

EDN: QULSHG

УДК 620.91(571.51)

## On the Issue of Power Supply to Northern Municipalities from Solar-Diesel Power Plants

Andrey V. Bastron\*, Andrey S. Debrin,  
Ivan I. Zasimov and Nikolay V. Tsuglenok

*Krasnoyarsk State Agrarian University*

*Krasnoyarsk, Russian Federation*

*Rosseti Siberia*

*Krasnoyarsk, Russian Federation*

*East Siberian Association of Biotechnology Clusters*

*Krasnoyarsk, Russian Federation*

Received 23.12.2024, received in revised form 14.01.2025, accepted 26.01.2025

**Abstract.** The article shows that in the Krasnoyarsk Territory the installed capacity of diesel power plants is more than 100 MW, which produce about 200 million kW.h electricity consumption, in connection with which the issue of substantiating the parameters and operating modes of an autonomous solar-diesel power plant for power supply to the village of Vanavara in the Evenki municipal district of the Krasnoyarsk Territory becomes relevant. The results of computer modeling of the parameters and modes of a solar-diesel power plant are presented, as well as the basic electrical diagram of the station, which includes a 10 MW diesel power plant and a 3 MW solar power plant, which in July covers the needs of the village Vanavara needs electricity by 86 %. The cost of electric energy produced from a solar-diesel power plant is 37, and from a diesel power plant – 56 rubles/ kW.h with 23 % diesel fuel savings.

**Keywords:** Vanavara village, renewable energy, diesel generator, diesel power plant, solar module, solar power plant, solar-diesel power plant, electricity cost.

Citation: Bastron A. V., Debrin A. S., Zasimov I. I. and Tsuglenok N. V. On the Issue of Power Supply to Northern Municipalities from Solar-Diesel Power Plants. J. Sib. Fed. Univ. Eng. & Technol., 2025, 18(2), 144–153. EDN: QULSHG



## **К вопросу об электроснабжении северных муниципальных образований от солнечно-дизельных электростанций**

**А. В. Бастрон, А. С. Дебрин,  
И. И. Засимов, Н. В. Цугленок**

*Красноярский государственный аграрный университет  
Российская Федерация, Красноярск*

*ПАО «Россети Сибирь»*

*Российская Федерация, Красноярск*

*Восточно-Сибирская ассоциация биотехнологических кластеров  
Российская Федерация, Красноярск*

**Аннотация.** В статье показано, что в Красноярском крае установленная мощность дизельных электростанций (ДЭС) составляет более 100 МВт, на которых вырабатывается около 200 млн кВтч электроэнергии, в связи с чем актуальным становится вопрос обоснования параметров и режимов работы автономной солнечно-дизельной электростанции (СДЭС) для электроснабжения села Ванавара Эвенкийского муниципального района Красноярского края. Приведены результаты компьютерного моделирования параметров и режимов СДЭС, принципиальная электрическая схема станции, включающей ДЭС мощностью 10 МВт и солнечную электростанцию мощностью 3 МВт, которая в июле покрывает потребности села Ванавара в электроэнергии на 86 %. Себестоимость электрической энергии, произведенной от СДЭС, составляет 37 руб./кВтч, а от ДЭС – 56 руб./кВтч при 23 % экономии дизельного топлива.

**Ключевые слова:** с. Ванавара, возобновляемые источники энергии, дизельный генератор, дизельная электростанция, солнечный модуль, солнечная электростанция, солнечно-дизельная электростанция, себестоимость электрической энергии.

Цитирование: Бастрон А. В. К вопросу об электроснабжении северных муниципальных образований от солнечно-дизельных электростанций / А. В. Бастрон, А. С. Дебрин, И. И. Засимов, Н. В. Цугленок // Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии, 2025, 18(2). С. 144–153. EDN: QULSHG

### **Введение**

Около 65 % территории России находится в зоне изолированного (автономного) электроснабжения и обеспечивается в основном электроэнергией от дизельных электростанций (ДЭС), работающих на привозном топливе. По оценке Российского энергетического агентства, число ДЭС, работающих в этих зонах, составляет около 900, выработка электроэнергии – около 2,54 млрд кВтч в год [1].

Стоимость производства энергии на таких ДЭС составляет 0,25–2,0 Евро/кВтч, что значительно дороже, чем в зонах централизованного электроснабжения. Поэтому уменьшение объема потребления так называемого дальнепривозного топлива для работы ДЭС является важной социально-экономической задачей. В то же время в зонах автономного электроснабжения велик потенциал ветровой и солнечной энергии, которая может быть успешно использована путем создания эффективных энергокомплексов на базе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), обеспечивающих высокую долю замещения дизельного топлива [1].

Таким образом, основная задача, решаемая при использовании ВИЭ, – это электроснабжение удаленных населенных пунктов и промышленных объектов с децентрализованным электроснабжением и высокими тарифами на электрическую энергию. В Красноярском крае, без учета коммерческих организаций и частных лиц, используется 245 ДЭС и ДГ, из которых 159 ДЭС и ДГ эксплуатируются круглогодично для постоянного получения электроэнергии и являются основными источниками электроэнергии в 13 муниципальных районах, в 118 населенных пунктах, где и перспективно устанавливать генераторы на базе ВИЭ [2].

### **Цель работы**

Целью исследования является обоснование параметров и режимов работы автономной солнечно-дизельной электростанции (СДЭС) для электроснабжения северных муниципальных образований на примере с. Ванавары Эвенкийского муниципального района Красноярского края, обеспечивающей уменьшение потребления дизельного топлива и снижение себестоимости произведённой электроэнергии.

Для достижения цели исследования необходимо было решить следующие **задачи**:

1. Обосновать параметры и режимы работы автономной системы электроснабжения с. Ванавары от СДЭС.
2. Обосновать варианты конфигураций солнечной электростанции (СЭС) и СДЭС.
3. Дать технико-экономическое сравнение себестоимости электрической энергии, полученной от ДЭС и СДЭС для с. Ванавары.

### **Методы исследования**

В основе исследования лежат процессы компьютерного моделирования параметров и режимов работы ДЭС и СДЭС, их технико-экономических показателей в условиях с. Ванавары Эвенкийского муниципального района Красноярского края.

### **Моделирование параметров и режимов работы СЭС и ДЭС**

#### *Исходные данные*

Доктором технических наук, профессором С. Г. Обуховым (Национальный исследовательский Томский государственный университет) разработана и реализована в виде отдельной подсистемы в программе MatLab Simulink математическая модель прихода солнечной радиации на произвольно ориентированную поверхность [3].

Особенностью модели является использование в качестве исходных данных численных значений индекса прозрачности атмосферы и альбедо поверхности, полученных из базы данных NASA SSE (Surface Meteorology and Solar Energy) [4], что обеспечивает высокую точность моделирования величины приходящей солнечной радиации, в том числе и для территорий, по которым отсутствуют результаты регулярных актинометрических наблюдений.

Модель позволяет определять текущие значения приходящей солнечной радиации для любого дня года в произвольном географическом месте размещения гелиоэнергетической установки на произвольно ориентированные поверхности, а также углы восхода, азимута, зенита и высоты солнца по солнечному и официальному местному времени.

С использованием указанной компьютерной модели [3] нами проведено моделирование прихода солнечной радиации на поверхность солнечных модулей (СМ) СЭС при их угле наклона СМ, равном 56 град. В качестве исходных данных в блок ввода данных были введены параметры, касающиеся с. Ванавары (рис. 1). Моделирование проводилось для двух вариантов конструкции СЭС: без использования трекера и с трекером.

Результаты моделирования интенсивности суммарной солнечной радиации, поступающей на поверхности СМ, наклоненных под углом 56 град., для условий с. Ванавары без использования трекеров и с трекерами приведены на рис. 2 и 3.

Как следует из анализа рис. 2 и 3, использование в конструкции СЭС трекеров увеличивает выработку электрической энергии, произведенную одним СМ, что позволит уменьшить количество СМ, составляющих солнечную батарею СЭС.

#### *Моделирование параметров и режимов работы СЭС и ДЭС*

Для моделирования параметров и режимов работы СДЭС автономной системы электропитания с. Ванавары необходимо иметь суточные (рис. 4) и месячные (рис. 5) графики нагрузки. Расчет указанных графиков приведен нами подробно в [5].

Области применения СДЭС в значительной степени будут определяться себестоимостью электрической энергии, произведенной СЭС, входящей в состав СДЭС. Альтернативным вари-

Block Parameters: Radiation

Ввод данных моделирования

Широта местности, град  
60

Долгота местности, град  
102

Разница между местным временем и временем по Гринвичу, час  
7

Азимутальный угол установки панели, град  
180

Угол наклона панели, град  
56

Номер моделируемого дня  
171

Индекс прозрачности атмосферы  
0.5

Альbedo земной поверхности (0.2 - трава; 0.9 - свежий снег)  
0.13

Тип солнечного трекера

без трекера

трекер по наклону

трекер по азимуту и наклону

OK Cancel Help Apply

Рис. 1. Блок ввода данных Matlab Simulink (без трекера)

Fig. 1. Matlab Simulink Data Input Unit (without tracker)

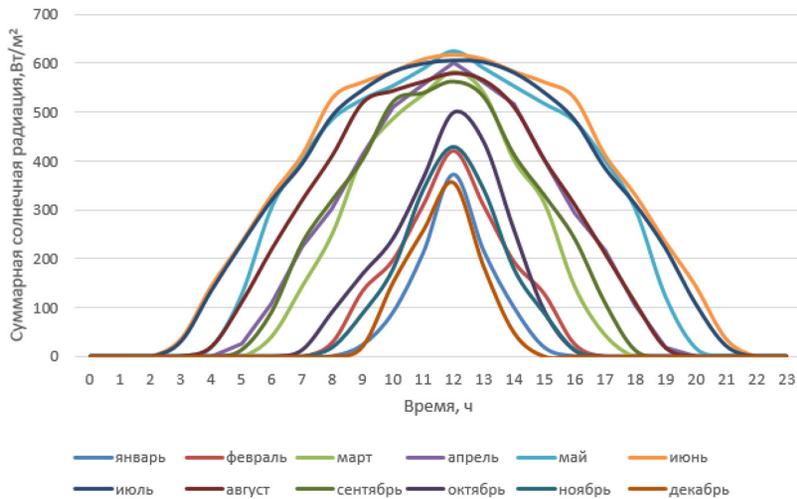


Рис. 2. Зависимости среднесуточной интенсивности суммарной солнечной радиации, поступающей на поверхности СМ, наклоненных под углом 56 град., по месяцам года без использования в конструкции СЭС трекеров

Fig. 2. Dependences of the average daily intensity of total solar radiation entering the surface of solar radiation inclined at an angle of 56 degrees by months of the year without the use of trackers in the design of solar power plants

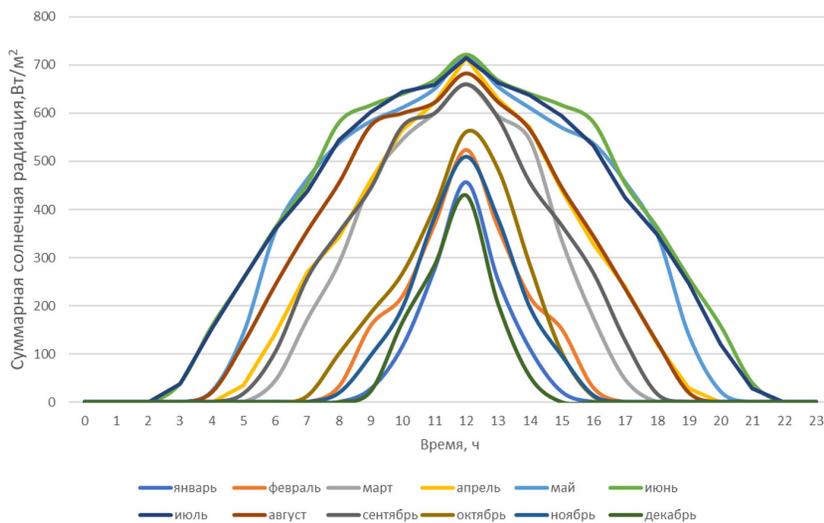


Рис. 3. Зависимости среднесуточной интенсивности суммарной солнечной радиации, поступающей на поверхности СМ, наклоненных под углом 56 град., по месяцам года с использованием в конструкции СЭС трекеров по наклону (горизонту)

Fig. 3. Dependences of the average daily intensity of total solar radiation arriving at the surface of solar radiation inclined at an angle of 56 degrees by months of the year with the use of slope (horizon) trackers in the design of solar power plants

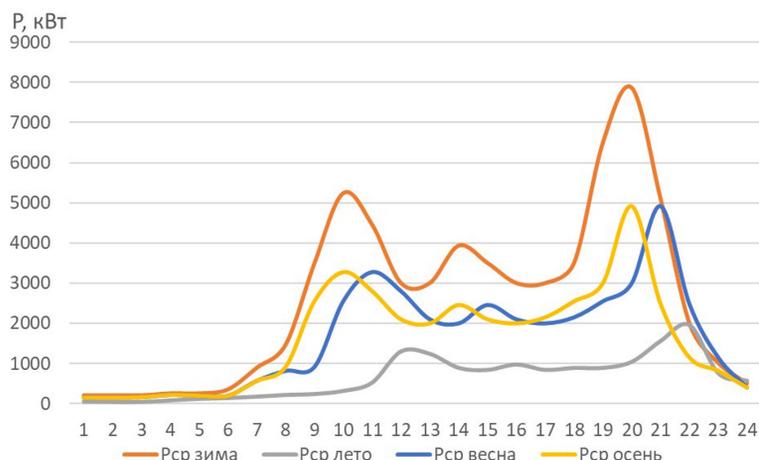


Рис. 4. Сезонные суточные графики нагрузки системы электроснабжения с. Ванавары

Fig. 4. Seasonal daily load schedules of the power supply system in the village of Vanavara

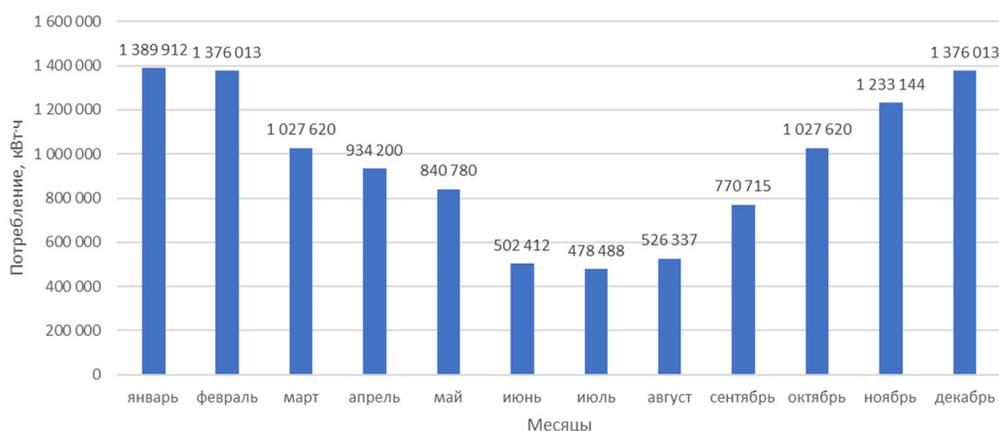


Рис. 5. Годовое потребление электрической энергии с. Ванавары

Fig. 5. Annual electricity consumption in the village of Vanavara

антом автономной системы энергоснабжения с. Ванавары рассматривался вариант, в котором используются только дизельные генераторы (ДГ), входящие в состав ДЭС.

В работе исследовались параметры и режимы трех вариантов СЭС, конструктивно выполненных из трех типов СМ, представленных в табл. 1.

В качестве сравниваемых вариантов приняты следующие комплекты оборудования:

- ДЭС (номинальная мощность 10 МВт):
- дизель-генератор (ДГ) АД-500СТ400–1РМ15С Cummins (Китай) мощностью 500 кВт в количестве 5 единиц (один ДГ находится в резерве) [7];
- ДГ АД-2000С-Т400–1РМ15 Cummins (Китай) мощностью 2000 кВт в количестве четырех единиц [8];
- СДЭС:

Таблица 1. Характеристики солнечных модулей [6]

Table 1. Characteristics of solar modules [6]

Наименование характеристики	SilaSolar 360 Вт PERC 9BB (Two Power)	SilaSolar 280 Вт (5BB) PERC	SilaSolar 550/690 Вт (Bifacial)
Тип	Монокристаллический	Поликристаллический	Монокристаллический
Площадь, м <sup>2</sup>	1,82	1,61	2,58
КПД, %	21,83	19,01	23,45
Цена за единицу, руб	16800	12852	25536
$U_{xx}$ , В	40,5	38,33	49,80

- ДГ АД-500С-Т400–1РМ15С Cummins (Китай) мощностью 500 кВт в количестве пяти единиц;
- ДГ АД-2000С-Т400–1РМ15 Cummins (Китай) мощностью 2000 кВт в количестве четырех единиц;
- солнечный модуль SilaSolar 550 Вт в количестве 2730 шт. [6] (занимаемая площадь СМ (ориент.) 7558 м<sup>2</sup>);
- сетевой инвертор ИСС-1250 3-фазы в количестве 2 шт. [9].

Нами спроектировано три варианта СДЭС, принципиальная электрическая схема наиболее рационального варианта представлена на рис. 6.

К распределительному устройству высокого напряжения (РУ 10 кВ) подключены четыре ДГ по 2 МВт и два инвертора, через повышающие трансформаторы. К напряжению 0,4 кВ через сборные шины (РУ 0,4 кВ) подключены пять ДГ мощностью 500 кВт и через повышающие трансформаторы к распределительному устройству высокого напряжения.

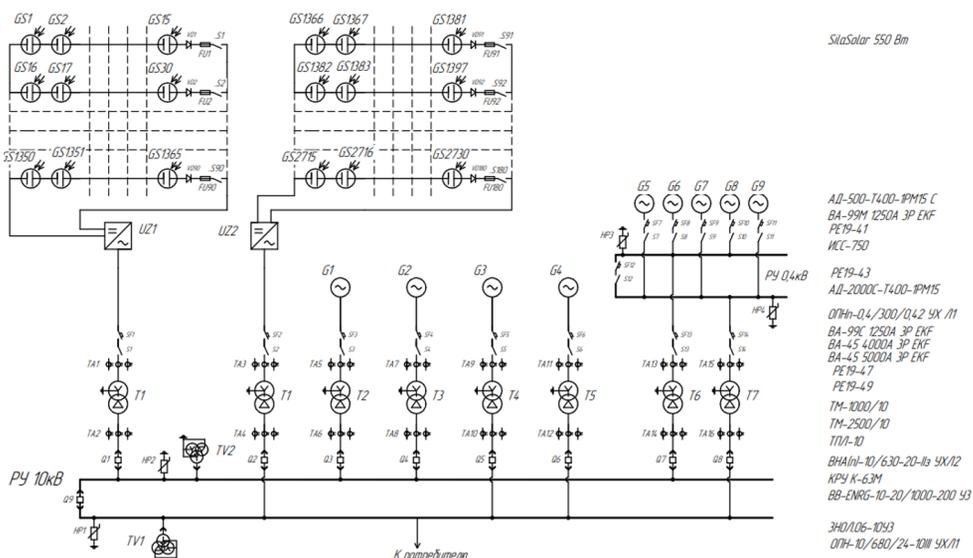


Рис. 6. Принципиальная схема солнечно-дизельной электростанции с. Ванавары

Fig. 6. Schematic diagram of the solar-diesel power plant in the village of Vanavara

Исходя из графиков нагрузки с. Ванавары и выработки электрической энергии, производимой ежемесячно СЭС, оснащенной трекерами, определены режимы работы отдельно СЭС и ДЭС, входящих в состав СДЭС (рис. 7, 8). Выработка электрической энергии от СЭС была определена по методике, изложенной в [10], с учетом вольт-амперной и вольт-ваттной характеристик СМ.

Произведенный в электронных таблицах расчет себестоимости электрической энергии, произведенной от СДЭС и ДЭС, выполненный по методике, изложенной в [11, 12], показал, что себестоимость электроэнергии от СДЭС  $C_{\text{ДЭС}} = 37$  руб./кВт·ч, по сравнению с аналогичным показателем от ДЭС  $C_{\text{ДЭС}} = 56$  руб./кВт·ч. При этом экономия дизельного топлива СДЭС, по сравнению с ДЭС, составляет 23 %.

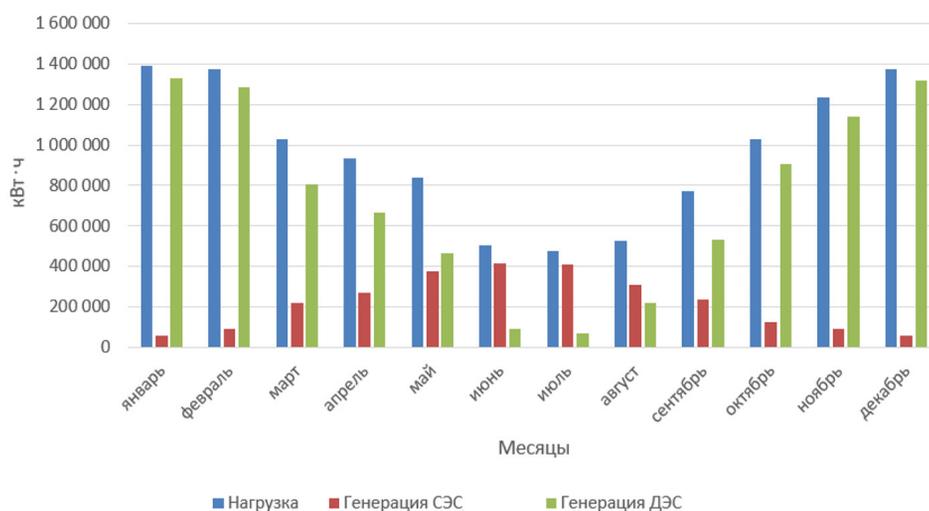


Рис. 7. Графики нагрузки с. Ванавары и генерации электрической энергии солнечной электростанцией и дизельной электростанцией, составляющих солнечно-дизельную электростанцию

Fig. 7. Graphs of the load of the village of Vanavara and the generation of electricity by the solar power plant and the diesel power plant, which make up the solar-diesel power plant

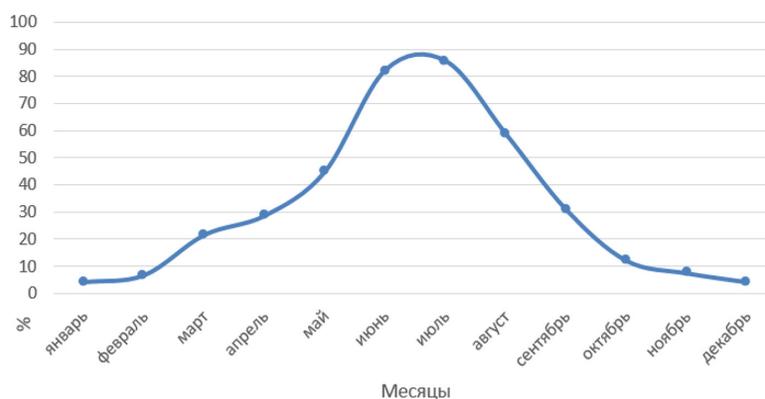


Рис. 8. График покрытия нагрузки солнечной электростанцией

Fig. 8. Schedule of load coverage of a solar power plant

### Обсуждение результатов и выводы

1. На территории Красноярского края имеется ряд потребителей, получающих электроснабжение и даже теплоснабжение от ДЭС, что приводит к высокой себестоимости электрической и тепловой энергии, получаемой за счет использования дизельного топлива (50 руб./кВтч и даже выше), и к загрязнению окружающей среды. Только в Красноярском крае установленная мощность ДЭС составляет более 100 МВт, на которых вырабатывается около 200 млн кВтч электрической энергии.

2. В связи с выделением значительных государственных средств на автономные системы электроснабжения северных территорий Красноярского края актуальным становится вопрос технико-экономической оценки различных вариантов систем электроснабжения, в том числе с использованием солнечной энергии.

3. Исследования годового графика нагрузки с. Ванавары показали, что минимальное потребление электрической энергии происходит в июле и составляет 0,478 МВтч, а максимальное энергопотребление 1,390 МВтч – в декабре.

4. Спроектированная СДЭС, включающая ДЭС мощностью 10 МВт и СЭС мощностью 3 МВт, в июле покрывает потребности с. Ванавары в электрической энергии на 86 %, а в декабре на 4 % за счет использования солнечной энергии.

5. Себестоимость электрической энергии, произведенной от СДЭС, составляет 37 руб./кВтч, по сравнению с электроэнергией, произведенной от ДЭС, себестоимость которой равна 56 руб./кВтч. При этом экономия дизельного топлива СДЭС, по сравнению с ДЭС составляет, 23 %, что позволит почти на четверть продлить срок эксплуатации дорогих ДГ.

### Список литературы / References

[1] Елистратов В. Автономное энергоснабжение территорий России энергокомплексами на базе возобновляемых источников энергии. *Энергетический вестник*. 2016. № 21. 42–49. [Elistratov V. Autonomous Energy Supply of the Territories of Russia by Energy Complexes on the Basis of Renewable Energy Sources. *Energetic Messenger*. 2016. № 21. 42–49. (in Rus.)]

[2] Дебрин А. С., Семенов А. Ф. *Повышение эффективности солнечных электростанций малой мощности для электроснабжения объектов АПК*. Красноярск, Краснояр. гос. аграр. ун-т, 2022. 152. [Debrin A. S., Semenov A. F. *Improving the Efficiency of Low-Power Solar Power Plants for Power Supply of Agricultural Facilities*. Krasnoyarsk, Krasnoyars. State Agrarian. University, 2022. 152. (in Rus.)]

[3] Обухов С. Г., Плотников И. А. Математическая модель прихода солнечной радиации на произвольно-ориентированную поверхность для любого региона России. *International Scientific Journal Life and Ecology*. 2017. № 1–2 (7–8). 38–39. [Obukhov S. G., Plotnikov I. A. Mathematical model of solar radiation arrival on an arbitrarily oriented surface for any region of Russia. *International Scientific Journal Life and Ecology*. 2017. № 1–2 (7–8). 38–39. (in Rus.)]

[4] *POWER DATA ACCESS VIEWER / NASA Prediction Of World wide Energy Resources* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer> – Заглавие с экрана.

[5] Засимов И. И. Моделирование графика нагрузки для гибридной электростанции в селе Ванавара. *Студенческая наука – взгляд в будущее. Материалы XVIII Всероссийской студенческой научной конференции*. Красноярск, 2023. 76–80. [Zasimov I. I. Simulation of the load schedule

for a hybrid power plant in the village of Vanavara. In: *Student Science – A Look into the Future. Materials of the XVIII All-Russian Student Scientific Conference*. Krasnoyarsk, 2023. 76–80. (in Rus.)]

[6] *Солнечная батарея SilaSolar 550Вт (Bifacial)* [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://e-solarpower.ru/solar/solar-panels/mono-panel/solnechnaya-batareya-silasolar-550w-bifacial/> – Заглавие с экрана. [*Solar battery SilaSolar 550Вт (Bifacial)*] [Electronic resource] – Mode of access: <https://e-solarpower.ru/solar/solar-panels/mono-panel/solnechnaya-batareya-silasolar-550w-bifacial/> – Title from the screen.]

[7] *Дизель-генератор АД-500С-Т400–1РМ15С Cummins (Китай) мощностью 500 кВт ПК «Азимут»* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gc-azimut.ru/dizel-generatory/500-kvt/cummins/ad-500s-t400-1rm15c/> – Заглавие с экрана. [*Diesel generator AD-500S-T400–1RM15C Cummins (China) with a capacity of 500 kW ПК «Azimut»*] [Electronic resource]. – Available at: <https://www.gc-azimut.ru/dizel-generatory/500-kvt/cummins/ad-500s-t400-1rm15c/> – Title from the screen.]

[8] *Дизель-генератор 2000 кВт (2 МВт) CUMMINS АД-2000С-Т400–1РМ15* [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.gc-azimut.ru/dizel-generatory/2000-kvt/cummins/ad-2000s-t400-1rm15/> – Заглавие с экрана. [*Diesel generator 2000 kW (2 MW) Cummins AD-2000S-T400–1RM15*] [Electronic resource] – Mode of access: <https://www.gc-azimut.ru/dizel-generatory/2000-kvt/cummins/ad-2000s-t400-1rm15/> – Title from the screen.]

[9] *Сетевой инвертор для солнечной электростанции ИСС-1250* [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://parus-electro.ru/catalog/iss/iss\\_inverter1250/](https://parus-electro.ru/catalog/iss/iss_inverter1250/) – Заглавие с экрана [*Grid inverter for a solar power plant ISS-1250*] [Electronic resource] – Mode of access: [https://parus-electro.ru/catalog/iss/iss\\_inverter1250/](https://parus-electro.ru/catalog/iss/iss_inverter1250/) – Title from the screen.]

[10] Бастрон А. В., Шерьязов С. К. *Энергообеспечение потребителей с использованием возобновляемых источников энергии: учеб. пособие*. Красноярск, Краснояр. гос. аграр. ун-т, 2019. 118. [Bastron A. V., Sheryazov S. K. *Energy supply of consumers using renewable energy sources. allowance*. Krasnoyarsk, Krasnoyar. State Agrarian. University, 2019. 118. (in Rus.)]

[11] Михеева Н. Б., Бастрон А. В., Засимов И. И. Обоснование применения дифференцированного социального тарифа на электрическую энергию при реализации проекта электроснабжения от автономной гибридной энергетической установки. *Социально-экономический и гуманитарный журнал*. 2024. № 2 (32). 29–40. [Mikheeva N. B., Bastron A. V., Zasimov I. I. Substantiation of the Application of a Differentiated Social Tariff for Electric Energy in the Implementation of a Power Supply Project from an Autonomous Hybrid Power Plant. *Socio-Economic and Humanitarian Journal*. 2024. № 2 (32). 29–40. (in Rus.)]

[12] Бастрон А. В., Бастрон Т. Н., Наумов И. В. и др. Технико-экономический аспект использования солнечных электростанций в системах электроснабжения сельскохозяйственного производства и быта в условиях Сибири. *Социально-экономический и гуманитарный журнал*. 2023. № 3 (29). 101–116. [Bastron A. V., Bastron T. N., Naumov I. V., et al. Technical and Economic Aspect of the Use of Solar Power Plants in Power Supply Systems of Agricultural Production and Everyday Life in the Conditions of Siberia. *Socio-Economic and Humanitarian Journal*. 2023. № 3 (29). 101–116. (in Rus.)]