

РЕСУРСЫ ГЕЛИОЭНЕРГЕТИКИ В РЕСПУБЛИКЕ ТЫВА

SOLAR ENERGY RESOURCES IN TYVA REPUBLIC

Основная проблема изолированных районов Республики Тыва сегодня – отсутствие эффективного электроснабжения потребителей. Традиционным путем решения данной проблемы является замена устаревших дизельных электростанций с корректировкой их установленных мощностей. Принципиально более привлекательный вариант совершенствования системы электроснабжения Тывы – ее построение с ориентацией на местные возобновляемые энергоресурсы. Из всего многообразия возобновляемых источников энергии в Республике Тыва приоритетом по запасам, доступности, экологичности и масштабам использования в децентрализованных районах является энергия Солнца. Для исследования условий функционирования солнечной энергии в составе системы комплексного энергоснабжения необходимо изучить режимы поступления этой энергии. В работе изучены косвенные методы расчета плотности солнечного излучения на различные поверхности. Выбран метод Берда, дающий значения, наиболее близкие к наблюдаемым актинометрической станцией. По предложенной методике рассчитаны среднемесячные значения суммарного прихода солнечной энергии на горизонтальную поверхность в децентрализованных районах Тывы и разработана карта районирования территории по солнечным зонам с учетом климатических особенностей местности.

ДИЗЕЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ; ТЫВА; ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ; СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА; АКТИНОМЕТРИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ; МЕТОД БЕРДА; СОЛНЕЧНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ.

The main problem of isolated areas of Tyva today is the lack of an effective electricity. The traditional way solving the problem is to replace older diesel power with the adjustment of their installed capacity. The more attractive option to improve the electric power supply system of Tyva is the construction with the focus on local renewable energy resources. The energy of the sun is a priority of the variety of renewable energy sources in the reserve, availability, ecology and using a scale in decentralized parts of Tyva. To investigate the functioning conditions of solar energy as part of an integrated electric power supply system is necessary to study modes solar energy incoming. The indirect calculating methods of the solar radiation density on various surfaces is investigated in the article. Selected method Byrd gives the closest values to the observed values actinometric station. According to the proposed method, the monthly averages of the summary amount of solar energy on a horizontal surface in the Tyva's decentralized areas were calculated. Taking into account the terrain with particular climate, zoning map of the Republic of Tyva on solar climatic zones were developed.

DIESEL POWER; TYVA; RENEWABLE ENERGY; SOLAR ENERGY; SOLAR RADIATION STATION; THE METHOD BYRD; SOLAR RADIATION.

На 70 процентах территории России имеется значительное количество мелких населенных пунктов, в которых проживает около 11 млн жи-

телей [1]. К таким регионам относится и республика Тыва, в которой 6 муниципальных децентрализованных районов получают

электроэнергию от дизельных электростанций мощностью от 30 до 2400 кВт [2]. Основными проблемами энергоснабжения изолированных потребителей республики являются: недопустимый износ оборудования; дальность; ограниченность процесса сезонного завоза топлива в труднодоступные районы, что приводит к высоким потерям и многократному его удорожанию. Принятие разовых мер по решению вопросов энергоснабжения у отдельных изолированных потребителей не снимает существующей проблемы не только в Тыве, но и в других регионах. Необходимо отказаться от традиционного подхода, искать и разрабатывать новые пути решения проблемы.

Мировой опыт показывает, что одним из эффективных вариантов электроснабжения может быть использование природных возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Внедрение ВИЭ в энергобаланс республики позволит частично заменить существующие автономные дизельные энергосистемы, добиться экономии дорогостоящего для республики топлива и обеспечить устойчивое электроснабжения населения.

Из всего многообразия ВИЭ в республике Тыва приоритетом по запасам, доступности, экологичности и масштабам использования в децентрализованных районах является энергия Солнца [3]. Для исследования условий функционирования солнечной энергии в составе системы комплексного энергоснабжения необходимо изучить режимы поступления этой энергии. На территории Тывы единственная актинометрическая станция находится в столице республики – городе Кызыл. По России среднее расстояние между актинометрическими станциями составляет примерно 500 км, а в азиатской части России – до 1000 км. Для экстраполяции данных с приемлемой точностью требуется среднее расстояние не более 100–130 км. При малочисленности или отсутствии актинометрических станций поступление солнечной энергии может быть изучено или методом, основанным на данных измерений, или косвенным, с использованием специальной математической модели. Приборные актинометрические измерения могут быть оценочными, для чего проводят непосредственные непродолжительные измерения на месте.

Наиболее полной для использования на территории России является база данных, созданная

Национальным агентством авиации и исследования космического пространства США (NASA). Она содержит интерполированный массив характеристик солнечной радиации, полученный в результате спутниковых измерений и верифицированный с помощью наземных актинометрических данных. Использование таких усредненных данных при определении потенциала солнечной энергии не позволяет учитывать климатологические особенности региона и может приводить к существенной погрешности расчетов [4].

Цели данной работы – расчет прихода солнечной энергии в децентрализованных районах Тывы и разработка карты районирования территории республики по солнечным зонам с учетом климатических особенностей местности.

Для условий Тывы проанализированы возможности использования нескольких методик [5–9]. Сравнительный анализ позволил выбрать методику, предложенную Бердом [6], с использованием поправочных коэффициентов для условий Тывы.

Исходными данными для расчета являются: географическая долгота и широта местности $-\lambda_m = 94,5^\circ$ в. д. и $\varphi_m = 51,7^\circ$ с. ш.;

атмосферное давление $P_{\text{возд}}$, ГПа [10];

значение альbedo подстилающей поверхности r_3 [10];

наблюдаемые среднемесячные дневные значения сумм прямого $E_{\text{гор}}^{\text{пр}}$ и диффузного $E_{\text{гор}}^{\text{диф}}$ солнечного излучения (СИ), поступающего на горизонтальную поверхность, кВт/м² [10].

Последовательность расчета

1. Расчет среднемесячной плотности потока прямого СИ при чистом небе $E_{\text{гор}_i}^{\text{пр}'}$, Вт/м², с учетом поправочных коэффициентов для условий Тывы:

$$E_{\text{гор}_i}^{\text{пр}'} = E \cos \Theta_{Z_i} k_i^{\text{пр}} k_{\text{гор}_i}^{\text{пр}},$$

где E – нормальная плотность потока СИ в космосе (солнечная постоянная $E = 1367$ Вт/м²); $\cos \Theta_{Z_i}$ – косинус угла падения лучей на различные поверхности; поправочные коэффициенты – $k_{\text{гор}_i}^{\text{пр}} = 1,14$ для зимы, $k_{\text{гор}_i}^{\text{пр}} = 0,91$ для лета; $k_i^{\text{пр}} = k_{R_i} k_{O_3_i} k_{\text{газ}_i} k_{H_2O_i} k_{A_i}$ – среднемесячный коэффициент пропускания процессов

ослабления СИ в атмосфере Земли; k_{R_i} и k_{A_i} – коэффициенты релейского и аэрозольного рассеяния; $k_{O_{3_i}}$, $k_{газ_i}$, $k_{H_2O_i}$ – коэффициенты поглощения СИ соответственно озоном, газовой смесью O_2 , N_2 , CO_2 и парами воды.

Вычисление плотности потока диффузного СИ $E_{гор_i}^{диф'}$, Вт/м², с учетом поправочных коэффициентов для условий Тывы:

$$E_{гор_i}^{диф'} = E \cos \Theta_{Zi} k_i^{диф} k_{гор}^{диф},$$

где $k_{гор}^{диф} = 1,05$ – значение поправочного коэффициента при расчете диффузного СИ, поступающего на горизонтальную поверхность;

$$k_i^{диф} = k_{O_{3_i}} k_{газ_i} k_{H_2O_i} k_{\Lambda_i} \times \\ \times (0,5(1 - k_{R_i}) + B_a(1 - k_{AS_i})) / (1 - M_i^* + M_i^{*1,02})$$

– среднемесячный коэффициент ослабления СИ в атмосфере Земли; k_{Λ_i} – коэффициент аэрозольного рассеяния; k_{AS_i} – коэффициент рассеяния частицами сухого воздуха; B_a – отношение рассеянного прямого излучения к общему рассеянному излучению [11].

3. Определение плотности потока полного СИ $E_{гор_i}^{полн'}$, Вт/м²:

$$E_{гор_i}^{полн'} = (E_{гор_i}^{пр'} + E_{гор_i}^{диф'}) / (1 - r_3 r_a),$$

где r_3 – значение альbedo подстилающей поверхности [10]; r_a – значение альbedo атмосферы.

4. Плотность потока прямого и диффузного СИ, поступающего на горизонтальную поверхность с учетом заданного месяца года:

$$E_{гор_i}^{пр''} = E_{гор_i}^{пр'} K_{гор_i}^{пр'};$$

$$E_{гор_i}^{диф''} = E_{гор_i}^{диф'} K_{гор_i}^{диф'};$$

где $K_{гор_i}^{пр'}$, $K_{гор_i}^{диф'}$ – коэффициенты пересчета плотности потока СИ для реальных условий облачности в каждом i -м месяце года

5. Плотность потока прямого СИ, приходящего на следящую поверхность в условиях чистого неба $E_{след_i}^{пр}$, Вт/м²:

$$E_{след_i}^{пр} = E k_i^{пр} k_{след}^{пр},$$

где $k_{след}^{пр}$ – поправочный коэффициент, равный для условий Тывы $k_{след}^{пр} = 0,9$.

6. Вычисление среднемесячных значений плотности потока прямого, диффузного и отраженного СИ, поступающего на наклонную поверхность:

$$E_{накл_i}^{пр} = E_{след_i}^{пр} \cos \Theta_{накл_i};$$

$$E_{накл_i}^{диф} = E_{гор_i}^{диф''} \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right);$$

$$E_{накл_i}^{отр} = E_{гор_i}^{полн''} P_{возд} \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right),$$

где $\cos \Theta_{накл}$ – косинус угла падения лучей на наклонную, ориентированную на юг поверхность.

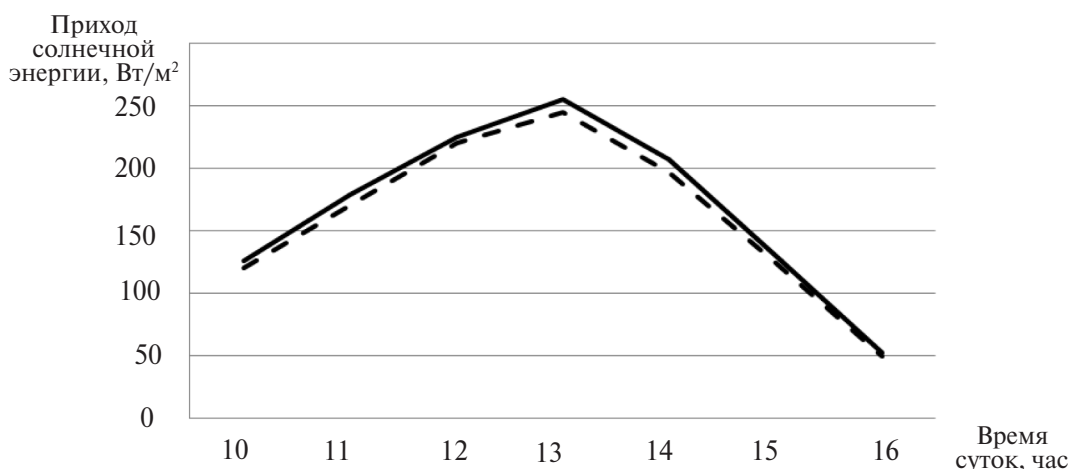


Рис. 1. Значения суммарного прихода солнечной энергии на горизонтальную поверхность на 15 января, Вт/м², (сплошная кривая – расчетные значения; пунктирная кривая – реальные значения)



Рис. 2. Значения суммарного прихода солнечной энергии на горизонтальную поверхность на 15 июля, Вт/м² (сплошная кривая – расчетные значения; пунктирная кривая – реальные значения)

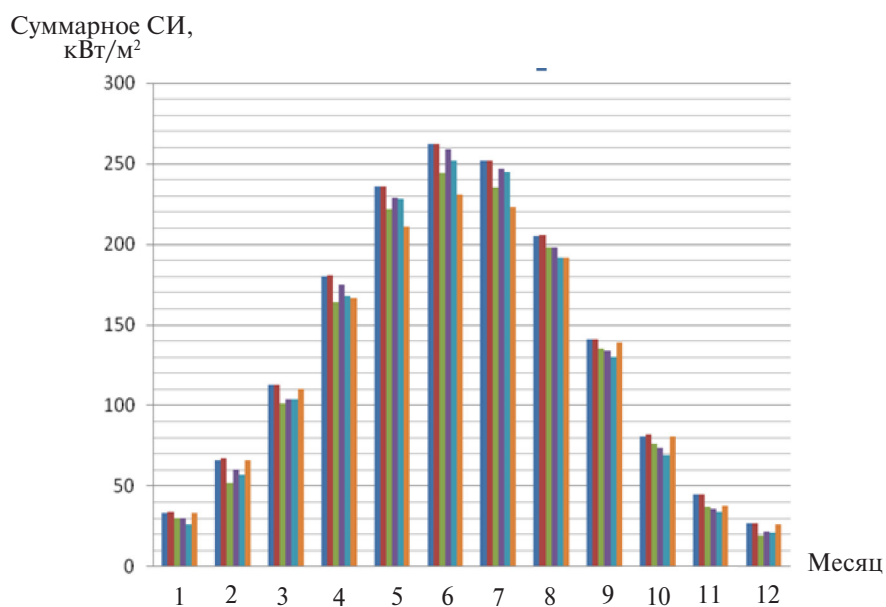


Рис. 3. Среднемесячные значения суммарного прихода солнечной энергии на горизонтальную поверхность для исследуемых районов республики
 ■ – Эрзинский; ■ – Тере-Хольский; ■ – Монгун-Тайгинский;
 ■ – Тоджинский; ■ – Пий-Хемский; ■ – Каа-Хемский

7. Плотности потока полного СИ, падающего на наклонную поверхность солнечной фотоэлектрической установки:

$$E_{\text{накл}_i}^{\text{полн}} = E_{\text{накл}_i}^{\text{пр}} + E_{\text{накл}_i}^{\text{диф}} + E_{\text{накл}_i}^{\text{отр}}$$

Расчитанные часовые значения суммарного прихода солнечной энергии были сопостав-

лены с реальными значениями для станции в г. Кызыл. Расчеты были произведены для 15-го числа января и июля. На рис. 1 и 2 представлены графики изменения расчетной и реальной плотности солнечного излучения в течение дня для 15-го числа января и июля. Сопоставление реальных часовых сумм СИ на горизонтальную



Рис. 4. Районирование территории республики Тыва по солнечным зонам с учетом физико-географических особенностей рельефа местности
 (■ – I зона 1300–1400 кВтч/кв.м; ■ – II зона 1200–1300 кВт ч/кв.м)

поверхность с расчетными значениями показало неплохую сходимостью анализируемых значений: расхождения не превышали 15 %.

Суммарный приход солнечной энергии на горизонтальную поверхность для г. Кызыл летом составил 8,184 кВт·ч/м², а зимой – 1,174 кВт·ч/м².

С помощью описанной выше методики были рассчитаны среднемесячные значения суммарного прихода солнечной энергии на горизонтальную поверхность для исследуемых районов республики (рис. 3).

Среднемесячный приход солнечной энергии на горизонтальную поверхность для исследуемых районов республики варьируется в пределах от 119 до 137 кВт·ч/м².

По полученным результатам произведено районирование территории республики Тыва по солнечным зонам. На основании данных, представленных на рис. 4, в рассматриваемых районах можно выделить две характерных солнечных зоны.

I солнечная зона – с высокими среднегодовыми значениями плотности потока СИ на го-

ризонтальную поверхность (1300–1400 кВт·ч/м² за год) – расположена в основном в южной части республики. Она характеризуется отсутствием леса, сочетанием тундр, лугов.

II солнечная зона, достаточно благоприятная для использования солнечной энергетики (со среднегодовыми значениями плотности потока СИ на горизонтальную поверхность 1200–1300 кВт·ч/м² за год), расположена в центральной и северной части республики.

Выводы

По полученным значениям прихода солнечной энергии на горизонтальную поверхность и на основе графика нагрузки энергопотребителей можно определить состав и мощность изолированной энергосистемы, в которую входят фотоэлектрические модули.

Карта районирования территории Тывы по солнечным зонам дает возможность определить первоочередные для использования солнечной энергии децентрализованные районы республики Тыва.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Синюгин В.Ю.** Малая энергетика – вчера, сегодня, завтра // Периодический научно-технический журнал. 2004. №1. С. 4–11.
2. Топливо-энергетический комплекс республики Тыва [электр. ресурс] URL: <http://www.sibacc.ru/upload/iblock/86f/86f72739a513d9929660d4637aab511f.pdf> (дата обращения: 08.11.2012).
3. **Кенден К.В., Тремясов В.А.** Оценка ресурсного потенциала возобновляемых источников энергии республики Тыва // Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов: Сборник трудов седьмой Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2013. С. 278–282
4. The NASA Surface Meteorology and Solar Energy Data Set center [электр. ресурс] URL: <http://easweb/larc.nasa.gov/sse/>. Дата обращения 15.01.2014.
5. **Безруких П.П., Арбузов Ю.Д., Борисов Г.А., Виссарионов В.И.** Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России. СПб.: Наука, 2002. 314 с.
6. **Bird R.A., Hailstorm R.L.** Simplified clear sky model for direct and diffuse insulations on horizontal surfaces // SERI/TR-642-761, Solar Energy Research Institute (SERINREL). 1981.
7. **Аббасов П.А., Гричковская Н.В.** Оценка потенциала солнечной энергии для разработки энергоэффективных зданий в условиях муссонного климата // Академия. Архитектура и строительство. 2006. № 4. С. 21–29.
8. **Ковалев О.П., Волков А.В., Коренев А.В.** Расчет поступления солнечной энергии на территорию Приморского края // Сборник ИПМТ ДВО РАН. 2003. № 5. С. 198–208.
9. **Шерязов С.К.** Методические основы определения мощности гелио- и ветроэнергетических установок // Техника в сельском хозяйстве. 2000. № 3. С. 36–39.
10. Метеорологический ежемесячник. Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Среднесибирское УГМС. 2001–2011.
11. **Gueymard C.** Direct solar transmittance and irradiance predictions with broadband models. Part I: detailed theoretical performance assessment // Solar Energy. 2003. №5. С. 335–379.

REFERENCES

1. **Sinyugin V.Yu.** Malaya energetika – vchera, segodnya, zavtra. [Small energetics - yesterday, today, tomorrow]. *Periodic scientific and technical journal*. 2004. №.1. S. 4–11. (rus)
2. Toplivno-energeticheskiy kompleks respubliky Tyva [Fuel and energy complex of the Republic of Tyva]. Available: <http://www.sibacc.ru/upload/iblock/86f/86f72739a513d9929660d4637aab511f.pdf>. Accessed 08.11.2012. (rus)
3. **Kenden K.V., Treamyasov V.A.** Otsenka resursnogo potentsiala vozobnovlyayemykh istochnikov energii respubliky Tyva. [Evaluation of the resource potential of renewable energy sources of the Republic of Tyva]. *Energetika: upravleniye, kachestvo i effektivnost ispolzovaniya energoresursov: Sbornik trudov sedmoy Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem* [Energy: management, quality and efficient use of energy : Proceedings of the Seventh All-Russian scientific conference with international participation.] Blagoveshchensk: ASU Publ, 2013. S. 278–282. (rus)
4. The NASA Surface Meteorology and Solar Energy Data Set center. Available: <http://easweb/larc.nasa.gov/sse/>. Accessed 15.01.2014.
5. **Bezrukikh P.P.** Resursy i effektivnost ispolzovaniya vozobnovlyayemykh istochnikov energii v Rossii [The resources and efficient use of renewable energy sources in Russia]. St.Petersburg: Nauka, 2002. 314 p. (rus)
6. **Bird R. A., Hailstorm R.L.** Simplified clear sky model for direct and diffuse insulations on horizontal surfaces. *SERI/TR-642-761, Solar Energy Research Institute (SERINREL)*. 1981.
7. **Abbasov P.A.** Otsenka potentsiala solnechnoy energii dlya razrabotki energoeffektivnykh zdaniy v usloviyakh mussonnogo klimata. [Assessment of the solar energy potential for the development of energy efficient buildings in a monsoon climate]. *Akademiya. Arkhitektura i stroitelstvo*. 2006. №.4. S. 21–29. (rus)
8. **Kovalev O.P.** Raschet postupleniya solnechnoy energii na territoriyu Primorskogo kraya [Calculation of incoming solar energy in the Primorsky Territory]. *Collection MPPI FEB RAS. Vladivostok*. 2003. № 5. S. 198–208. (rus)
9. **Sheryazov S. K.** Metodicheskiye osnovy opredeleniya moshchnosti gelio- i vetroenergeticheskikh ustanovok [Methodical bases of determining the power of solar and wind power plants]. *Technique in agriculture*. 2000. № 3. S. 36–39. (rus)
10. Meteorologicheskiy yezhemesyachnik. Federalnaya sluzhba Rossii po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchey sredy. [Meteorological Monthly . Russian Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring] / **Siberian AHEM**. 2001–2011/ (rus)
11. **Gueymard, C.** Direct solar transmittance and irradiance predictions with broadband models. Part I: detailed theoretical performance assessment. *Solar Energy*. 2003. № 5. S. 335–379. (rus)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ/AUTHORS

КЕНДЕН Кара-кыс Вадимовна – аспирант Сибирского федерального университета.
660041, Россия, г. Красноярск, пр. Свободный, 79.
E-mail: Kuca08@mail.ru

KENDEN Kara-kys Vadymovna – Siberian Federal University.79,
Svobodny Prospect, Krasnoyarsk, Russia, 660041.
E-mail: Kuca08@mail.ru