(а) – автономная, (б) – резервная, (в) – безаккумуляторная, соединенная с сетью централизованного электроснабжения.

Безаккумуляторные фотоэлектрические системы не требуют аккумуляции энергии и отправляют выработанную энергию сразу в сеть, которая является для объекта энергоснабжения "аккумулятором" со стопроцентным КПД [1]. Сетевой инвертор (on-grid, grid-connection) – это устройство, преобразующее постоянный ток в переменный высокого качества для дальнейшей отправки электрической энергии в сеть электроснабжения, с которой он синхронизируется и имеет КПД 92-99%. В Украине отсутствует производство сетевых инверторов, поэтому они импортируются из других стран. Удельная стоимость такой системы на 1 кВт установленной мощности составляет в данный момент приблизительно 11-18 тыс. грн в зависимости от производителя компонентов системы. У таких систем есть один существенный недостаток: при отсутствии напряжения в сети система перестает генерировать электрическую энергию и отключается. Но, несмотря на это, безаккумуляторные фотоэлектрические системы приобрели наибольшее использование в мире благодаря своей относительной дешевизне и высокой эффективности.

Для поддержки развития использования возобновляемых источников энергии необходимо, чтобы на законодательном уровне существовали механизмы стимулирования этого развития. В Украине действует Закон "Про электроэнергетику", где устанавливается "зеленый" тариф, который определяет повышенные тарифы на электроэнергию, выработанную за счет таких нетрадиционных источников энергии, как ветер, солнце, биомасса и др. [3, 4].

Этот механизм является одним из наилучших видов стимуляции использования нетрадиционных источников энергии. Согласно положению о "зеленом" тарифе, солнечная энергетика имеет наивысший приоритет среди других возобновляемых источников энергии в Украине и на данный момент, в период с 01.04.2013 по 31.12.2014 имеет коэффициент 3,7 для установок мощностью меньше 100 кВт, установленных на крышах и фасадах строений, и является одним из наивысших в Европе. Кроме "зеленого" тарифа в Украине действуют такие механизмы стимулирования использования нетрадиционных источников энергии: предоставление налоговых льгот пред-

приятням, приоритетное кредитование, целевые государственные и другие субсидии.

В работе проведен технико-экономический анализ разных фотоэлектрических систем на примере установки мощностью 3 кВт с 12 солнечными монокристаллическими панелями KV-255M общей стоимостью 32000 грн. Габаритные размеры одной солнечной панели составляют 1,6×1 м. Общая площадь всех фотоэлектрических панелей составит приблизительно 19,2 м<sup>2</sup>, КПД солнечных панелей – 15,5%.

Годовое поступление солнечной энергии на территорию Украины по трем областям составляет: Киевская область – 1100 кВт·ч/м<sup>2</sup>, Днепропетровская область – 1250 кВт·ч/м<sup>2</sup>, Автономная Республика Крым – 1400 кВт·ч/м<sup>2</sup>. При установке солнечных панелей под оптимальным углом к горизонту годовой приход солнечной радиации повысится: Киевская область – 1350 кВт·ч/м<sup>2</sup>, Днепропетровская область – 1500 кВт·ч/м<sup>2</sup>, Автономная Республика Крым – 1700 кВт·ч/м<sup>2</sup> [7].

В состав безаккумуляторной фотоэлектрической системы, соединенной с сетью электропитания, дополнительно входит сетевой инвертор Fronius IG 30 с КПД 96,5% стоимостью 10500 грн. Учитывая стоимость монтажа такой установки и счетчик коммерческого учета, общая стоимость такой системы составит 45000 грн.

Среднее годовое количество выработанной электрической энергии безаккумуляторной фотоэлектрической системой определяется по формуле:

$$W_{\text{БФЭС.ГОД}} = \eta_{\text{СМ}} \eta_{\text{МИ}} E_{\text{СР.ГОД}} A_{\text{СБ}} k,$$

где  $W_{\text{БФЭС.ГОД}}$  – количество выработанной электрической энергии безаккумуляторной фотоэлектрической установкой за год, кВт·ч;  $\eta_{\text{МИ}}$  – КПД сетевого инвертора;  $E_{\text{СР.ГОД}}$  – среднее годовое количество солнечной радиации, поступающей на солнечные батареи, установленные под оптимальным углом к горизонту, кВт·ч/м<sup>2</sup>;  $A_{\text{СБ}}$  – площадь солнечной батареи, м<sup>2</sup>;  $k$  – коэффициент, учитывающий заполнение солнечной панели фотоэлементами, в расчетах принято:  $k=0,92$ .

"Зеленый" тариф для субъектов хозяйствования и частных домовладельцев, вырабатывающих

электрическую энергию из энергии солнечного излучения, устанавливается на уровне розничного тарифа для потребителей второго класса напряжения на январь 2009 года, который определен с использованием тарифного коэффициента, используемого для пикового периода времени (для трехзонной тарифной классификации), умноженного на коэффициент "зеленого" тарифа для электроэнергии, выработанной из энергии солнечного излучения, и составляет 3,9 грн за кВт·ч до 1.01.2015. После 1.01.2015 "зеленый" тариф составит 3,5 грн за кВт·ч [2].

Расчет срока окупаемости установки проводился при норме дисконта 8%. Результаты технико-экономического анализа безаккумуляторной установки приведены в табл. 2.

Такой проект является достаточно привлекательным с точки зрения инвестиций. Причем удельная стоимость 1 кВт такой установки уменьшается с увеличением ее мощности. Постепенное внедрение таких фотоэлектрических систем способствует замещению производства электроэнергии традиционным путем, из чего вытекает экономия топливно-энергетических ресурсов и уменьшение вредных выбросов в окружающую среду.

Автономные системы используются, когда объект не имеет доступа к сети централизованного электроснабжения. Поскольку солнечная энергия не является постоянным источником энергии, то возникает необходимость в аккумулировании энергии. Удельная стоимость автономной системы на 1 кВт установленной мощности составляет в данный момент приблизительно 16-26 тыс. грн. Такой широкий ценовой диапазон объясняется зависимостью стоимости системы от характера использования потребителей электрической энергии, необходимого количества аккумуляторных батарей и от самих производителей компонентов системы. Экономически целесообразно использовать автономные фотоэлектрические системы при невозможности подключения объекта к централизованной сети электроснабжения, или когда стоимость этого подключения выше стоимости установки.

Таблица 2. Техничко-економический анализ безаккумуляторной фотоэлектрической системы мощностью 3 кВт

	Киевская область	Днепропетровская область	АР Крым
Годовое поступление солнечной радиации на поверхность солнечных панелей, установленных под оптимальным углом, кВт·ч/м <sup>2</sup>	1350	1500	1700
Коэффициент полезного действия установки, %	15		
Площадь солнечной батареи с учетом коэффициента заполнения, м <sup>2</sup>	17,7		
Годовое производство электрической энергии фотоэлектрической установкой, кВт·ч	3570	3970	4500
Стоимость фотоэлектрической установки, грн	45000		
Значение "зеленого" тарифа по состоянию: – на 1.11.2013, – после 1.01.2015, грн/кВт·ч	3,9 3,5		
Общая годовая стоимость электроэнергии: – в период до 1.01.2015, – в период после 1.01.2015, грн/год	13910 12480	15460 13870	17520 15720
Дисконтированный срок окупаемости установки	3года 10 месяцев	3 года 5 месяцев	2 года 11 месяцев
Количество сэкономленного условного топлива, кг/год	1327,9	1475,5	1672,2

Аккумуляторные батареи необходимо использовать в автономных и резервных системах из-за непостоянства солнечного излучения во времени. В солнечной энергетике наибольшее распространение приобрели свинцово-кислотные аккумуляторные батареи общего назначения таких типов, как AGM, GEL и OPzV. Удельная стоимость разных типов аккумуляторных батарей в мире составляет: AGM – 0,1-0,2 \$/Вт·ч, AGM глубокого разряда – 0,15-0,25 \$/Вт·ч, GEL – 0,2-0,3 \$/Вт·ч, GEL глубокого разряда – 0,25-0,35 \$/Вт·ч, OPzV – 0,3-0,5 \$/Вт·ч.

В Украине Харьковский аккумуляторный завод "ВЛАДАР" производит аккумуляторные батареи типа GEL и OPzV для солнечных фотоэлектрических систем.

Автономные системы, в отличие от сетевых, потребуют более детального анализа.

Данные об изменении уровня солнечной радиации в течение года для определенной местности имеют большое значение при проектировании автономных фотоэлектрических установок.

При проектировании автономной системы нельзя рассматривать систему отдельно от потребителей электрической энергии на объекте. Из-за неоптимального выбора компонентов

установки для определенной группы потребителей система будет работать неэффективно. В расчетах принято, что компоненты системы подобраны оптимально для расчетного объекта.

В состав системы входят: солнечные монокристаллические панели; один инвертор ФОРТ FX55A стоимостью 5900 грн; солнечный контроллер EP VS4024/4048 стоимостью 6100 грн; аккумуляторные батареи "ВЛАДАР" LS 12 130 типа GEL общего назначения в количестве 8 шт. стоимостью 16000 грн.

По данным производителя, срок использования выбранных аккумуляторных батарей при их правильной эксплуатации составляет не менее 12 лет. Поэтому в цену автономной системы следует заложить стоимость замены аккумуляторных батарей, поскольку ориентировочный срок эксплуатации автономных систем составляет 25 лет.

Расчет автономных фотоэлектрических систем может проводиться для месяца, в котором количество дневной солнечной радиации наименьшее в году. Но такие расчеты приводят к большим капитальным затратам и неэффективной работе системы в месяцы с высоким количеством солнечной радиации. Поэтому для получения оптимальной стоимости системы расчет

необходимо проводить для значений дневной солнечной радиации за февраль, март или апрель. Выбираемый месяц зависит от климатической зоны, в которой находится объект. В данном случае, расчет был проведен для февраля. В холодные месяцы солнечной энергии не хватает для обеспечения определенного уровня потребления электрической энергии, поэтому необходимо дополнительно устанавливать резервный источник питания. В данном расчете в качестве резервного источника питания используется дизель-генератор стоимостью 10000 грн.

Следовательно, общая стоимость системы с учетом затрат на ее монтаж составит 90000 грн.

Экономическая оценка для автономных систем должна рассматриваться с точки зрения стоимости подключения объекта к сети централизованного электроснабжения и текущей стоимости потребления электрической энергии. Стоимость подключения зависит от установленной мощности объекта. Стоимость 1 кВт установленной мощности составляет 2000 грн. Также важным фактором является удаленность объекта от сети электроснабжения. Стоимость прокладки низковольтной линии электропередачи составляет от 100 до 150 тыс. грн за 1 км. Также существуют другие затраты: на согласование проектов, на составление технических условий, на проведение проверочных расчетов и др. Величина других затрат может достигать 5-10 тыс. грн. Каждый случай требует индивидуального подхода, поэтому в данном анализе рассчитано, при каком количестве денежных затрат на подключение к сети электроснабжения и ее эксплуатации срок окупаемости автономной системы будет приемлемым.

В расчете принято, что дневное потребление электрической энергии равняется количеству выработанной установкой электрической энергии при среднем за февраль количестве дневной солнечной радиации для соответствующей области Украины. При недостаточном количестве солнечной радиации за день к системе подключается

дизель-генератор, который компенсирует недостаток электрической энергии. Когда действительное количество солнечной радиации за день превышает необходимый уровень, тогда избыток выработанной электроэнергии идет на заряд аккумуляторных батарей или на дополнительное использование (например, на систему ГВС).

Среднедневное производство электрической энергии рассчитывается по формуле:

$$W_{\text{ВЫР.Э/Э}} = \eta_{\text{СМ}} \eta_{\text{I}} \eta_{\text{К}} \eta_{\text{АБ}} E_{\text{С.М.ДЕНЬ}} A_{\text{СБ}} k,$$

где  $W_{\text{ВЫР.Э/Э}}$  – количество выработанной электрической энергии автономной фотоэлектрической установкой за день, кВт·ч;  $\eta_{\text{I}}$  – КПД инвертора;  $\eta_{\text{К}}$  – КПД контроллера;  $\eta_{\text{АБ}}$  – КПД аккумуляторных батарей;  $E_{\text{С.М.ДЕНЬ}}$  – среднее за месяц количество дневной солнечной радиации, поступающей на солнечные батареи, установленные под оптимальным углом к горизонту в соответствии с широтой местности, кВт·ч/м<sup>2</sup>.

Расчет выполнен при следующих условиях:

1. Стоимость электроэнергии составляет 0,5 грн/кВт·ч.
2. В величину годовых затрат входят затраты на топливо для дизель-генератора с удельным расходом 0,3 л/кВт·ч при стоимости топлива 9 грн/л.
3. В расчетах учитывается годовой прирост стоимости электроэнергии и топлива 10%.
4. Расчет срока окупаемости установки проводится при норме дисконта 8%.
5. Срок окупаемости установки, при котором определяется минимальное количество денежных затрат на подключение объекта к сети, равен 5 лет.

В табл. 3 приведены результаты технико-экономического анализа автономной системы.

По результатам расчетов было определено, что ежегодная экономия электроэнергии очень незначительно влияет на скорость окупаемости автономной системы. Целесообразность использования такой системы почти полностью будет определяться затратами на подключение объекта к сети централизованного электроснабжения.

Таблица 3. Результаты расчетов минимального количества денежных затрат

Год	Годовая экономия, грн	Годовые затраты, грн	Чистый денежный поток, грн	Дисконтированный денежный поток, грн	NPV
<b>Киевская область</b>					
1	850	500	350	350	-89650
2	935	550	385	356,48	-89293,51
3	1028,5	605	423,5	363,08	-88930,43
4	1131,35	665,5	465,85	369,8	-88560,62
5	1244,48	732,05	512,43	376,65	-88183,97
<b>Днепропетровская область</b>					
1	835	440	395	395	-89605
2	918,5	484	434,5	402,31	-89202,68
3	1010,35	532,4	477,95	409,76	-88792,92
4	1111,38	585,64	525,74	417,35	-88375,56
5	1222,52	644,20	578,31	425,08	-87950,48
<b>АР Крым</b>					
1	1100	320	780	780	-89220
2	1210	352	858	794,44	-88425,55
3	1331	387,2	943,8	809,15	-87616,39
4	1464,1	425,92	1038,18	824,14	-86792,25
5	1610,51	468,51	1141,99	839,40	-85952,85

Резервные системы используются тогда, когда объект подключен к сети электроснабжения. Такие фотоэлектрические системы выступают резервным источником энергии при невозможности питания потребителей электрической энергией от сети электроснабжения. Удельная стоимость 1 кВт установленной мощности такой системы приблизительно такая же, как и автономной, и составляет 18-26 тыс. грн. Такую систему нужно использовать при частых и долговременных отключениях сети, к которой подключен объект.

На основании технико-экономического анализа автономных систем можно сказать, что установка резервных систем является абсолютно нецелесообразной с экономической точки зрения.

Резервно-сетевые системы представляют собой соединение резервной и безаккумуляторной системы в одну. В этой системе основным элементом выступает "гибридный" инвертор, который объединяет в себе функциональные возможности блока бесперебойного питания и сетевого инвертора. При использовании резервно-сетевых систем можно объединить преимущества и избежать недостатков при отдельном использовании резервной и сетевой систем. "Гибридные" инверторы не производятся в Украине и импортируются из других стран. Удельная стоимость 1 кВт установленной мощности такой системы составляет 18-26 тыс. грн. Принципиальная схема работы резервно-сетевой фотоэлектрической системы показана на рис. 3.

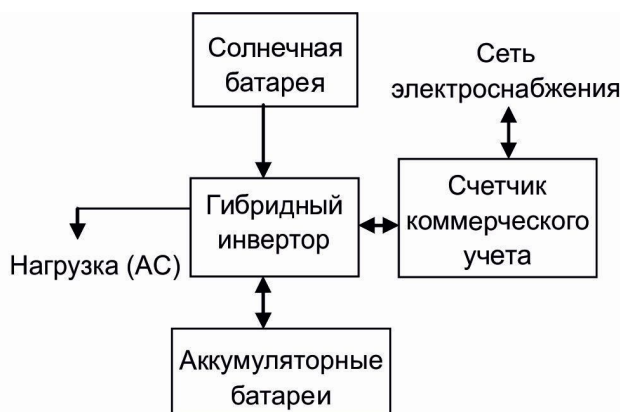


Рис. 3. Принципиальная схема резервно-сетевой фотоэлектрической системы.



Резервно-сетевые системы имеют ряд преимуществ, которые могут способствовать снижению их срока окупаемости, невзирая на достаточно высокую цену. Скорость окупаемости такой системы будет зависеть от сэкономленной электроэнергии вследствие генерации и использования ее на объекте и от количества избыточной энергии, которая поступает в сеть централизованного электроснабжения по цене "зеленого" тарифа. При этом, когда в холодные месяцы фотоэлектрическая установка генерирует недостаточное количество энергии для потребления на объекте, часть электроэнергии будет использоваться из сети электроснабжения.

В состав системы входят солнечные панели, один "гибридный" инвертор Prosolar PV Hybrid стоимостью 14000 грн, аккумуляторные батареи "ВЛАДАР" LS 12 130 типа GEL общего назначения, количество 4 шт., стоимость 8000 грн. Таким образом, общая стоимость системы с учетом затрат на ее монтаж составит приблизительно 57000 грн.

Использование аккумуляторных батарей обуславливается возможными авариями и отсутствием тока в сети электроснабжения для бесперебойного питания объекта электроэнергией.

КПД солнечных панелей принимается равным 15,5%, а КПД "гибридного" инвертора – 96%, КПД аккумуляторных батарей – 90%. Среднее дневное количество выработанной электрической энергии резервно-сетевой фотоэлектрической системой определяется по формуле:

$$W_{P-М.ФЭС.ДЕНЬ} = \eta_{СМ} \eta_{ГІ} \eta_{АВ} E_{С.М.ДЕНЬ} A_{СБ} k,$$

где  $W_{P-М.ФЭС.ДЕНЬ}$  – количество выработанной электрической энергии резервно-сетевой фотоэлектрической установкой за день, кВт·ч;  $\eta_{ГІ}$  – КПД "гибридного" инвертора.

В расчетах дисконтированных сроков окупаемости принято, что компоненты системы подобраны оптимально для расчетного объекта. Величина среднего дневного потребления электроэнергии объектом составляет 4 кВт·ч независимо от расположения установки по территории Украины.

На рис. 4 изображен график генерации электрической энергии резервно-сетевой системой по месяцам для Киевской, Днепропетровской обл. и АР Крым и график среднего дневного потребления электрической энергии объектом.

В табл. 4 приведены результаты технико-экономического анализа резервно-сетевой системы.

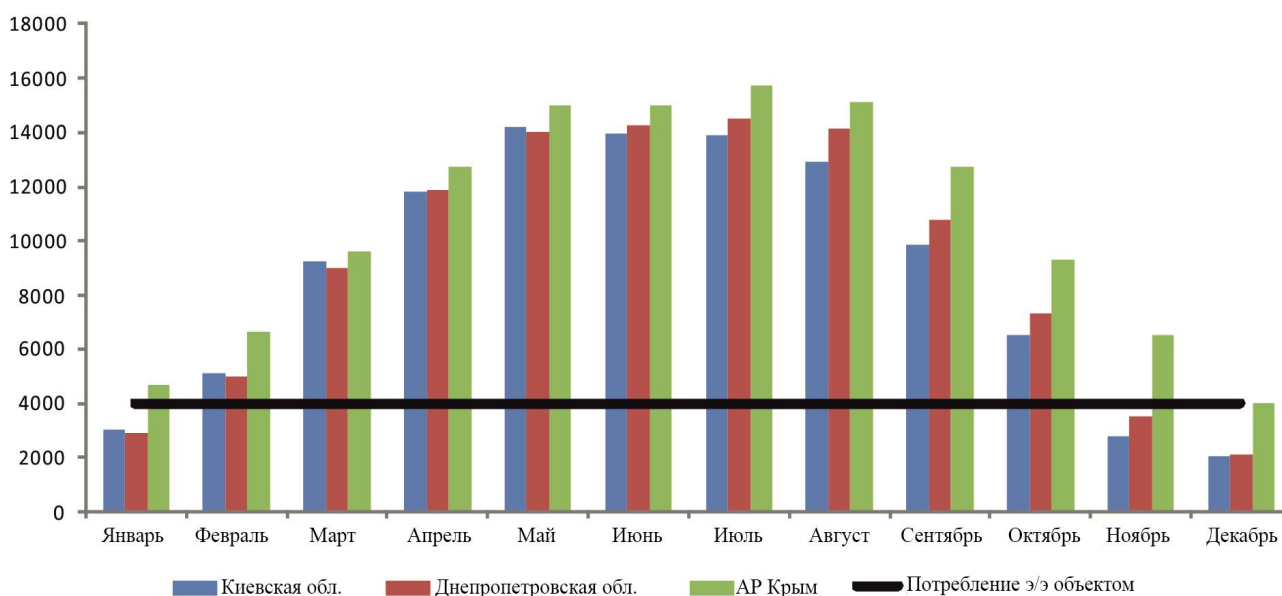


Рис. 4. График дневной генерации электрической энергии резервно-сетевой фотоэлектрической установкой.

Таблица 4. Технично-економический анализ резервно-сетевой фотоэлектрической системы

	Киевская область	Днепропетровская область	АР Крым
Коэффициент полезного действия установки, %	13,4		
Площадь солнечной батареи с учетом коэффициента заполнения, м <sup>2</sup>	17,7		
Экономия электроэнергии за год, грн	665	677	730
Общая годовая стоимость электроэнергии:			
– в период до 1.01.2015,	7330	7735	9400
– в период после 1.01.2015, грн/год	6575	6940	8435
Стоимость фотоэлектрической установки, грн	57000		
Дисконтированный срок окупаемости установки	11 лет 2 месяца	10 лет 3 месяца	7 лет 10 месяцев
Количество сэкономленного условного топлива, кг/год	1195	1242,4	1441,4

Как видно из результатов расчетов, срок окупаемости таких систем относительно небольшой, но все еще достаточный для внедрения таких фотоэлектрических систем.

**Выводы.** 1. Цены на фотоэлементы стремительно снижаются во всем мире, а их эффективность повышается с каждым годом благодаря активным исследованиям в этой отрасли.

2. Среди всех типов фотоэлектрических систем безаккумуляторные системы, соединенные с сетью централизованного электроснабжения, самые дешевые, самые простые и соответственно экономически привлекательные для инвестиционных проектов. При повышении мощности таких систем срок окупаемости снижается.

3. Автономные фотоэлектрические системы из-за относительно постоянной электрической нагрузки объекта имеют свойство терять значительную часть потенциально возможной выработанной электроэнергии. В свою очередь, безаккумуляторные и резервно-сетевые системы способны полностью реализовать свой потенциал.

4. Автономные системы необходимо эксплуатировать вместе с резервным источником питания, иначе их стоимость может быть достаточно значительной, при этом не гарантируется стабильность работы.

5. Резервно-сетевые системы, учитывая все преимущества, могут быть внедрены как основной источник энергоснабжения объекта.

6. Внедрение фотоэлектрических систем способствует экономии топливно-энергетических ресурсов и снижению выбросов вредных веществ в атмосферу.

1. Карпенко Д.С., Шкляр В.І., Дубровська В.В. Використання енергії сонця фотоелектричними системами // Міжнародна науково-технічна конференція "Енергоефективність – 2013". Тез. докл. – С. 103–104.

2. Про стимулювання виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії // Закон України від 16.10.1997 № 575/97-ВР з поточною редакцією від 01.07.2013 р. : [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/575/97-%D0%B2%D1%80/page>.

3. Про стимулювання енергозбереження // Закон України від 01.07.1997 № 74/94-ВР з поточною редакцією від 01.01.2013 р. : [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/74/94-%D0%B2%D1%80>.

4. Про стимулювання виробництва та споживання енергії, виробленої з альтернативних джерел // Закон України від 20.02.2003 № 555-IV з поточною редакцією від 21.10.2008 р. : [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/555-15>.

5. Лукутин Б.В., Суржикова О.А., Шандарова Е.Б. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении. – Москва; Энергоатомиздат, 2008. – 231 с.

6. Photovoltaic Education Network : [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://pveducation.org>.

7. Photovoltaic Geographical Information System : [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis>.