

УДК 621.311

DOI: 10.17212/1814-1196-2020-1-189-203

Оценка энергетического потенциала солнечной радиации региона с применением солнечного трекера*

В.З. МАНУСОВ^{1,a}, Д.Ж.С. АХЪЁЕВ^{2,b}, М.Х. НАЗАРОВ^{1,c}, И.Н. ОДИНАЕВ^{3,d},
М.Х. САФРАЛИЕВ^{3,e}

¹ 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет

² 730092, РТ, г. Душанбе, ул. Академиков Раджабовых, 10, Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

³ 620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

^a manusov36@mail.ru ^b javod_66@mail.ru ^c musso-6556@mail.ru

^d ismoil.odinaev@urfu.ru ^e murodbek_03@mail.ru

Приведены результаты исследований, доказывающие большой потенциал возобновляемых и альтернативных источников энергии республики Таджикистан, в том числе солнечной энергии, равный 25 млрд кВт·ч в год. Ограниченное использование «зеленой энергетики» ведет к периодическим отключениям электропотребителей в осенне-зимний период. Для устранения возникающего дефицита электроэнергии требуется более полное представление о потенциале солнечной энергетики. В работе дана оценка энергетического потенциала солнечной радиации в регионах Памира и Юга Таджикистана. Представлена математическая модель для определения максимального значения величины азимутального угла для региона Памира. Предложены выражения для оценки функционирования двух систем и приращения солнечной радиации и энергетического потенциала с учетом продолжительности дневной освещенности. Проведены измерения и выполнены расчеты месячного, сезонного и годового уровней солнечной радиации на основе применения двух технических систем. Показано, что энергоэффективность двуслойной системы слежения (ДСС) значительно превышает эффективность фиксированной системы (ФС) особенно в осенний, весенний и летний сезоны года. Дан сравнительный анализ выработки солнечной энергии и эффективности двух систем с применением солнечного трекера для двуслойной системы слежения и фиксированной системы. Показано, что годовая производительность двуслойной системы солнечного трекера по сравнению с фиксированной системой в среднем на 44 % выше. В осенний период подвижная система может выработать на 80 % больше энергии относительно стационарного расположения солнечных панелей. Оценивание солнечного потенциала регионов Таджикистана доказывает целесообразность использования данного потенциала как подходящего ресурса для развития энергетики, дополняя гидрогенерацию.

Ключевые слова: солнечная радиация, солнечная энергия, солнечный трекер, энергетический потенциал, двуслойная система слежения, фиксированная система, регионы Таджикистана, географические координаты

* Статья получена 20 сентября 2019 г.

ВВЕДЕНИЕ

Республика Таджикистан расположена в северной части субтропической зоны Центральной Азии, где климат характеризуется интенсивной солнечной радиацией, малой облачностью и сухим воздухом, при этом солнечная радиация является существенным фактором, определяющим характерный климат страны. Обычно зимний период непродолжителен, и достаточно быстро наступает дождливая весна, переходящая в лето с небольшим количеством осадков или почти без осадков в течение нескольких месяцев. Благодаря резким сезонным и суточным изменениям климатических показателей страна обладает большим потенциалом возобновляемых и альтернативных источников энергии, т. е. «зеленой энергии».

В связи с ростом населения и улучшения уровня жизни во многих развивающихся странах, таких как Индия, Пакистан и Узбекистан, в последнее десятилетие наблюдается значительное увеличение потребления электрической энергии (ЭЭ) [1]. Таджикистан обладает огромным потенциалом возобновляемой и альтернативной энергии, в том числе солнечной энергии, равным 25 млрд кВт·ч/год, и гидроэнергетическим потенциалом, составляющим 53 % от всех энергоресурсов Центральной Азии. Однако из-за ограниченного использования «зеленой энергетики» и значительных потерь в линиях электропередачи электрических сетей общая генерируемая мощность не покрывает фактическую потребность в электроэнергии. В результате 70 % населения испытывает дефицит электроэнергии, который составляет 3,0...3,5 ГВт·ч. Это приводит к регулярным отключениям электропотребителей преимущественно в период с октября по апрель [2].

Увеличение населения и улучшение качества жизни привели к росту спроса на электроэнергию. Для устранения дефицита электроэнергии, а также для снижения вредных выбросов при использовании углеводородного топлива солнечная энергетика является подходящим альтернативным источником энергии, который позволяет избежать вышеперечисленных проблем. Более того, использование углеводородного топлива, как известно, оказывает негативное влияние на окружающую среду – выбросы SO_2 , NO_2 и твердых частиц тяжелых металлов. Такие выбросы могут привести не только к изменению регионального климата, но также могут вызывать кислотные дожди и глобальное потепление [3]. Следовательно, «зеленая генерация» необходима в поисках устойчивых и экологически чистых альтернативных источников энергии, таких как солнечная энергетика, гидроэнергетика, ветроэнергетика и другие.

Использование солнечной энергии помимо расширения диапазона регулирования генераторов электрических станции может также играть ключевую роль в зимний период, когда приток воды на гидроэлектростанциях достигает своего минимума и снижает уровень загрязнения воздуха за счет сокращения выбросов парниковых газов. Все вышеприведенные факторы подтверждают преимущество использования солнечной энергии в Республике Таджикистан, однако для ее практической реализации еще требуются дополнительные исследования.

Критический обзор технических систем слежения (СС) за солнечной траекторией показывает, что разработаны и опробованы различные варианты СС, имеющие свои достоинства и недостатки по отношению к эффективно-

сти и стоимости генерации электроэнергии [4–11]. Эффективность систем во многом зависит от времени года и географического расположения устройств [12]. В настоящее время наиболее эффективным способом слежения является двусная система слежения, позволяющая повысить эффективность использования солнечной энергии. Принцип действия таких систем основан на отслеживании траектории солнца для поддержания оптимального угла, например, при котором луч солнца перпендикулярен поверхности панели. Двусная система слежения, состоящая из двух осей вращения, которые обеспечивают фотоэлектрической панели (ФЭП) слежение за направлением солнечных лучей в течение всего периода времени [13,14]. Другим важным фактором, от которого зависит функционирование солнечного трекера – ДСС, является степень освещенности солнечной радиацией, т. е. мера общего количества солнечного света, поглощенная ФЭП на суточном интервале от рассвета до заката. Очевидно, что ДСС обладает преимуществом по поглощению солнечной радиации по сравнению с фиксированной системой (ФС).

В настоящей работе на основе экспериментальных измерений выполнен сравнительный анализ поглощения солнечной радиации между системами ДСС и ФС для оценки солнечного потенциала южных регионов Таджикистана.

МЕТОДОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

Солнечное спектральное излучение состоит из различных видов и форм, а именно: радиоволн, видимого света, инфракрасного излучения, ультрафиолетового и рентгеновского излучения. Для расчета солнечной энергии нужно учесть количество солнечной радиации, попадающей на поверхности фотоэлектрической панели, для чего были учтены такие факторы: угол азимута, высоты солнца, широта местности, угол склонения, расположение устройства и другие. Для оценивания потенциала солнечной энергии в исследовании были использованы два вида систем слежения, описанных выше. Известно, что ежедневное движение солнца происходит не только по направлению с востока на запад, но также с изменением времени года наблюдается изменения траектории с севера на юг. Следовательно, для сохранения оптимального угла между ДСС и солнечными лучами система должна включать в себя механизмы, позволяющие поддерживать вращение системы по двум осям. Благодаря независимому вращению осей ФЭП поглощает максимальное количество солнечной радиации, преобразуемой в электроэнергию. Прототип предложенного устройства представлен на рис. 1. Особое внимание уделено расположению устройства, чтобы обеспечить отсутствие деревьев или зданий, блокирующих попадание солнечной радиации на поверхность панели.

Из названия системы следует, что ФС является неподвижной и направлена в определенную сторону, под определенным углом, не учитывая движение солнца. Следовательно, при применении этой системы снижается эффективность использования солнечной радиации, особенно в утренние и вечерние часы, когда угол между панелью и солнечной радиацией достигает своего максимума [15].



Рис. 1. Устройство двусной системы слежения

Fig. 1. The structure of the biaxial tracking system

Для двусной и фиксированной систем применены фотоэлектрические панели типа «aleo S19_300». Технические характеристики панели сведены в табл. 1.

Таблица 1

Table 1

Технические характеристики фотоэлектрической панели «aleo S19_300»

Technical characteristics of the photovoltaic panel “aleo S19_300”

Номинальная мощность, Вт	300, (0 ~ +4,99)
Точность измерения, %	-3/+3
Номинальное напряжение, В	31,2
Номинальный ток (I_n), А	9,63
Ток короткого замыкания ($I_{кз}$), А	9,97 А
Напряжение холостого хода ($U_{хх}$), В	39,4
Размеры (д × ш × в), мм	1660 × 990 × 50
Вес, кг	20 кг
КПД панели	18,3 %

Измерения проводились по стандартным условиям для тестирования: 1000 Вт/м²; 25 °С; АМ 1.5.

В эксперименте использовано устройство ДСС, предложенное в [16]. Способ подключения к сети производится гибким кабелем. Кроме того, установка состоит из редукторов, двигателей постоянного тока с соответствующими датчиками. При исследовании производилась ежечасная запись солнечной радиации для всех четырех времен года: весна (март–май), лето

(июнь–август), осень (сентябрь–ноябрь) и зима (декабрь–январь) за 2018 г. Для оценивания эффективности были рассчитаны и сопоставлены средние значения почасовой солнечной радиации для двуслойной и фиксированной систем, полученные в разное время года.

Углы восхода солнца (Sunrise) ω_{sr} и захода солнца (Sunset) ω_{ss} по солнечному времени определяются следующими выражениями:

$$\begin{aligned}\omega_{sr} &= -\arccos[-\operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \delta], \\ \omega_{ss} &= \arccos[-\operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \delta],\end{aligned}\quad (1)$$

где φ – широта местности в точке размещения солнечной установки; δ – угол склонения солнца, град.

Угол склонения, в свою очередь, равен

$$\delta = 23,45 \sin \left[\frac{360}{365} (N + 284) \right], \quad (2)$$

где N – текущий номер дня с начала календарного года.

Угол высоты солнца над горизонтом h определяется следующим образом:

$$h = 90 - \varphi + \delta, \text{ град.} \quad (3)$$

Азимутальный угол положения солнца Az определяется по нижеприведенной формуле [17–21]

$$Az = \arccos \left(\frac{\sin h \cdot \sin \varphi - \sin \delta}{\cos h \cdot \cos \varphi} \right). \quad (4)$$

Подставляя в (4) значение угла высоты солнца над горизонтом $h = 0^\circ$, что соответствует моментам восхода или захода (заката) солнца, можно найти максимальное значение величины азимутального угла.

Например, для региона Памира, географические координаты которого соответствуют $37,5^\circ$ северной широты и $71,5^\circ$ восточной долготы, по формулам (1)–(4) получены следующие значения углов: для летнего солнцестояния (21 июня, 171 календарный день года) азимутальный угол восхода (захода) равен $Az = 120^\circ$, тогда угол высоты солнца над горизонтом в полдень будет составлять $h = 76^\circ$. Соответственно для фотоэлектрической станции, территориально расположенной в районе Памира, требуется следящая система со следующими рабочими диапазонами перемещения: 240° по азимуту и 80° по наклону солнечных панелей.

Оценка эффективности функционирования (η) двух систем и приращение солнечной радиации (ΔE) определены с использованием выражений

$$\Delta E = E_{\text{ДСС}} - E_{\text{ФС}}; \quad (5)$$

$$\eta = \frac{\Delta E}{E_{\text{ФС}}} 100 \%. \quad (6)$$

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В пасмурные дни лучи солнечной радиации блокируются облаками, в результате происходит изотропное распределение рассеянной радиации по небу. Следовательно, по сравнению с наклонной панелью на поверхность горизонтально расположенной панели приходится большее количество рассеянной радиации. Однако в ясный солнечный день лучевые составляющие солнечной радиации играют ключевую роль, позволяют повысить эффективность использования ДСС, так как 90 % солнечной радиации состоит из лучевых составляющих. Учитывая, что каждый месяц состоит из той или иной комбинации ясных и пасмурных дней в зависимости от сезона, в течение года были рассчитаны средние значения солнечной радиации для четырех сезонов: весны, лета, осени и зимы. Результаты измерений и расчетов даны на рис. 2–5.

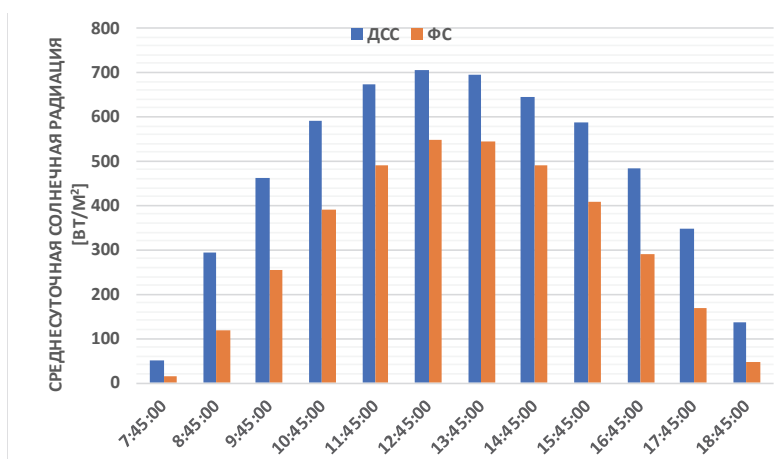


Рис. 2. Среднесуточная солнечная радиация в весенний период

Fig. 2. The average daily solar radiation in the spring period

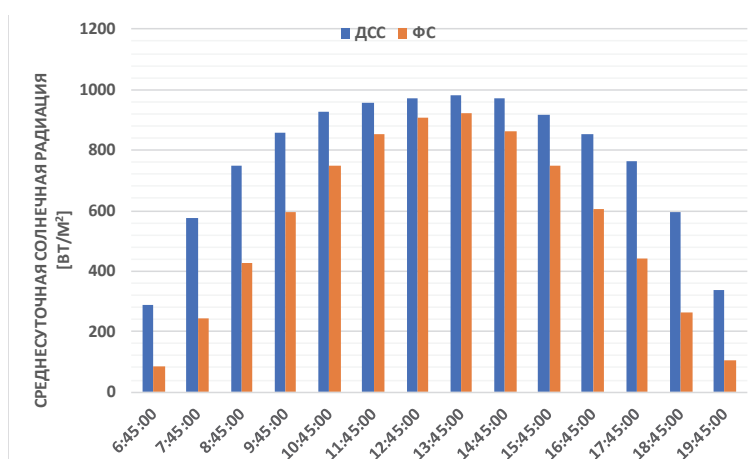


Рис. 3. Среднесуточная солнечная радиация в летний период

Fig. 3. The average daily solar radiation in the summer period

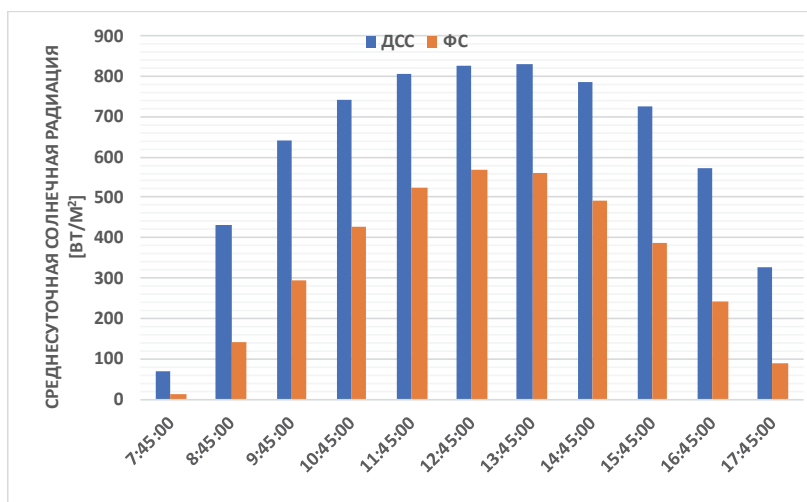


Рис. 4. Среднесуточная солнечная радиация в осенний период

Fig. 4. The average daily solar radiation in the autumn period

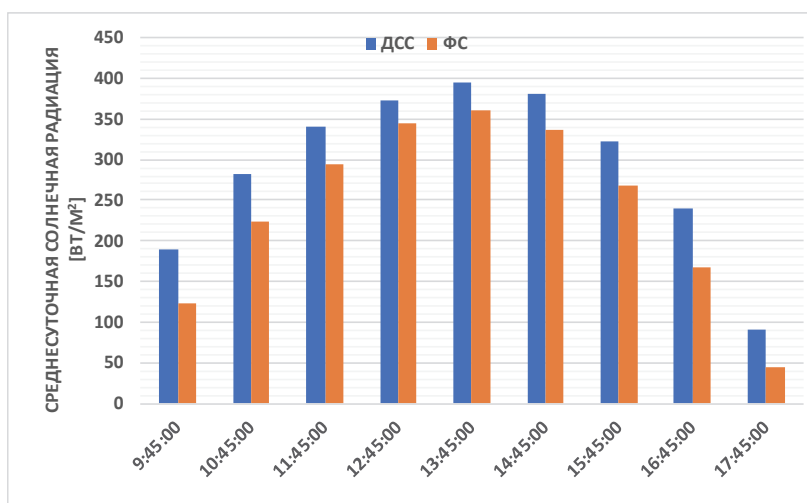


Рис. 5. Среднесуточная солнечная радиация в зимний период

Fig. 5. The average daily solar radiation in the winter period

Из представленных рисунков видно, что среднечасовая солнечная радиация в промежутке времени весна–осень как для двуслойной, так и для фиксированной систем превышает 300 Вт/м^2 . Зимний период в Таджикистане – единственный сезон года, в течение которого среднечасовая солнечная радиация ниже 300 Вт/м^2 . В летний период, как видно из рис. 3, обе системы при поглощении солнечной радиации достигают своего максимума. В то же время из рис. 4 следует, что наиболее эффективное применение ДСС наблюдается осенью.

В табл. 2 приведены средняя солнечная радиация, полученная за день, месяц, период, и продолжительность дневной освещенности в соответствии с четырьмя различными сезонами года.

Таблица 2

Table 2

Средняя солнечная радиация, полученная ДСС и ФС

Average solar radiation obtained by the biaxial tracking system and the fixed system

Двуосная система слежения				
Сезон	Продолжительность дневной освещенности, ч	Суточное (кВт/м ²)	Месячное (кВт/м ²)	Сезонное (кВт/м ²)
Весна	11	5,195	161,07	483,19
Лето	13	10,703	331,80	995,41
Осень	10	6,141	187,30	561,89
Зима	9	2,613	78,39	235,167
Фиксированная система				
Весна	11	3,454	107,10	321,31
Лето	13	8,096	251,01	753,01
Осень	10	3,401	103,73	311,18
Зима	9	2,162	64,86	194,58

Расчеты проводились с учетом как рассеянной, так и лучевой составляющих солнечной радиации. Поглощенная ДСС среднемесячная солнечная радиация лежит в диапазоне от 78,389 кВт/м² в зимний период до 331,802 кВт/м² в летний период. Наибольшая продолжительность дневной освещенности наблюдается в летний период – 13 часов, затем осенний – 11 часов и весенний период – 10 часов.

В целом поглощенная ДСС солнечная радиация в летний период составляет около 1 МВт. Другими словами, генерируемая электроэнергия на 32 % превышала генерированную электроэнергию ФС. На рис. 6 показано соотношение эффективности двух систем для всех времен года.

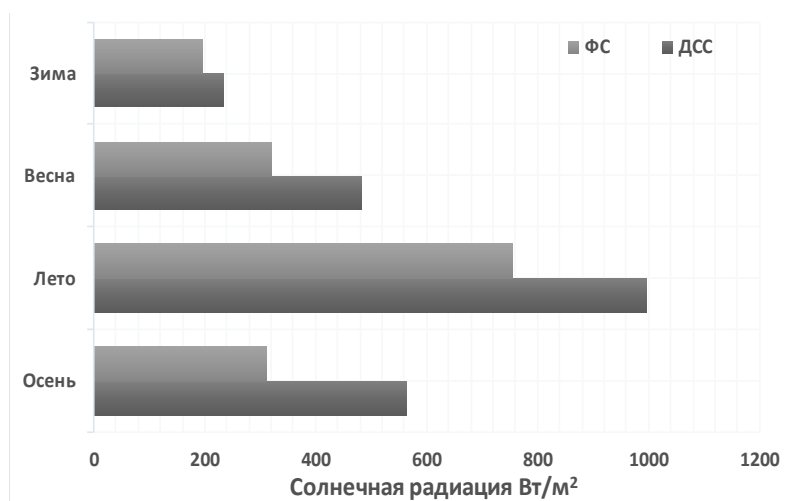


Рис. 6. Солнечная радиация, полученная ДСС и ФС, для всех времен года

Fig. 6. Solar radiation obtained by the biaxial tracking system and the fixed system for all seasons

Исследования показывают, что эффективность двуслойной системы значительно превышает эффективность фиксированной системы, особенно осенью, весной и летом. Для расчета эффективности ДСС над ФС, полученной за год, производилось суммирование солнечной радиации для всех сезонов года. Результаты расчета сведены в табл. 3.

Таблица 3

Table 3

Сезонный и годовой прирост солнечной радиации и эффективность ДСС по сравнению с ФС

The seasonal and annual increase in solar radiation and efficiency of the biaxial tracking system over the fixed system

Сезон	ДСС (кВт/м ²)	ФС (кВт/м ²)	Прирост (кВт/м ²)	Эффективность (%)
Весна	483,19	321,30	161,9	50,39
Лето	995,41	753,00	242,4	32,19
Осень	561,90	311,18	250,7	80,57
Зима	235,17	194,58	40,59	20,86
Год	2275,66	1580,07	695,6	44,02

На годовом интервале производительность ДСС превышает годовую производительность ФС на 44,02 %. При этом подвижная двуслойная система за год генерирует 2,275 МВт·ч/м², в то время как ФС за тот же период – 1,58 МВт·ч/м². Результаты расчета приведены на рис. 7.

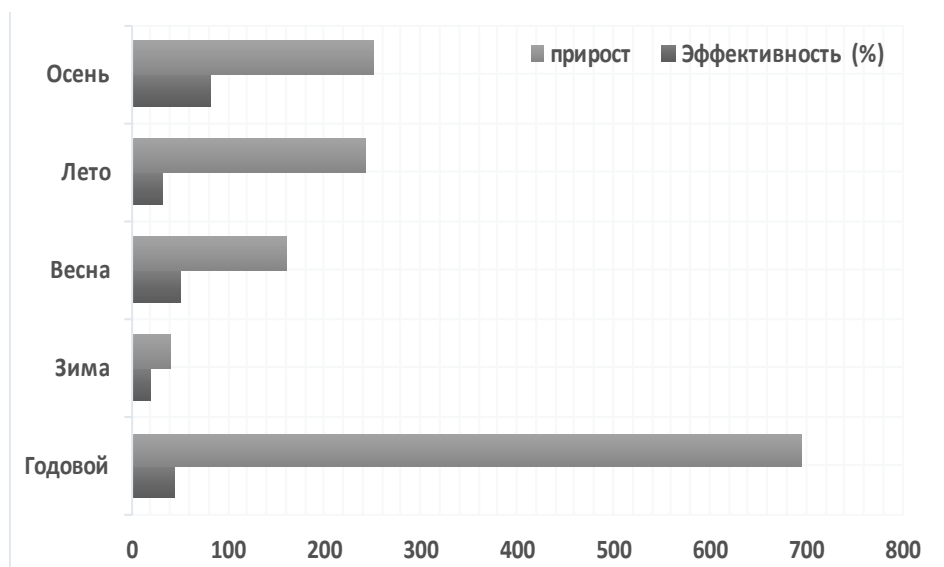


Рис. 7. Сезонная и годовая производительность и прирост ДСС над ФС

Fig. 7. The seasonal and annual productivity and increase in the biaxial tracking system over the fixed system

Годовая производительность ДСС, представленная на рис. 7, показывает, что летняя эффективность – всего лишь среднее по сравнению с осенними и весенними периодами, когда производительность системы достигает своего максимума – 80 % и 50,39 %. Из рисунка видно также, что максимум прироста солнечной радиации ДСС по отношению к ВС достигает осенью – 250,7 кВт·ч/м², незначительное снижение наблюдается в летний период – 242,4 кВт·ч/м². По нашим ожиданиям, наиболее высокая эффективность ДСС должна быть в зимний период, однако расчеты показывают обратное, т. е. эффективность применения ДСС по отношению к ФС с приростом 40,59 кВт·ч/м² составила менее 20 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Исследована производительность двух технических систем использования солнечной радиации как альтернативного источника электроэнергии – двуслойной системы слежения и фиксированной системы для региона Памира и Юга Таджикистана.

2. Исследования проведены для всех временных интервалов: продолжительность светового дня, месяца, сезона года и на годовом интервале, что позволяет определить интегральные показатели энергетического потенциала солнца за эти периоды. При этом подвижная система (ДСС) позволяет дать оценку энергетического потенциала: летом 995,4 кВт/м², весной 483,1 кВт/м², осенью 561,8 кВт/м² и зимой 235,1 кВт/м². Эффективность по отношению к фиксированной системе (ФС) для различных сезонов составляет 80,5 %, 50,3 %, 32,1 % и 20,8 % соответственно. Годовой прирост эффективности равен 44 %.

3. Оценивание солнечного потенциала регионов Таджикистана показывает, что большое количество солнечных дней с высоким солнечным излучением является подходящим ресурсом для развития отрасли солнечной энергетики, что дополнит генерацию гидроэлектростанциями. Однако оптимальное использование других возобновляемых источников энергии (например, солнечной энергии) не только снизит зависимость энергосистемы страны от гидроэнергетики, но и станет важным шагом вперед по пути к устойчивой и доступной генерации электроэнергии от альтернативных источников энергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Манусов В.З., Ганиев З.С., Ахъёев Д.С. Обоснование использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии для покрытия дефицита мощности в Республике Таджикистан // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2017. – № 1–2. – С. 139–142.

2. Сафаралиев М.Х. Анализ влияния времени года на структуру фотоэлектрической станции в Таджикистане // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе: материалы международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов. – Тюмень, 2016. – С. 392–393.

3. Tajikistan's winter energy crisis: electricity supply and demand alternatives / D. Fields, A. Kochnakyan, G. Suggins, J. Besant-Jones. – Washington, DC: The World Bank, 2013. – P. 4–5.

4. Manusov V.Z., Kirgizov A.K., Ahyoev J.S. The effective use of statcom in the electrical system of the Republic of Tajikistan to reduce the losses of active power in the electric network // Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП-2016): труды XIII международной научно-технической конференции. – Новосибирск, 2016. – С. 60–63.
5. Манусов В.З., Ганиев З.С., Султонов Ш.М. Оценка доступности энергетических ресурсов за счет солнечной радиации в Республике Таджикистан // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2018. – № 1. – С. 174–177.
6. Masih A. Modelling the atmospheric concentration of carbon monoxide by using Ensemble Learning Techniques // CEUR Workshop Proceedings. – 2018. – Vol. 2298: Proceedings of the 5th International Young Scientists Conference on Information Technologies, Telecommunications and Control Systems, ITTCS 2018. – Yekaterinburg, 2018. – P. 12.
7. Singh G.K. Solar power generation by PV (photovoltaic) technology // Energy. – 2013. – Vol. 53. – P. 1–13.
8. Rizk J. Chaiko Y. Solar tracking system: more efficient use of solar panels // World Academy of Science, Engineering and Technology. – 2008. – Vol. 41. – P. 313–315.
9. Khalifa A.J.N., Al-Mutawalli S.S. Effect of two-axis sun tracking on the performance of compound parabolic concentrators // Energy Conversion and Management. – 1998. – Vol. 39. – P. 1073–1079.
10. Bakos G.C. Design and construction of a two-axis Sun tracking system for parabolic trough collector (PTC) efficiency improvement // Renewable Energy. – 2006. – Vol. 31. – P. 2411–2421.
11. Abdallah S., Nijmeh S. Two axes sun tracking system with PLC control // Energy Conversion and Management. – 2004. – Vol. 45. – P. 1931–1939.
12. Alexandru C., Comsit M. The energy balance of the photovoltaic tracking systems using virtual prototyping platform // EEM 2008: 5th International Conference on European Electricity Market. – Portugal, 2008. – P. 1–6.
13. Al-Mohamad A. Efficiency improvements of photo-voltaic panels using a Sun-tracking system // Applied Energy. – 2004. – Vol. 79. – P. 345–354.
14. A simple photo-voltaic tracking system / K.S. Karimov, M.A. Saqib, P. Akhter, M.M. Ahmed, J.A. Chattha, S.A. Yousafzai // Solar Energy Materials and Solar Cells. – 2005. – Vol. 87. – P. 49–59.
15. Khatib T., Mohamed A., Sopian K. Optimization of the tilt angle of solar panels for Malaysia // Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. – 2015. – Vol. 37, no. 6. – P. 606–613.
16. Ayodele T.R., Ogunjuyigbe A.S.O. Prediction of monthly average global solar radiation based on statistical distribution of clearness index // Energy. – 2015. – Vol. 90. – P. 1733–1742.
17. Lubitz W.D. Effect of manual tilt adjustments on incident irradiance on fixed and tracking solar panels // Applied Energy. – 2011. – Vol. 88. – P. 1710–1719.
18. A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output / H. Mousazadeh, A. Keyhani, A. Javadi, H. Mobli, K. Abrinia, A. Sharifi // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2009. – Vol. 13. – P. 1800–1818.
19. Development and creation tracking system of the sun position / Yu.E. Nemikhin, A.V. Matveev, D.A. Nemkov, I.N. Odinaev // Technical science in the world: from theory to practice. – Rostov-on-Don, 2015. – P. 35–38.
20. Обухов С.Г., Плотников И.А. Выбор параметров и анализ эффективности применения систем слежения за солнцем // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329, № 10. – С. 95–106.
21. Duffie J.A., Beckman W.A. Solar engineering of thermal processes. – 4th ed. – Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2013. – 910 p.

Манусов Вадим Зиновьевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры систем электроснабжения предприятий Новосибирского государственного технического университета. Основное направление – применение интеллектуальных инфор-

мационных технологий и методов искусственного интеллекта для анализа, планирования и оптимизации электроэнергетических систем. Имеет более 200 публикаций, в том числе 5 монографий. E-mail: manusov36@mail.ru

Ахъёев Джавод Саламиевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрические станции» Таджикского технического университета имени М.С. Осими. Основное направление – мониторинг и диагностика технического состояния электрооборудования электроэнергетических систем на основе теории нечетких множеств и нечеткой логики. Имеет более 30 публикаций. E-mail: javod_66@mail.ru

Назаров Мусо Холмуродович, аспирант кафедры систем электроснабжения предприятий Новосибирского государственного технического университета. Основное направление – исследование и оптимизация режимов автономных электрических систем с возобновляемыми источниками энергии. Имеет 10 публикаций. E-mail: musso-6556@mail.ru

Одинаев Исmoil Назримадович, аспирант кафедры автоматизированных электрических систем Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. Основное направление – исследование режимов интеллектуальных сетей и управление ими. Имеет 3 публикации. E-mail: ismoil.odinaev@urfu.ru

Сафаралиев Муродбек Холназарович, аспирант кафедры автоматизированных электрических систем Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. Основное направление – исследование режимов работы систем с распределенной генерацией. Имеет более 13 публикаций. E-mail: murodbek_03@mail.ru

Manusov Vadim Z., Doctor of Sciences (Eng.), professor, professor at the Department of Industrial Power Supply Systems, Novosibirsk State Technical University. The main direction of his research includes the use of artificial intelligence techniques for the planning and optimization of electric power systems modes. He is the author of more than 200 scientific papers, including 5 monographs. E-mail: manusov36@mail.ru

Ahyoev Javod S., PhD (Eng.), associate professor at the department of power plants, Tajik Technical University. The main field of his research is monitoring and diagnostics of the technical condition of electrical equipment of electric power systems based on the theory of fuzzy sets and fuzzy logic. He is the author of 30 publications. E-mail: javod_66@mail.ru

Nazarov Muso K., postgraduate student, department of industrial power supply systems, Novosibirsk State Technical University. The main direction of his research is investigation and optimization of autonomous electrical systems with renewable energy sources. He is the author of 10 publications. E-mail: musso-6556@mail.ru

Odinaev Ismoil N., postgraduate student, department of automated electrical systems, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin. The main direction of his research is the study of the operating modes of intelligent networks and their management. He is the author of 3 publications. E-mail: ismoil.odinaev@urfu.ru

Safaraliev Murodbek K., postgraduate student, department of automated electrical systems, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin. The main direction of his research is the study of the operating modes of systems with distributed generation. He is the author of 13 publications. E-mail: murodbek_03@mail.ru

Evaluation of the Energy Potential of Region Solar Radiation with the Use of the Solar Tracking System*

V.Z. MANUSOV^{1,a}, J.S. AHYOEV^{2,b}, M.KH. NAZAROV^{1,c}, I.N. ODINAEV^{3,d},
M.KH. SAFARALIEV^{3,e}

¹ Novosibirsk State Technical University, 20 K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation

² Tajik Technical University, 10 Acad. Rajabovikh Street, Dushanbe, 730092, Tajikistan

³ Ural Federal University, 19 Mira Street, Ekaterinburg, 620002, Russian Federation

^a manusov36@mail.ru ^b javod_66@mail.ru ^c musso-6556@mail.ru

^d ismoil.odinaev@urfu.ru ^e murodbek_03@mail.ru

Abstract

The research results that prove a great potential of renewable and alternative energy sources in the Republic of Tajikistan, including solar energy, equal to 25 billion kWh per year are presented in the paper. A limited use of "green energy" leads to periodic blackouts of electricity consumers in the autumn-winter period. To eliminate the emerging electricity shortage, a more complete picture of the potential of solar energy is required. The paper gives an assessment of the energy potential of solar radiation in the regions of the Pamirs and the south of Tajikistan. A mathematical model is presented to determine the maximum value of the azimuthal angle for the Pamir region. Expressions are proposed for evaluating the functioning of two systems and the increment of solar radiation and energy potential taking into account the duration of daylight. Measurements were taken and monthly, seasonal and annual levels of solar radiation were calculated based on the use of two technical systems. It is shown that the energy efficiency of the biaxial tracking system (BTS) significantly exceeds the efficiency of the fixed system (FS) especially in the autumn, spring and summer seasons of the year. A comparative analysis of the production of solar energy and the efficiency of the two systems using a solar tracker for the biaxial tracking system and the fixed system is made. It is shown that the annual productivity of the biaxial system of the solar tracker compared with the fixed system is on average 44% higher. In the autumn period, the mobile system can generate 80% more energy relative to the stationary arrangement of solar panels. The assessment of the solar potential of the regions of Tajikistan proves the feasibility of using this potential as a suitable resource for the development of energy, complementing hydro generation.

Keywords: Solar radiation, solar energy, solar tracker, potential energy, biaxial tracking system, fixed system, regions of Tajikistan, geographical coordinates

REFERENCES

1. Manusov V.Z., Ganiev Z.S., Ahyoev D.S. Obosnovanie ispol'zovaniya netraditsionnykh vozobnovlyemykh istochnikov energii dlya pokrytiya defitsita moshchnosti v Respublike Tadjikistan [Rationale for the use of non-traditional renewable energy sources to cover the power shortage in the Republic of Tajikistan]. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka = Scientific problems of transportation in Siberia and the Far East*, 2017, no. 1–2, pp. 139–142. (In Russian).

2. Safaraliev M.Kh. [Analysis of the influence of the season on the structure of the photovoltaic station in Tajikistan]. *Energoberezhenie i innovatsionnye tekhnologii v toplivno-energeticheskom komplekse: materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov*,

* Received 20 September 2019.

molodykh uchenykh i spetsialistov [Energy saving and innovative technologies in the fuel and energy complex: materials of the international scientifically-practical conference of students, graduate students, young scientists and specialists]. Tyumen, 2016, pp. 392–393. (In Russian).

3. Fields D., Kochnakyan A., Suggins G., Besant-Jones J. *Tajikistan's winter energy crisis: electricity supply and demand alternatives*. Washington DC, The World Bank, 2013, pp. 4–5.

4. Manusov V.Z., Kirgizov A.K., Ahyoev J.S. The effective use of statcom in the electrical system of the Republic of Tajikistan to reduce the losses of active power in the electric network. *Aktual'nye problemy elektronnoy priborostroeniya (APEP-2016): trudy XIII mezhdunarodnoi nauchno-tekhnikeskoi konferentsii* [13th International Scientific-Technical Conference on Actual problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE-2016): proceedings]. Novosibirsk, 2016, pp. 60–63.

5. Manusov V.Z., Ganiev Z.S., Sultonov Sh.M. Otsenka dostupnosti energeticheskikh resursov za schet solnechnoy radiatsii v Respublike Tadzhiqistan [Estimation of energy resources availability by solar radiation in the Republic of Tajikistan]. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka = Scientific problems of transportation in Siberia and the Far East*, 2018, no. 1, pp. 174–177. (In Russian).

6. Masih A. Modelling the atmospheric concentration of carbon monoxide by using Ensemble Learning Techniques. *CEUR Workshop Proceedings*, 2018, vol. 2298: Proceedings of the 5th International Young Scientists Conference on Information Technologies, Telecommunications and Control Systems, ITTCS 2018, Yekaterinburg, 2018, p. 12.

7. Singh G.K. Solar power generation by PV (photovoltaic) technology. *Energy*, 2013, vol. 53, pp. 1–13.

8. Rizk J. Chaiko Y. Solar tracking system: more efficient use of solar panels. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 2008, vol. 41, pp. 313–315.

9. Khalifa A.J.N., Al-Mutawalli S.S. Effect of two-axis sun tracking on the performance of compound parabolic concentrators. *Energy Conversion and Management*, 1998, vol. 39, pp. 1073–1079.

10. Bakos G.C. Design and construction of a two-axis Sun tracking system for parabolic trough collector (PTC) efficiency improvement. *Renewable Energy*, 2006, vol. 31, pp. 2411–2421.

11. Abdallah S., Nijmeh S. Two axes sun tracking system with PLC control. *Energy Conversion and Management*, 2004, vol. 45, pp. 1931–1939.

12. Alexandru C., Comsit M. The energy balance of the photovoltaic tracking systems using virtual prototyping platform. *EEM 2008: 5th International Conference on European Electricity Market*, Portugal, 2008, pp. 1–6.

13. Al-Mohamad A. Efficiency improvements of photo-voltaic panels using a Sun-tracking system. *Applied Energy*, 2004, vol. 79, pp. 345–354.

14. Karimov K.S., Saqib M.A., Akhter P., Ahmed M.M., Chattha J.A., Yousafzai S.A. A simple photo-voltaic tracking system. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 2005, vol. 87, pp. 49–59.

15. Khatib T., Mohamed A., Sopian K. Optimization of the tilt angle of solar panels for Malaysia. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 2015, vol. 37, no. 6, pp. 606–613.

16. Ayodele T.R., Ogunjuyigbe A.S.O. Prediction of monthly average global solar radiation based on statistical distribution of clearness index. *Energy*, 2015, vol. 90, pp. 1733–1742.

17. Lubitz W.D. Effect of manual tilt adjustments on incident irradiance on fixed and tracking solar panels. *Applied Energy*, 2011, vol. 88, pp. 1710–1719.

18. Mousazadeh H., Keyhani A., Javadi A., Mobli H., Abrinia K., Sharifi A. A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2009, vol. 13, pp. 1800–1818.

19. Nemikhin Yu.E., Matveev A.V., Nemkov D.A., Odinaev I.N. Development and creation tracking system of the sun position. *Technical science in the world: from theory to practice*. Rostov-on-Don, 2015, pp. 35–38.

20. Obukhov S.G., Plotnikov I.A. Vybhor parametrov i analiz effektivnosti primeneniya sistem slezheniya za solntsem [Choosing the parameters and analyzing the efficiency of solar tracking systems]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2018, vol. 329, no. 10, pp. 95–106.

21. Duffie J.A., Beckman W.A. *Solar engineering of thermal processes*. 4th ed. Hoboken, NJ, John Wiley & Sons, 2013. 910 p.

Для цитирования:

Оценка энергетического потенциала солнечной радиации региона с применением солнечного трекера / В.З. Манусов, Дж.С. Ахъёев, М.Х. Назаров, И.Н. Одинаев, М.Х. Сафаралиев // Научный вестник НГТУ. – 2020. – № 1 (78). – С. 189–203. – DOI: 10.17212/1814-1196-2020-1-189-203.

For citation:

Manusov V.Z., Ahyoev J.S., Nazarov M.Kh., Odinaev I.N., Safaraliev M.Kh. Otsenka energeticheskogo potentsiala solnechnoi radiatsii regiona s primeneniem solnechnogo trekera [Evaluation of the energy potential of region solar radiation with the use of the solar tracking system]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2020, no. 1 (78), pp. 189–203. DOI: 10.17212/1814-1196-2020-1-189-203.