

УДК 332.362:330.15

## ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В РЕГИОНАХ ТУРКМЕНИСТАНА

**А. Я. ДЖУМАЕВ**

*Государственный энергетический институт  
Туркменистана, г. Мары*

*Дан анализ энергетического потенциала солнечной радиации в регионах Туркменистана. На основе проведенных расчетов солнечной радиации в регионах Туркменистана получена оценка количества солнечной энергии, поступающей на поверхность солнечной панели. Определены оптимальные углы наклона для солнечных панелей.*

**Ключевые слова:** солнечная радиация, оптимальная ориентация, фотоэлектрическая солнечная станция, выработка электроэнергии, автономное энергоснабжение.

## THE POSSIBILITIES OF USING SOLAR ENERGY IN THE REGIONS OF TURKMENISTAN

**A. Y. DZHUMAEV**

*State Power Institute of Turkmenistan, Mary*

*The article presents the analysis of the energy potential of solar radiation in the regions of Turkmenistan. Based on the calculations of solar radiation in the regions of Turkmenistan, an estimate of the amount of solar energy entering the surface of the solar panel was obtained. Optimal tilt angles for solar panels have been determined.*

**Keywords:** solar radiation, optimal orientation, photovoltaic solar station, power generation, autonomous power supply.

### **Введение**

Природно-климатические условия Туркменистана исключительно благоприятны для широкого использования альтернативных источников энергии, таких как солнечная и ветровая, при производстве электроэнергии и тепла. Это прежде всего относится к пустынной части территории, удаленной от культурной зоны, в которой нет энергетических и водных источников. Вовлечение потенциальных ресурсов пустынной территории в развитие сельского хозяйства возможно двумя методами: индустриальным и методом автономных микрокомплексов.

Большая часть пустынной территории страны в настоящее время и в будущем может быть использована только как пастбище для отгонного животноводства, представляющего собой большое количество распределенной по огромной территории мелких потребителей энергии и пресной воды. В связи с этим разработка новых форм и методов оптимального использования пустынной территории страны на основе достижений научно-технического прогресса имеет сегодня важное народнохозяйственное значение [6].

Солнечная энергетика – это отрасль науки и техники, разрабатывающая научные основы, методы и технические средства использования энергии солнечного излучения на Земле и в космосе для получения электрической, тепловой, а также других видов энергии и определяющая области и масштабы эффективного использования энергии в экономике страны.

На всю поверхность Земли приходится около  $(0,85-1,2)10^{14}$  кВт, или  $(7,5-10)10^{17}$  кВт · ч/год при среднем удельном поступлении солнечного излучения  $200-250$  Вт/м<sup>2</sup> или  $1752-2190$  кВт · ч/(м<sup>2</sup> · год) [2]. При этом диапазон удельного прихода солнечного излучения на Землю меняется весьма значительно как во времени, так и по ее территории:  $170-1000$  Вт/м<sup>2</sup>, или  $17-100 \cdot 10^4$  кВт · ч/км<sup>2</sup>. Приход всех прочих видов энергии составляет всего  $19$  кВт/км<sup>2</sup>, что говорит об огромных возможностях солнечного излучения на Землю [2]. Если принять, что мощность всех видов энергоустановок на Земле составляет сегодня около  $10$  ТВт, или  $10 \cdot 10^9$  кВт, то мощность солнечного излучения превышает современные потребности человечества в тысячи раз [2].

Экономически целесообразное применение технологии фотоэлектрического преобразования солнечной энергии возможно при обоснованной оценке генерируемой и потребляемой мощностей, а также оптимальном соотношении используемых источников энергии для электроснабжения объектов и территорий [3]. Это можно спрогнозировать и осуществить, используя достоверные данные о потенциале солнечной энергии в заданной географической точке, с учетом непостоянства его проявления (в частности прихода солнечной радиации), а также многовариантности расположения источников генерации на рассматриваемой территории.

Получить достоверную информацию об инсоляции можно, например, на метеорологических станциях, однако она может быть ограничена только местом их расположения. Кроме того, интенсивность потока солнечного излучения можно определить расчетными методами, но они трудоемкие и требуют дополнительной верификации результатов.

Поэтому для первичной оценки технической возможности и экономической целесообразности использования технологии фотоэлектрического преобразования солнечной энергии необходимо получить достоверные данные об интенсивности солнечного излучения в каждый момент времени в заданной точке размещения солнечной электроустановки.

Цель данного исследования – определить, какие районы страны испытывают недостаток электроэнергии (из-за высоких потерь в сети или удаленности от сети центрального электроснабжения), а также в каких районах в качестве дополнительного источника можно использовать солнечную энергию.

Постановлением Президента Туркменистана от 21 февраля 2018 г. утверждена Государственная программа по энергосбережению на 2018–2024 годы. Государственная программа по энергосбережению содержит специальное приложение «План мероприятий (дорожная карта) по реализации Государственной программы по энергосбережению на 2018–2024 годы». В плане мероприятий можно перечислить следующие пункты, которые очень важны для развития солнечной энергетики в Туркменистане. Например, п. 1: «Подготовить проект Закона Туркменистана о возобновляемых источниках энергии и представить на рассмотрение в Меджлис Туркменистана. Срок выполнения 2018–2020 гг.»; п. 4: «Подготовить предложения по выбору места расположения солнечных и ветровых станций на территории Туркменистана, разработать кадастр солнечной и ветровой энергии и оценку ресурсов солнечной и ветровой энергии. Срок выполнения 2018–2021 гг.»; п. 28: «Подготовить предложения по использованию экспериментальных солнечных станций в регионах Туркменистана. Срок выполнения 2024 г.» [1].

### Метод исследования

Солнечная энергетика в последнее время довольно часто используется для обеспечения электроснабжения разнообразных объектов, расположенных как в крупных городах, так и небольших городских и сельских поселениях. Это в первую очередь связано с необходимостью снижения загрязнения окружающей среды при производстве электрической энергии, а также появившимся требованием к увеличению доли используемых местных энергоресурсов.

Предполагается, что реализация Государственной программы по энергосбережению на 2018–2024 годы приведет к положительным социально-экономическим и экологическим последствиям:

- ускорению развития производства, организации рынка технологий и устройств альтернативных источников энергии;
- активизации исследований по изучению свойств и учету ресурсов альтернативных источников энергии;
- обеспечению более устойчивого тепло- и электроснабжения предприятий и населения;
- созданию в отдельных районах страны автономных энергосистем с максимальным использованием местных ресурсов альтернативных источников энергии;
- созданию энергетических объектов с использованием альтернативных источников энергии в дефицитных энергосистемах централизованного энергоснабжения для обеспечения гарантированного минимума энергоснабжения населения и предприятий;
- частичному замещению традиционных органических видов топлива и сокращению завоза топлива в отдаленные районы страны;
- улучшению состояния окружающей среды страны вследствие сокращения или хотя бы предотвращения увеличения объема вредных выбросов предприятий традиционной энергетике.

Методы расчета валового потенциала солнечной энергии основаны на общеизвестном принципе: данные, приведенные для расположенной горизонтально приемной поверхности для точки с определенными географическими координатами, пересчитываются по эмпирическим формулам, предложенным в специальной литературе на произвольно ориентированную поверхность. Выбор методики расчета зависит от имеющихся исходных данных и условий работы рассматриваемой электроэнергетической установки [4]. Методы расчета валовых ресурсов солнечной энергии в произвольной точке на горизонтальной поверхности делятся на методы при ограниченном объеме информации и при наличии полной информации. Каждый из них обладает своими достоинствами и недостатками. В [5] предложена методика, которая сочетает в себе эти подходы и представлена в виде компьютерной программы оценки потенциала солнечной энергии в заданной точке. В расчетах автором была использована данная методика, позволяющая на основе комбинации метода применения дневного профиля поступления солнечной радиации при абсолютно чистом небе и актинометрических данных из электронной базы NASA. При помощи данной методики автором были рассчитаны значения интенсивности солнечной радиации для городов в регионах Туркменистана.

Если солнечные батареи устанавливаются под некоторым углом  $\beta$  к горизонту, то среднемесячное дневное суммарное количество солнечной энергии, поступающее на наклонную поверхность, может быть найдено по формуле [2]:

$$E_n = RE,$$

где  $R$  – отношение среднемесячных дневных количеств солнечной радиации, поступающей на наклонную и горизонтальную поверхности;  $E$  – среднемесячное дневное суммарное количество солнечной энергии, поступающей на горизонтальную поверхность.

Коэффициент пересчета с горизонтальной плоскости на наклонную с южной ориентацией равен сумме трех составляющих, соответствующих прямому, рассеянному и отраженному солнечному излучению:

$$R = \left(1 - \frac{E_p}{E}\right) R_n + \frac{E_p}{E} \cdot \frac{1 + \cos\beta}{2} + \rho \frac{1 - \cos\beta}{2},$$

где  $E_p$  – среднемесячное дневное количество рассеянного солнечного излучения, поступающего на горизонтальную поверхность;  $\frac{E_p}{E}$  – среднемесячная дневная доля рассеянного солнечного излучения;  $R_n$  – среднемесячный коэффициент пересчета прямого солнечного излучения с горизонтальной на наклонную поверхность;  $\beta$  – угол наклона поверхности солнечной батареи к горизонту;  $\rho$  – коэффициент отражения (альбедо) поверхности Земли и окружающих тел, обычно принимаемый равным 0,7 для зимы и 0,2 для лета.

Среднемесячный коэффициент пересчета прямого солнечного излучения с горизонтальной на наклонную поверхность:

$$R_n = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cos\delta \cdot \sin\omega_{\text{зн}} + \frac{\pi}{180} \omega_{\text{зн}} \cdot \sin(\varphi - \beta) \sin\delta}{\cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \sin\omega_3 + \frac{\pi}{180} \omega_3 \cdot \sin\varphi \cdot \sin\delta},$$

где  $\varphi$  – широта местности, град;  $\beta$  – угол наклона солнечной батареи к горизонту, град;  $\omega_3$  – часовой угол захода (восхода) Солнца для горизонтальной поверхности:

$$\omega_3 = \arccos(-\operatorname{tg}\varphi \cdot \operatorname{tg}\delta);$$

$\omega_{\text{зн}}$  – часовой угол захода Солнца для наклонной поверхности с южной ориентацией:

$$\omega_{\text{зн}} = \arccos[-\operatorname{tg}(\varphi - \beta) \operatorname{tg}\delta];$$

$\delta$  – угол наклона Солнца (угол между линией, соединяющей центры Земли и Солнца, и ее проекцией на плоскость экватора) в средний день месяца, град:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(360 \frac{284 + n}{365}\right),$$

$n$  – порядковый номер дня, отсчитанный от 1 января (номер среднего расчетного дня для каждого месяца года).

Значения угла наклона Солнца  $\delta$  приведены в табл. 1.

Таблица 1

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
<i>n</i>	17	47	75	105	135	162	198	228	258	288	318	344
$\delta$ , град	-20,9	-13	-2,4	9,4	18,8	23,1	21,2	13,5	2,2	-9,6	-18,9	-23

### Результаты исследования и их обсуждение

Приоритетными местами для размещения и использования альтернативных источников энергии согласно государственной программе являются:

– зоны децентрализованного энергоснабжения, где из-за низкой плотности населения сооружение традиционных электростанций и высоковольтных линий электропередач экономически невыгодно или практически неосуществимо;

– зоны централизованного энергоснабжения, где из-за неудовлетворительного состояния сетей либо дефицита мощности или энергии возникают частые отключения потребителей, что приводит к значительному экономическому ущербу и негативным социальным последствиям;

– населенные пункты и места массового отдыха населения, где из-за вредных выбросов в атмосферу промышленных и городских котельных на органическом топливе создается сложная экологическая обстановка;

– населенные пункты и места временного пребывания людей, где существует проблема отопления, электроснабжения и горячего водоснабжения индивидуального жилья, места сезонной работы и отдыха, садово-огородных участков, индивидуального жилья и временных строений.

В табл. 2 представлены следующие данные: географические координаты городов в регионах Туркменистана и соответствующие им годовые значения интенсивности солнечной радиации, поступающей на поверхность солнечной батареи, которая наклонена относительно горизонтальной поверхности на оптимальный угол наклона  $\beta$ , а также оптимальные углы наклона для соответствующих городов. Оптимальный угол наклона  $\beta$  и значения интенсивности солнечной радиации, поступающей на поверхность солнечной батареи, определяются из рис. 1.

Таблица 2

Область в Туркменистане	Город	Географические координаты, град		Оптимальный угол наклона $\beta$ , град	Среднегодовая интенсивность инсоляции на наклонную поверхность солнечной батареи, кВт · ч/м <sup>2</sup>
		Северная широта	Восточная долгота		
Ахал	Ашхабад	37,9	58,3	36	1825,455
Мары	Мары	37,6	61,8	36	1897,407
Лебап	Туркменабат	39,1	63,6	36	1875,814
Дашогуз	Дашогуз	41,8	59,8	31	1855,527
Балкан	Балканабат	39,5	54,4	40	1819,882

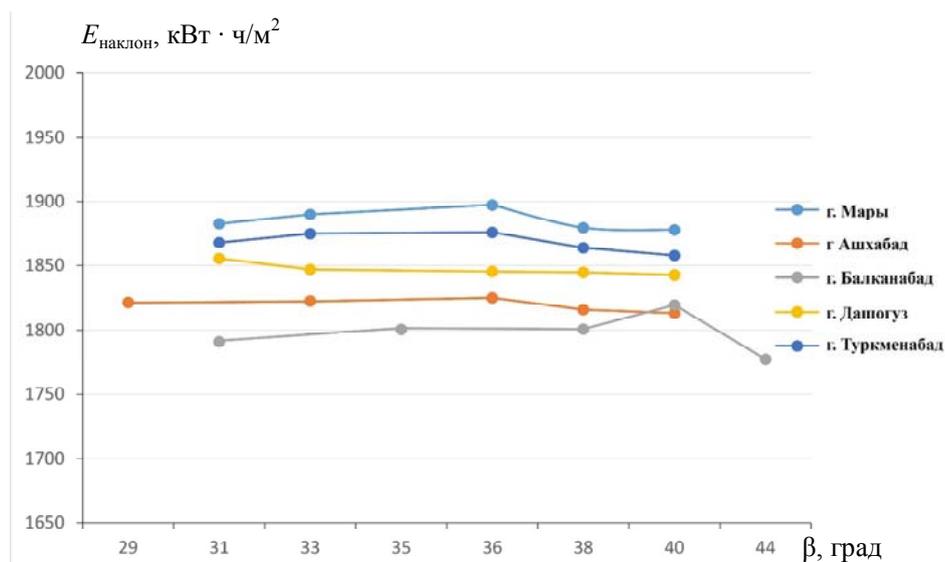


Рис. 1. Среднегодовые значения интенсивности солнечного излучения, поступающего на наклонную поверхность солнечной батареи при различных углах наклона к горизонту для городов в регионах Туркменистана

Интенсивность солнечной радиации, поступающей на поверхность солнечной батареи, наклоненной относительно горизонта на оптимальный угол территории Туркменистана, изменяется от 1819,882 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год для г. Балканабат до 1897,407 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год для г. Мары.

Измерим районы Ахалской области на предмет возможностей и целесообразности установки солнечных электростанций в частном секторе, а также рассмотрим возможность использования солнечных электростанций в населенных пунктах, изолированных от центрального энергоснабжения. В табл. 3 приведены данные среднегодовых значений интенсивности солнечного излучения, поступающего на наклонную поверхность солнечной батареи при различных углах наклона к горизонту для районов Ахалской области.

Таблица 3

Область в Туркменистане	Район	Географические координаты, град		Среднегодовая интенсивность инсоляции на наклонную поверхность солнечной батареи, кВт·ч/м <sup>2</sup>	
		Северная широта	Восточная долгота	Угол наклона	
				$\beta = 36^\circ$	$\beta = 38^\circ$
Ахал	Гокдепе	38,2	58,0	1803,932	1802,125
	Бахерден	38,4	57,4	1789,887	1785,711
	Ашхабад	37,9	58,3	1825,455	1816,144
	Теджен	37,4	60,5	1844,2	1827,226

На наш взгляд, в населенных пунктах, указанных в табл. 2, целесообразно использовать альтернативные источники энергии, в частности солнечные электростанции. Установка систем возможна с привлечением бюджетных средств в рамках реализации государственной программы в области развития альтернативной энергетики.

### Заключение

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. При помощи предложенной методики были рассчитаны среднегодовые интенсивности солнечной радиации, поступающей на наклонную поверхность солнечной батареи при различных углах наклона к горизонту для городов в регионах Туркменистана и определены оптимальные углы наклона.

2. Было проведено сравнение расчетной инсоляции в каждой из них, и результаты расчета показали, что среднегодовая интенсивность солнечной радиации, поступающей на поверхность солнечной батареи, наклоненной относительно горизонта на оптимальный угол, на территории Туркменистана изменяется от 1819,882 до 1897,407 кВт · ч/м<sup>2</sup> в год.

3. Рассмотрены районы Ахалской области на предмет возможностей и целесообразности установки солнечных электростанций в частном секторе, а также изучены возможности использования солнечных электростанций в населенных пунктах, изолированных от центрального энергоснабжения.

### Литература

1. Türkmenistanyň Prezidentiniň Karary bilen tassyklanan «Energiýany tygşytlamagyň 2018–2024-nji ýyllar üçin Döwlet maksatnamasy». – Aşgabat, 2018ý.
2. Солнечная энергетика : учеб. пособие для вузов / В. И. Виссарионов [и др.] ; под ред. В. И. Виссарионова. – М. : МЭИ, 2008. – 276 с.
3. Харченко, В. В. Микросети на основе ВИЭ: концепция, принципы построения, перспективы использования / В. В. Харченко // Энергия: экономика, техника, экология. – 2014. – № 5. – С. 20–27.
4. Методы расчета ресурсов возобновляемых источников энергии : учеб. пособие / А. А. Бурмистров [и др.] ; под ред. В. И. Виссарионова. – М. : МЭИ, 2009. – 144 с.
5. Daus, Yu. V. Evaluation of Solar Radiation Intensity for the Territory of the Southern Federal District of Russia when Designing Microgrids Based on Renewable Energy Sources / Yu. V. Daus, V. V. Kharchenko, and I. V. Yudaev // Applied Solar Energy. – 2016. – Vol. 52, No. 2. – P. 151–156.
6. Использование солнечной энергии / под ред. Л. Е. Рыбаковой. – Ашхабад : Ылым, 1985. – 280 с.

*Получено 10.09.2020 г.*