

тока. Также он измеряет гармонические колебания напряжения, силы тока и мощности до 250-го порядка

Если невозможно использовать настольные инструменты, компания Keysight предлагает целый ряд ручных приборов, например, ручные цифровые мультиметры серий U12xxA и токоизмерительные клещи серий U119xA.

#### **Мониторинг работы солнечного инвертора и выявление неполадок**

Первым признаком неисправности обычно является перегрев. А самый эффективный способ выявить превышение диапазона рабочих температур — это использование тепловизора. Тепловизор Keysight U5855A TrueIR позволяет выполнить быстрое сканирование солнечного инвертора для проверки его нормального функционирования.

#### **Интеллектуальные счетчики, трансформаторы и переключатели заземления: мониторинг и учет произведенной электроэнергии**

При проведении периодической проверки технического состояния солнечной фотогальванической системы важно убедиться в целостности соединений

и обмоток трансформаторов. Также необходимо проверить интеллектуальные счетчики и переключатели заземления. Любое повреждение этих компонентов может вывести из строя солнечную фотогальваническую систему и повлечь за собой трудоемкий процесс устранения неисправностей. Более того, это может привести к возникновению опасной ситуации для технического персонала. Обычно об угрозе возникновения неисправности свидетельствует чрезмерный перегрев.

В этой ситуации удобнее и безопаснее всего воспользоваться тепловизором, например, моделью Keysight U5855A TrueIR, и получить ИК-изображения находящихся под напряжением трансформаторов и соединений.

#### **Список литературы**

1. Лукас Меруан. Солнце станет главным источником электроэнергии к 2050 г. // Computerworld. 2014. №10. <http://www.osp.ru/news/articles/2014/39/13043340>.
2. Ларионов В.Р., Малевский Д.А., Покровский П.В., Румянцев В.Д. Измерительные комплексы для исследований солнечных фотоэлектрических преобразователей каскадного типа и концентраторных модулей на их основе // Журнал технической физики. 2015. Т. 85. Вып. 6.

*Рахматуллин Артур Марсович — инженер компании Keysight Technologies.  
Контактный телефон 8 (800) 500-92-86.  
[Http://www.keysight.ru](http://www.keysight.ru)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СОЛНЕЧНОЙ СТАНЦИИ В УСЛОВИЯХ ТУРКМЕНИСТАНА**

**А.Я. Джумаев (Государственный энергетический институт Туркменистана),  
Э.Д. Кадыров (ООО «ПСК «ИнжПром»)**

*На основе проведенных исследований эксплуатационных параметров фотоэлектрической солнечной станции мощностью 2 кВт, построенной в Государственном энергетическом институте Туркменистана, получены зависимости энергетических параметров станции в течение солнечного дня в разные времена года в различных погодных условиях. Определены оптимальные режимы работы станции и ожидаемый объем выработки электроэнергии солнечной станцией.*

*Ключевые слова: фотоэлектрическая солнечная станция, солнечная станция в условиях Туркменистана, эффективность.*

Развитие солнечной энергетики предполагает решение как фундаментальных научных проблем, так и прикладных задач. К этим задачам относятся, в частности, определение ресурсов возобновляемых источников энергии, создание методов расчета доступных потоков солнечной энергии и оптимальных режимов работы фотоэлектрических солнечных станций в различных условиях эксплуатации.

В работе [1] для оценки обеспеченности территории Туркменистана ресурсами солнечной энергии был проведен анализ статистических характеристик суточных сумм суммарной солнечной радиации. Появившиеся в последние годы новые источники метеорологической информации, основанные, в том числе на многолетних спутниковых наблюдениях за поверхностью земного шара, представляют более детальные актинометрические и метеорологические данные. В частности, значительно расширяет возможность

оценки ресурсов солнечной энергии открытый доступ к базе данных Национального агентства по аэронавтике и исследованию космического пространства США NASA SSE (NASA Surface meteorology and Solar Energy) (<http://wrdc.mgo.rssi.ru/>, <http://eosweb.lars.nasa.gov/sse/>).

В качестве технического потенциала солнечной энергии территории будем рассматривать в первом варианте расчета удельную выработку электрической энергии одним фотоэлектрическим преобразователем (ФЭП) заданной площади, работающим на сеть. Это наиболее простая оценка, поскольку не предусматривает использование дополнительных устройств аккумуляции электрической энергии, что необходимо при сооружении автономных систем электроснабжения. В этом случае технический потенциал солнечной энергии будет отличаться от природного уровня удельной инсоляции на величину, определяемую ко-

*Возобновляемый источник энергии в природе - Солнце, источник энергии возобновляемый Человека - Любовь.*

Е. Ханкин

Таблица

	130
	17,5
, А	7,43
	22
, А	7,96
, °	-40...85
	1485x666x40
	12

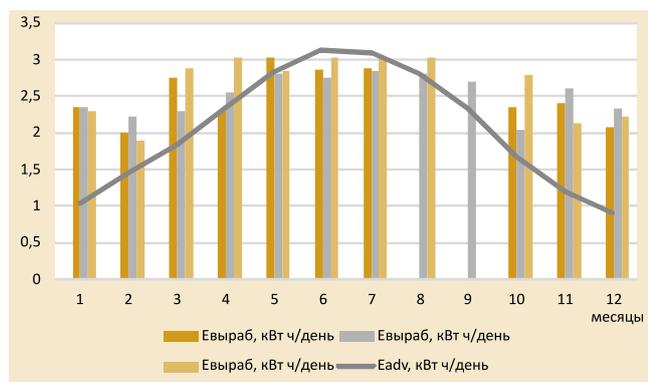


Рис. 1. Усредненная дневная выработка для группы из четырех ФЭП: кривая иллюстрирует расчетные значения на основе данных НАСА; столбчатая диаграмма – реальные измеренные значения выработки электроэнергии

эффицентом полезного действия ФЭП и промежуточных систем, обеспечивающих передачу энергию в сеть. Во втором варианте расчета предполагается, что система автономна и содержит в своем составе простейшие кислотно-свинцовые аккумуляторы.

Для ФЭП, работающих на электрическую сеть, энергию, произведенную ФЭП за определенный период времени, можно считать пропорциональной суммарной инсоляции ФЭП за этот период. Расчет проводился для фотоэлектрической панели, установленной на солнечной станции мощностью 2 кВт. Технические параметры солнечной панели представлены в таблице.

Усредненная дневная выработка электроэнергии  $E_{adv i}$  для группы из  $N_n$  ФЭП в  $i$ -м месяце определяется по формуле:

$$E_{adv i} = \eta_{inv} \eta_{pv} \cdot S_{ss} \cdot N_n E_i / 100,$$

где  $E_i$  — удельная инсоляция в  $i$ -м месяце (кВт·ч/м<sup>2</sup> день),  $\eta_{pv}$  и  $\eta_{inv}$  — КПД ФЭП и инвертора (%),  $S_{ss}$  — площадь одной фотоэлектрической панели (м<sup>2</sup>).

В случае сетевой энергоустановки при расчетах учитывается только КПД инвертора. В случае автономной установки предполагается обязательное присутствие в системе аккумулятора. Соответственно,

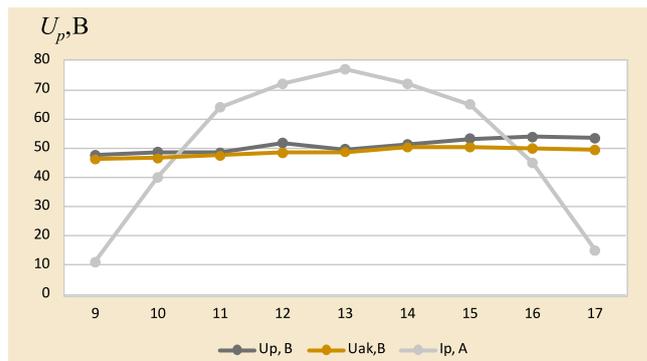


Рис. 2. Изменение энергетических параметров ФЭП

при расчетах необходимо учесть  $U_{dch}/U_{ch}$  — глубину разряда аккумулятора,  $\eta_{cont}$  и  $\eta_{inv}$  — КПД контроллера заряда и инвертора. Формула расчета  $E_{adv i}$  приобретает следующий вид:

$$E_{adv i} = \eta_{inv} \eta_{pv} \cdot \eta_{cont} S_{ss} \cdot N_n E_i (U_{dch}/U_{ch}) / 100.$$

Расчеты проводились для г. Мары с географическими координатами 37°60 северной широты и 61°80 восточной долготы на основе данных NASA для четырех панелей. Реальные измеренные значения выработки электроэнергии для группы из четырех фотоэлектрических панелей в разные дни одного месяца и результаты расчета представлены на рис. 1. Анализ рисунка показывает возможность использования данных из международных баз данных NASA для расчетов солнечной радиации в рассматриваемом районе.

В силу низкой энергетической плотности возобновляемых энергоресурсов и их крайней изменчивости, стоимость электроэнергии, получаемой от фотоэлектрических солнечных станций, в большинстве случаев превышает стоимость электроэнергии, получаемой традиционными способами. Это связано с относительно низкой величиной инсоляции и низким КПД ФЭП. Кроме того, отсутствие солнечного излучения в ночные часы и случайный характер интенсивности солнечного излучения в дневное время вынуждают аккумулировать поступающую электроэнергию, что также повышает ее стоимость.

Величина инсоляции по сезонам также различна. Низкие энергетические характеристики солнечного излучения в зимнее время требуют применения солнечных батарей повышенной мощности, что приводит к их нерациональному использованию в летний период. Очевидно, что для снижения стоимости электроэнергии, производимой фотоэлектрическими преобразователями, желательно уменьшать площади ФЭП, но для этого необходимо повысить их КПД. На практике повышение КПД ФЭП сопровождается повышением их стоимости. Следовательно, результирующее снижение стоимости производимой электроэнергии будет незначительно, то есть в Туркменистане стоимость энергии солнечной электростанции будет оставаться выше стоимости электроэнергии, вырабатываемой традиционным способом.

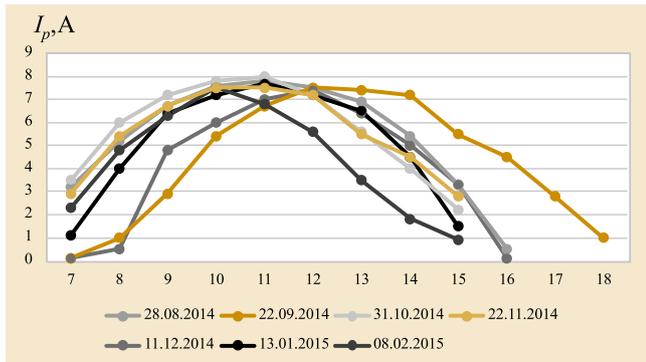


Рис. 3. Изменение тока на выходе ФЭП в разные времена года

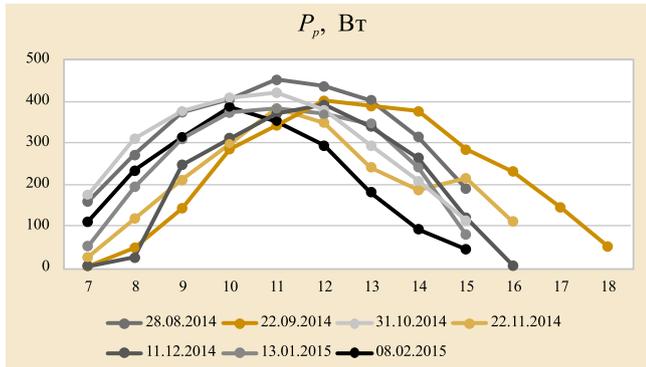


Рис. 4. Изменение мощности на выходе ФЭП в разные времена года

Снижение стоимости электроэнергии солнечной станции может быть достигнуто применением концентраторов солнечного излучения и систем слежения за Солнцем. Положительные результаты при этом достигаются не только за счет увеличения снимаемой с ФЭТ мощности, но и за счет увеличения производимой электроэнергии за равное календарное время.

Однако повышение коэффициента концентрации, увеличивая интенсивность солнечного излучения на ФЭП, может привести к их перегреву и, соответственно, к снижению его КПД. А в условиях Туркменистана ФЭП и в обычных режимах нагреваются до очень высоких температур. Принципиально эта проблема может быть разрешена путем отвода теплоты. На практике это пока неосуществимо, так как недостаточно исследованы не только устройства отвода теплоты от батарей ФЭП, но и отсутствует научно обоснованные зависимости КПД ФЭП от температуры, а также зависимости температуры под концентратором от его параметров и характеристик солнечного излучения.

Система слежения за солнцем позволяет эффективно использовать установку в течение светового дня. В государственном энергетическом институте Туркменистана было сконструировано устройство слежения за солнцем и проведены исследования, которые показали, что коэффициент использования энергии

солнечного излучения увеличивается в 1,4 раза в зимние месяцы и в 1,9 раза в летние [2]. Количество электрической энергии, производимой этой установкой в течение одного дня при фиксированном и следящем режиме соответственно, были равны 3,68 Вт·ч и 7,22 Вт·ч. Однако применение системы слежения привело к увеличению потребления электроэнергии на ее привод. В результате эффективность солнечной электростанции для маломощных потребителей существенно снижается.

В государственном энергетическом институте Туркменистана построена фотоэлектрическая солнечная станция на 2 кВт, состоящая из 16 фотоэлектрических солнечных панелей по 130 Вт. В оборудование станции также входят восемь аккумуляторных батарей по 200 Ач, контроллер заряда и инвертор, обеспечивающий преобразование постоянного низковольтного напряжения к промышленному сетевому стандарту. Проведены исследования эксплуатационных параметров фотоэлектрической станции в разные времена года при различных нагрузках. Измерения проводились на последовательно соединенных четырех фотоэлектрических панелях, при этом также контролировались их дневные температуры. Графики изменения технических параметров ФЭП в течение солнечного дня в зимнее время показаны на рис. 2. На рис. 3-4 представлены изменения тока и мощности на выходе ФЭП в разные месяцы при солнечной погоде. Влияние климатических условий можно оценить по графикам, полученным в результате измерений энергетических параметров ФЭП в разные дни при различных климатических условиях.

Полученные данные показали, что сезонные изменения при солнечной погоде не оказывают существенного влияния на величину тока, генерируемого ФЭП, хотя температура панелей в летнее время поднимается до 70 °С и выше. Однако изменение генерируемой мощности в течение года составляет порядка 20...25%.

Результаты исследования и полученные данные могут быть использованы для разработки дорожной карты развития солнечной энергетики в Туркменистане, в частности, для определения места для построения фотоэлектрической солнечной станции большой мощности, составления бизнес-модели для этой станции и для определения местного производственного потенциала.

#### Список литературы

1. Стребков Д.С., Пенджиев А.М., Мамедсахатов Б.Д. Развитие солнечной энергетики в Туркменистане. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2012. 496 с.
2. Jumayev A., Sariyev K. Research of the optimum operating mode of photo- electric solar station under the conditions of Turkmenistan. The 9 th International Conference on Electrical and Control Technologies, May 8-9, 2014.

*Джумаев Аганияз Ягшиевич — канд. физ.-мат. наук, проректор по научной работе Государственного энергетического института Туркменистана,*

*Кадыров Энвер Джумагелдиевич — канд. техн. наук, директор ООО «ПСК «ИнжПром».*

*Контактный телефон +7 812 9189217.*

*E-mail: engindas@engindas.ru*