

Научная статья / Research Article

УДК 620.91(571.51)

DOI: 10.36718/2500-1825-2023-3-101-116

**Андрей Владимирович Бастрон<sup>1</sup>✉, Татьяна Николаевна Бастрон<sup>2</sup>,  
Игорь Владимирович Наумов<sup>3</sup>, Ирина Валентиновна Ямщикова<sup>4</sup>**

<sup>1, 2</sup> Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

<sup>3</sup> Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского

<sup>3, 4</sup> Иркутский национальный исследовательский технический университет

<sup>1</sup> abastron@yandex.ru

<sup>2</sup> tbastron@yandex.ru

<sup>3</sup> professornaumov@list.ru

<sup>4</sup> yamsirina@yandex.ru

### **ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА И БЫТА В УСЛОВИЯХ СИБИРИ**

*В Сибирском федеральном округе (СФО) есть ряд сельских поселений, удаленных от системы центрального электроснабжения, в которых осуществляется автономное электроснабжение от дизельных электростанций (ДЭС). В последние годы в связи с физическим и моральным износом дизель-генераторов (ДГ), входящих в состав ДЭС, наметились тенденции по замене ДЭС на автономные гибридные энергоустановки (АГЭУ) – солнечные электростанции, сопряженные с ДГ. Группой компаний «Хевел» (г. Новочебоксарск, Россия) налажено серийное производство солнечных модулей (СМ) и другого электрооборудования для солнечных электростанций (СЭС), отвечающее современным мировым разработкам. Кроме того, в связи с созданием государством благоприятного инвестиционного климата для широкого внедрения этих разработок началось массовое строительство СЭС и АГЭУ в Сибирском федеральном округе. Наиболее массовое строительство СЭС и АГЭУ компаниями «Хевел» осуществлялось в республиках Алтай и Тыва. Такой опыт имеется в Красноярском крае, Республике Хакасия. Цель исследований – изучить технико-экономический аспект использования солнечной энергии в системах электроснабжения сельскохозяйственного производства и быта в условиях Сибири для рационального внедрения СЭС и АГЭУ. Для достижения цели необходимо было решить следующие задачи: исследовать параметры СЭС и АГЭУ для условий Сибири; провести технико-экономическое сравнение себестоимости электрической энергии, полученной от СЭС и АГЭУ и тарифов на электрическую энергию для населения, проживающего в сельской местности, с тарифами для сельскохозяйственных товаропроизводителей (крестьянских (фермерских) хозяйств) в условиях Сибири, а также дать рекомендации по рациональному использованию СЭС и АГЭУ в условиях Сибири. Авторами статьи дана технико-экономическая оценка выработки электроэнергии СЭС мощностью 15 кВт, предлагаемой «Хевел» бытовым потребителям, или крестьянским (фермерским) хозяйствам, с учетом поступления солнечного излучения на поверхность СМ, входящих в состав СЭС, с учетом места расположения СЭС и ДЭС такой же мощности в 11 сельских поселениях СФО.*

**Ключевые слова:** сельское поселение, дизельная электростанция, солнечный модуль, солнечная электростанция, автономная гибридная энергоустановка, себестоимость производства электрической энергии, Сибирский федеральный округ

**Для цитирования:** Бастрон А.В., Бастрон Т.Н., Наумов И.В., Ямщикова И.В. Технико-экономический аспект использования солнечных электростанций в системах электроснабжения сельскохозяйственного производства и быта в условиях Сибири // Социально-экономический и гуманитарный журнал. 2023. № 3. С. 101–116. DOI: 10.36718/2500-1825-2023-3-101-116.

**Andrei Vladimirovich Bastron<sup>1✉</sup>, Tatyana Nikolaevna Bastron<sup>2</sup>, Igor Vladimirovich Naumov<sup>3</sup>, Irina Valentinovna Yamschikova<sup>4</sup>**

<sup>1, 2</sup> Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

<sup>3</sup> Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Yezhevsky

<sup>3, 4</sup> Irkutsk National Research Technical University

<sup>1</sup> abastron@yandex.ru

<sup>2</sup> tbastron@yandex.ru

<sup>3</sup> professornaumov@list.ru

<sup>4</sup> yamsirina@yandex.ru

#### **TECHNICAL AND ECONOMIC ASPECT OF SOLAR POWER PLANTS USE IN POWER SUPPLY SYSTEMS FOR AGRICULTURAL PRODUCTION AND HOUSEHOLD IN THE CONDITIONS OF SIBERIA**

*In the Siberian Federal District (SFD) there are a number of rural settlements remote from the central power supply system, in which an autonomous power supply is provided from diesel power plants (DPP). In recent years, due to the physical and obsolescence of diesel generators (DGs) that are part of DPPs, there have been trends to replace DPPs with autonomous hybrid power plants (AHPPs) – solar power plants associated with DGs. The «Hevel» group of companies (Novocheboksarsk, Russia) has launched mass production of solar modules (SM) and other electrical equipment for solar power plants (SPP), which meets modern world developments. In addition, in connection with the creation by the state of a favorable investment climate for the widespread introduction of these developments, mass construction of SPP and AHPP in the Siberian Federal District began. The most massive construction of solar power plants and AHPP «Hevel» was carried out in the republics of Altai and Tuva. Such experience is available in the Krasnoyarsk Region, the Republic of Khakassia. The purpose of research is to study the technical and economic aspect of the use of solar energy in the power supply systems of agricultural production and life in Siberia for the rational implementation of SPP and AHPP. To achieve the goal, it was necessary to solve the following tasks: to study the parameters of SPP and AHPP for the conditions of Siberia; conduct a technical and economic comparison of the cost of electricity received from SPP and AHPP and tariffs for electricity for the population living in rural areas with tariffs for agricultural producers (peasant farms) in Siberia, as well as give recommendations on the rational use of SPP and AHPP in the conditions of Siberia. The authors of the paper gave a technical and economic assessment of the generation of electricity by a SPP with a capacity of 15 kW, offered by «Hevel» to household consumers, or peasant farms, taking into account the receipt of solar radiation on the surface of the SMs that are part of the SPP, taking into account the location of the SPP and DPP of the same power in 11 rural settlements of the Siberian Federal District.*

**Keywords:** rural settlement, diesel power plant, solar module, solar power plant, autonomous hybrid power plant, cost of electricity production, Siberian Federal District

**For citation:** *Bastron A.V., Bastron T.N., Naumov I.V., Yamschikova I.V.* Technical and economic aspect of solar power plants use in power supply systems for agricultural production and household in the conditions of siberia // Socio-economic and humanitarian journal. 2023. № 3. S. 101–116. DOI: 10.36718/2500-1825-2023-3-101-116.



**Введение.** В настоящее время в России и в мире в целом происходит массовое строительство и внедрение солнечных электростанций (СЭС) и автономных гибридных энергоустановок (АГЭУ) – солнечных электростанций, сопряженных с дизель-генераторами (ДГ) и аккумуляторами, взамен устаревших, отслуживший свой срок, дизельных ДЭС [1–9]. Как показал проведенный нами обзор солнечных модулей и СЭС [10], массовое внедрение СЭС в России, в том числе в Сибири, напрямую связано с деятельностью группы компаний ХЕВЕЛ [11, 12].

В Сибирском федеральном округе, в который входят республики Алтай, Тыва, Хакасия, Алтайский и Красноярский края, Иркутская, Кемеровская, Новосибирская, Омская и Томская области, с 2013 года группой компаний «Хевел» по-

строены и успешно эксплуатируются СЭС и АГЭУ [11, 12].

В Республике Алтай, начиная с 2013 года, работают 8 относительно крупных электростанций общей мощностью 120 МВт, использующих солнечное излучение в качестве источника энергии [12]:

- первая в России гибридная солнечно-дизельная электростанция (п. Яйлю) мощностью 100 кВт (40 кВт – СЭС);
- первая в России сетевая СЭС (Кош-Агачский район) мощностью 10 МВт;
- Чемальская СЭС мощностью 10 МВт;
- Майнинская СЭС мощностью 25 МВт;
- Усть-Косинская СЭС мощностью 40 МВт и др.

В Республике Тыва в селах Мугур-Аксы и Кызыл-Хая эксплуатируются 2 АГЭУ мощностью 550 кВт (рис. 1).



Рис. 1. Автономная гибридная энергетическая установка в Республике Тыва [12]



Примерный график покрытия нагрузки потребителей сельского по-

селения АГЭУ представлен на рис. 2.

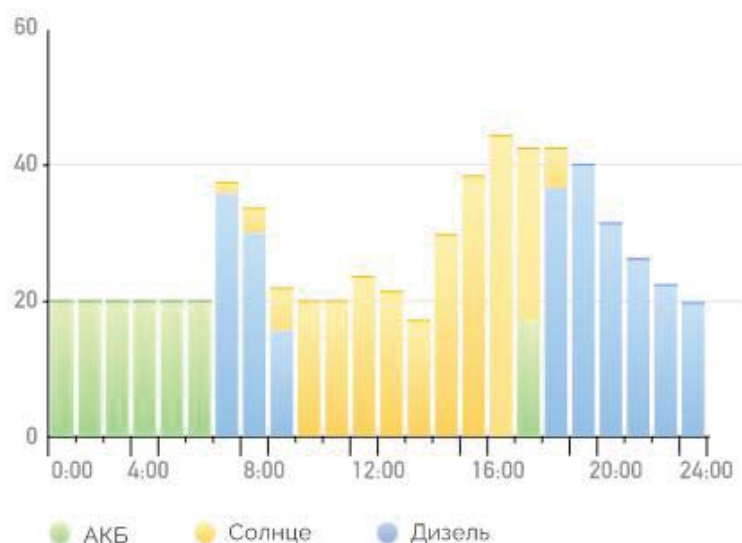


Рис. 2. Примерный график покрытия нагрузки АГЭУ [12]

Кроме приведенных выше СЭС, в Сибирском федеральном округе эксплуатируются небольшие индивидуальные СЭС (от нескольких сотен Вт до нескольких кВт), установленные на крышах домов, хозяйственных построек и других объектов, предназначенных, например, для электроснабжения крестьянских (фермерских) хозяйств (КФХ) [4, 5]. В строительстве СЭС и АГЭУ в Сибирском федеральном округе в ближайшие годы предполагается значительное увеличение инвестиций.

В ближайшие 3 года в 28 отдаленных поселках Томской области появятся АГЭУ. На реализацию проекта потратят 1,45 млрд руб., совокупная мощность объектов солнечной генерации составит 4,4 МВт [13]. Помимо Томской области, интерес к развитию АГЭУ проявляют и власти других регионов Сибири. Так, в Мотыгинском районе Красноярского края первые 5 автономных гибридных электроустановок совокупной стоимостью 228 млн руб. должны быть построены уже в 2023–2024 гг. Всего же в крае около 100 населенных пунктов, где эта технология может быть востребована. Интерес проявляют республики Тыва, Хакасия и Алтай, а также Иркутская область. Потенциал использования АГЭУ в России, особенно в Сибири и на Дальнем Востоке, достаточно высок. В стране се-

годня более 1000 отдаленных поселений, изолированных от единой энергосистемы и получающих электроснабжение от ДЭС. В таких населенных пунктах проживают около 1 миллиона человек.

По данным Хакасского филиала Россети Сибирь [14], сейчас в очереди на технологическое подключение к электросетям 15 КФХ. Это те хозяйства, присоединение которых наиболее затратное из-за удаленности и иных факторов: 6 КФХ в Бейском районе, по 2 КФХ в Аскизском, Ширинском, Алтайском, Усть-Абаканском районах, 1 КФХ в Орджоникидзевском районе. При подключении к ЛЭП на каждое КФХ может быть потрачено от 2 до 10 млн руб., или около 90 млн руб. на все 15 хозяйств.

**Цель исследования.** Рассмотреть технико-экономический аспект использования солнечной энергии в системах электроснабжения сельскохозяйственного производства и быта в условиях Сибири для рационального внедрения СЭС и АГЭУ.

**Задачи исследования:**

1. Исследовать параметры СЭС и АГЭУ для условий Сибири.
2. Провести технико-экономическое сравнение себестоимости электрической энергии, полученной от СЭС и АГЭУ и тарифов на электрическую энергию для населения, проживающего в сельской

местности, а также для сельскохозяйственных товаропроизводителей (крестьянских (фермерских) хозяйств в условиях Сибири.

3. Дать рекомендации по рациональному использованию СЭС и АГЭУ в условиях Сибири.

**Методы исследования.** В основе исследования лежит процесс моделирования технико-экономических показателей СЭС и АГЭУ при учете их режимов работы в условиях Сибири.

**Результаты исследования и их обсуждение. Исходные данные.** По данным сайта NASA [15], по методике, подробно изложенной в учебном пособии [16], для сельских поселений Сибири с учетом их географического расположе-

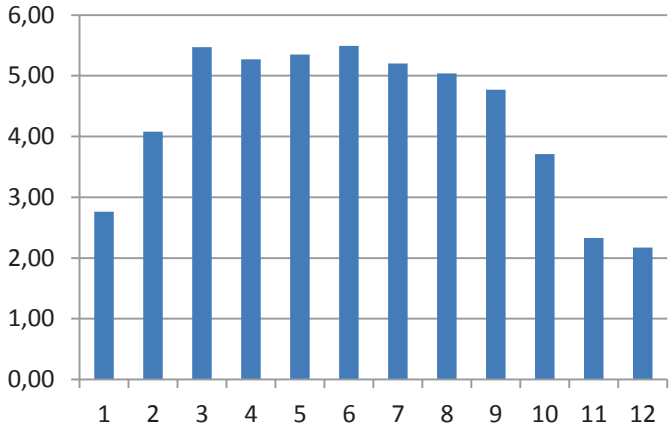
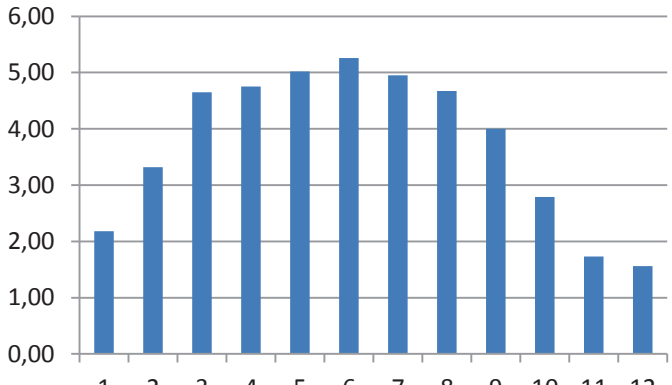
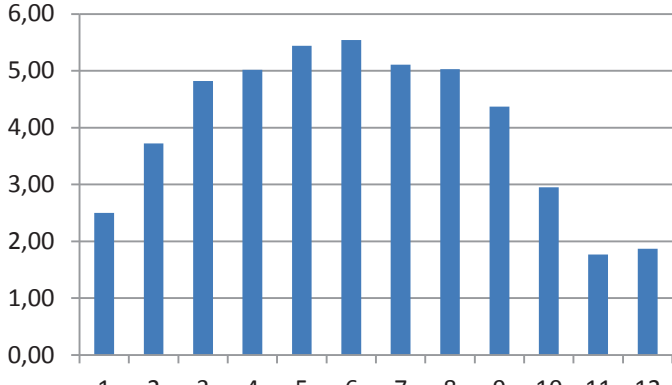
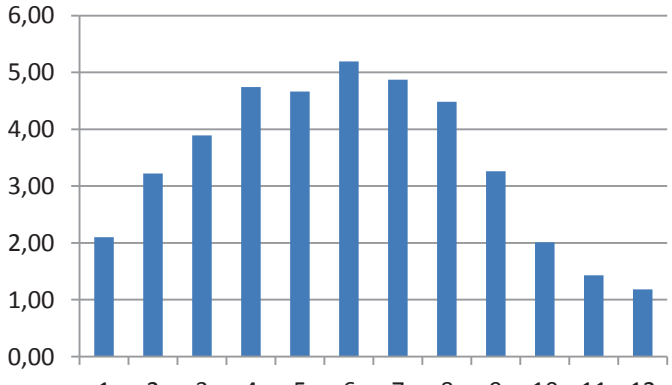
ния, а также с предполагаемым внедрением в этих населенных пунктах АГЭУ, в качестве исходных данных для расчета параметров СЭС приняты результаты моделирования в электронных таблицах Excel суммарного среднесуточного удельного солнечного излучения на поверхности солнечного модуля (СМ) СЭС при угле наклона СМ, равном широте местности. Стоимость дизельного топлива для ДЭС принималась равной стоимости на заправочных станциях указанных населенных пунктов на 15 апреля 2023 г. [17, 18, 19]. Исходные данные приведены в таблице 1.

Таблица 1

Данные по солнечному излучению в отдельных сельских поселениях Сибири и стоимости дизельного топлива в них

Населенный пункт	Ежемесячное суммарное среднесуточное удельное солнечное излучение на поверхности СМ при угле наклона $\beta$ СМ, равному широте местности, $\mathcal{E}_{уд i \beta}$ , кВт·ч/м <sup>2</sup>	Суммарное среднесуточное удельное солнечное излучение, $\mathcal{E}_{уд год \beta}$ , кВт·ч/м <sup>2</sup>	Стоимость дизельного топлива, руб/л																										
1	2	3	4																										
Республика Алтай, Аргыбашское сельское поселение (Турочакский район)	<table border="1"> <caption>Monthly solar radiation data (kWh/m²)</caption> <thead> <tr><th>Month</th><th>Value</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>3.0</td></tr> <tr><td>2</td><td>4.0</td></tr> <tr><td>3</td><td>5.0</td></tr> <tr><td>4</td><td>4.8</td></tr> <tr><td>5</td><td>5.0</td></tr> <tr><td>6</td><td>5.2</td></tr> <tr><td>7</td><td>4.8</td></tr> <tr><td>8</td><td>4.8</td></tr> <tr><td>9</td><td>4.2</td></tr> <tr><td>10</td><td>3.2</td></tr> <tr><td>11</td><td>2.2</td></tr> <tr><td>12</td><td>2.3</td></tr> </tbody> </table>	Month	Value	1	3.0	2	4.0	3	5.0	4	4.8	5	5.0	6	5.2	7	4.8	8	4.8	9	4.2	10	3.2	11	2.2	12	2.3	1485	62,40
Month	Value																												
1	3.0																												
2	4.0																												
3	5.0																												
4	4.8																												
5	5.0																												
6	5.2																												
7	4.8																												
8	4.8																												
9	4.2																												
10	3.2																												
11	2.2																												
12	2.3																												

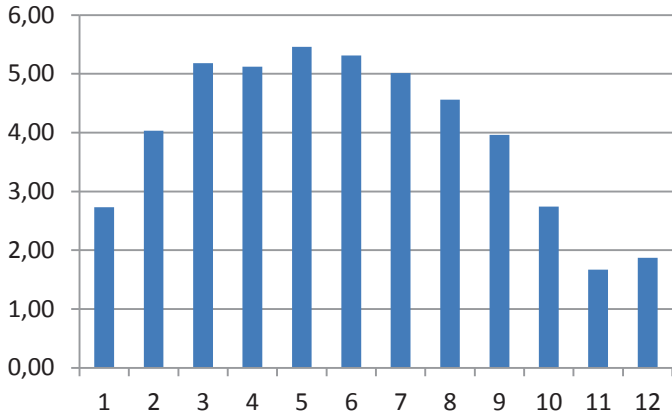
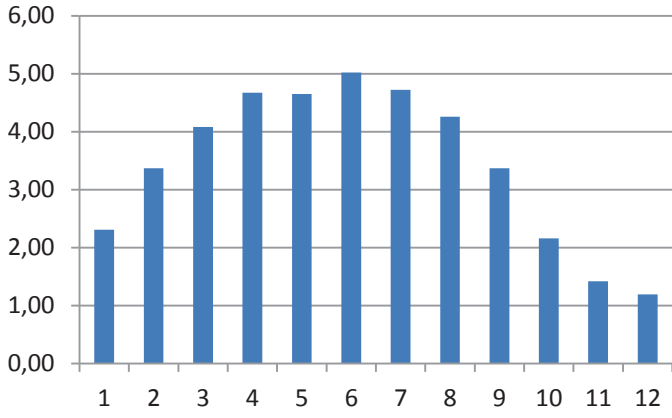
Продолжение табл. 1

1	2	3	4																										
Республика Тыва, с. Качык (Эрзин- ский кожуун)	 <table border="1"> <caption>Data for Republic of Tyva, s. Kachyk</caption> <thead> <tr><th>Month</th><th>Value</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>2.8</td></tr> <tr><td>2</td><td>4.1</td></tr> <tr><td>3</td><td>5.5</td></tr> <tr><td>4</td><td>5.3</td></tr> <tr><td>5</td><td>5.4</td></tr> <tr><td>6</td><td>5.5</td></tr> <tr><td>7</td><td>5.2</td></tr> <tr><td>8</td><td>5.0</td></tr> <tr><td>9</td><td>4.8</td></tr> <tr><td>10</td><td>3.8</td></tr> <tr><td>11</td><td>2.4</td></tr> <tr><td>12</td><td>2.2</td></tr> </tbody> </table>	Month	Value	1	2.8	2	4.1	3	5.5	4	5.3	5	5.4	6	5.5	7	5.2	8	5.0	9	4.8	10	3.8	11	2.4	12	2.2	1571	67,33
Month	Value																												
1	2.8																												
2	4.1																												
3	5.5																												
4	5.3																												
5	5.4																												
6	5.5																												
7	5.2																												
8	5.0																												
9	4.8																												
10	3.8																												
11	2.4																												
12	2.2																												
Республика Хакасия, с. Бея (Бейский район)	 <table border="1"> <caption>Data for Republic of Khakassia, s. Beia</caption> <thead> <tr><th>Month</th><th>Value</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>2.2</td></tr> <tr><td>2</td><td>3.4</td></tr> <tr><td>3</td><td>4.7</td></tr> <tr><td>4</td><td>4.8</td></tr> <tr><td>5</td><td>5.0</td></tr> <tr><td>6</td><td>5.3</td></tr> <tr><td>7</td><td>5.0</td></tr> <tr><td>8</td><td>4.7</td></tr> <tr><td>9</td><td>4.0</td></tr> <tr><td>10</td><td>2.8</td></tr> <tr><td>11</td><td>1.8</td></tr> <tr><td>12</td><td>1.6</td></tr> </tbody> </table>	Month	Value	1	2.2	2	3.4	3	4.7	4	4.8	5	5.0	6	5.3	7	5.0	8	4.7	9	4.0	10	2.8	11	1.8	12	1.6	1366	61,60
Month	Value																												
1	2.2																												
2	3.4																												
3	4.7																												
4	4.8																												
5	5.0																												
6	5.3																												
7	5.0																												
8	4.7																												
9	4.0																												
10	2.8																												
11	1.8																												
12	1.6																												
Алтайский край, с. Шицуново (Шицуновский район)	 <table border="1"> <caption>Data for Altai Krai, s. Shitsunovo</caption> <thead> <tr><th>Month</th><th>Value</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>2.5</td></tr> <tr><td>2</td><td>3.8</td></tr> <tr><td>3</td><td>4.9</td></tr> <tr><td>4</td><td>5.0</td></tr> <tr><td>5</td><td>5.4</td></tr> <tr><td>6</td><td>5.5</td></tr> <tr><td>7</td><td>5.1</td></tr> <tr><td>8</td><td>5.0</td></tr> <tr><td>9</td><td>4.4</td></tr> <tr><td>10</td><td>3.0</td></tr> <tr><td>11</td><td>1.8</td></tr> <tr><td>12</td><td>1.9</td></tr> </tbody> </table>	Month	Value	1	2.5	2	3.8	3	4.9	4	5.0	5	5.4	6	5.5	7	5.1	8	5.0	9	4.4	10	3.0	11	1.8	12	1.9	1464	59,70
Month	Value																												
1	2.5																												
2	3.8																												
3	4.9																												
4	5.0																												
5	5.4																												
6	5.5																												
7	5.1																												
8	5.0																												
9	4.4																												
10	3.0																												
11	1.8																												
12	1.9																												
Красноярский край, п. Машуковка (Мотыгинский район)	 <table border="1"> <caption>Data for Krasnoyarsk Krai, p. Mashukovka</caption> <thead> <tr><th>Month</th><th>Value</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>2.1</td></tr> <tr><td>2</td><td>3.2</td></tr> <tr><td>3</td><td>3.9</td></tr> <tr><td>4</td><td>4.7</td></tr> <tr><td>5</td><td>4.6</td></tr> <tr><td>6</td><td>5.2</td></tr> <tr><td>7</td><td>4.9</td></tr> <tr><td>8</td><td>4.5</td></tr> <tr><td>9</td><td>3.3</td></tr> <tr><td>10</td><td>2.0</td></tr> <tr><td>11</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>12</td><td>1.2</td></tr> </tbody> </table>	Month	Value	1	2.1	2	3.2	3	3.9	4	4.7	5	4.6	6	5.2	7	4.9	8	4.5	9	3.3	10	2.0	11	1.5	12	1.2	1248	67,25
Month	Value																												
1	2.1																												
2	3.2																												
3	3.9																												
4	4.7																												
5	4.6																												
6	5.2																												
7	4.9																												
8	4.5																												
9	3.3																												
10	2.0																												
11	1.5																												
12	1.2																												

Продолжение табл. 1

1	2	3	4																										
<p>Красноярский край, п. Тура (Эвенкийский район)</p>	<table border="1"> <caption>Estimated data for Красноярский край, п. Тура (Эвенкийский район)</caption> <tr><th>Month</th><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td></tr> <tr><th>Value</th><td>1.3</td><td>2.9</td><td>4.2</td><td>5.1</td><td>4.9</td><td>4.8</td><td>4.4</td><td>3.5</td><td>2.8</td><td>1.6</td><td>1.1</td><td>0.6</td></tr> </table>	Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Value	1.3	2.9	4.2	5.1	4.9	4.8	4.4	3.5	2.8	1.6	1.1	0.6	1138	108
Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12																	
Value	1.3	2.9	4.2	5.1	4.9	4.8	4.4	3.5	2.8	1.6	1.1	0.6																	
<p>Иркутская область, с. Чехово (Нижнеудинский район)</p>	<table border="1"> <caption>Estimated data for Иркутская область, с. Чехово (Нижнеудинский район)</caption> <tr><th>Month</th><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td></tr> <tr><th>Value</th><td>3.0</td><td>4.3</td><td>5.2</td><td>5.1</td><td>5.1</td><td>5.0</td><td>4.8</td><td>4.5</td><td>4.2</td><td>3.4</td><td>2.4</td><td>2.1</td></tr> </table>	Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Value	3.0	4.3	5.2	5.1	5.1	5.0	4.8	4.5	4.2	3.4	2.4	2.1	1501	63,20
Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12																	
Value	3.0	4.3	5.2	5.1	5.1	5.0	4.8	4.5	4.2	3.4	2.4	2.1																	
<p>Кемеровская область, п. Ключевой (Таштагольский район)</p>	<table border="1"> <caption>Estimated data for Кемеровская область, п. Ключевой (Таштагольский район)</caption> <tr><th>Month</th><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td></tr> <tr><th>Value</th><td>2.6</td><td>3.6</td><td>4.5</td><td>4.7</td><td>5.0</td><td>5.3</td><td>5.0</td><td>4.8</td><td>4.1</td><td>2.9</td><td>1.8</td><td>1.9</td></tr> </table>	Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Value	2.6	3.6	4.5	4.7	5.0	5.3	5.0	4.8	4.1	2.9	1.8	1.9	1406	59,60
Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12																	
Value	2.6	3.6	4.5	4.7	5.0	5.3	5.0	4.8	4.1	2.9	1.8	1.9																	
<p>Новосибирская область, п. Советский (Купинский район)</p>	<table border="1"> <caption>Estimated data for Новосибирская область, п. Советский (Купинский район)</caption> <tr><th>Month</th><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td></tr> <tr><th>Value</th><td>2.3</td><td>3.4</td><td>4.4</td><td>4.9</td><td>4.9</td><td>5.1</td><td>4.8</td><td>4.4</td><td>3.5</td><td>2.3</td><td>1.4</td><td>1.5</td></tr> </table>	Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Value	2.3	3.4	4.4	4.9	4.9	5.1	4.8	4.4	3.5	2.3	1.4	1.5	1315	62,65
Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12																	
Value	2.3	3.4	4.4	4.9	4.9	5.1	4.8	4.4	3.5	2.3	1.4	1.5																	

Окончание табл. 1

1	2	3	4
Омская область, п. Нововаршавка (Нововаршавский район)		1449	58,05
Томская область, п. Катайга (Верхнекетский район)		1253	61,65

Анализ графиков, приведенных в таблице 1, показал, что ежемесячное суммарное среднесуточное удельное солнечное излучение на поверхности СМ при угле наклона  $\beta$  СМ, равному широте местности, в таких сельских поселениях, как Артыбашское (Республика Алтай), Качык (Республика Тыва), Нижнеудинское (Иркутская область), Шипуново (Алтайский край), в период с марта по август изменяется незначительно, а в зимние месяцы составляет 40–50 % от летних месяцев. Указанные сельские поселения расположены значительно выше над уровнем моря, чем остальные, преимущественно в горной местности, в отличие от остальных, расположенных в равнинной части Сибири. Состав, установленная мощность и режимы работы оборудования АГЭУ в каждом населенном пункте будут зависеть от изменения солнечного излучения в течение суток, месяца, года: чем равномернее будет

график поступления солнечного излучения на солнечную батарею (СБ), состоящую из СМ, тем меньше могут быть время работы ДЭС и емкость аккумуляторной батареи (АБ). Как показывает опыт эксплуатации АГЭУ в Тыве и других южных районах, использование СЭС в составе АГЭУ позволяет снизить потребление дизельного топлива на 25–50 %, а в северных районах, например, в п. Тура Красноярского края – на 20–25 %, тем самым продлить на указанные проценты срок службы ДГ.

**Сравнение себестоимости электроэнергии, произведенной СЭС и ДЭС.** Оценка эффективности использования СЭС может быть произведена путем сравнения себестоимости 1 кВт·ч электроэнергии, выработанной СЭС и полученной от традиционных источников [8, 9].

Капиталовложения  $K_{СЭС}$ , руб., в СЭС составят:



$$K_{СЭС} = K_{об\ СЭС} + K_{д} + K_{ос} + K_{м} + K_{пн} + K_{з} + K_{пр}, \quad (1)$$

где  $K_{об\ СЭС}$  – цена оборудования СЭС, руб.;

$K_{д}$  – стоимость доставки, руб.;

$K_{ос}$  – стоимость основания под солнечные модули, руб.;

$K_{м}$  – затраты на монтаж оборудования, руб.;

$K_{пн}$  – затраты на пусконаладочные работы, руб.;

$K_{з}$  – стоимость заземления, руб.;

$K_{пр}$  – прочие единовременные затраты, руб.

Цена оборудования, входящего в комплект СЭС, определяется, исходя из технических характеристик СЭС, и устанавливается производителем СЭС. В данном случае группой компаний «Хевел» [12].

Стоимость доставки оборудования СЭС в какой-либо регион России зависит от способа доставки (железнодорожный, автомобильный, речной или авиационный транспорт), расстояния от места производства до места назначения, веса и габаритных размеров груза.

Стоимость основания под солнечные модули также определяется из локальной сметы, в которую входят стоимость металлических изделий основания; планировка площадки под СЭС; монтаж основания под солнечные модули и кабели.

Затраты на монтаж оборудования СЭС и пусконаладочные работы определяются по локальной смете на данный вид работ для интересующей конфигурации СЭС. Эти затраты будут мало зависеть от различных регионов России, поэтому их принимаем одинаковыми.

Стоимость заземления будет зависеть от состава грунта и его удельной электропроводности, что скажется на размерах вертикальных и горизонтальных заземлителей, поэтому стоимость примем стандартной независимо от региона.

Капитальные затраты на монтаж сетчатого ограждения территории СЭС определяются по локальной смете и зависят от качества грунта, размера ограждения и других факторов и не отличаются по стоимости более чем на 10 %, поэтому эту величину можно принять единой для различных регионов в зависимости от площади, занимаемой СЭС.

Себестоимость электрической энергии, произведенной СЭС, в основном будет зависеть от первоначальной стоимости установки и количества выработанной в течение года электроэнергии, которая зависит от уровня солнечной радиации в рассматриваемом регионе.

Себестоимость электроэнергии, произведенной СЭС,  $C_{сэс}$ , руб/кВт·ч, определяется по формуле

$$C_{сэс} = (I_{ам} + I_{пр} + I_{обсл} + I_{пр}) / W_{СЭСгод}, \quad (2)$$

где  $I_{ам}$  – амортизационные отчисления, руб/год;

$I_{пр}$  – отчисления на текущий ремонт, руб/год;

$I_{обсл}$  – отчисления на обслуживание СЭС, руб/год;

$I_{пр}$  – прочие отчисления, которые можно принять равными 10 % от вышеперечисленных статей затрат, руб/год;

$W_{СЭСгод}$  – годовая выработка электроэнергии СЭС, кВт·ч.

Ежемесячная и годовая выработки электроэнергии СЭС в конкретном сель-

ском поселении могут быть рассчитаны, исходя из ежемесячного суммарного среднесуточного удельного солнечного излучения на поверхности СМ при угле наклона  $\beta$  СМ, равному широте местности,  $\mathcal{E}_{уд} i \beta$ , кВт·ч/м<sup>2</sup>, при учете реального КПД СМ, который составляет около 50 % от указываемого в технической характеристике СМ [20]. В расчетах для СМ группой компаний «Хевел» КПД принят равным 11 %.

Амортизационные отчисления учитывают возмещение основных производ-

ственных фондов в процессе износа оборудования и определяются по формуле

$$I_{ам} = K \cdot \alpha_{ам}, \quad (3)$$

где  $\alpha_{ам}$  – норма амортизационных отчислений.

Норма амортизационных отчислений рассчитывается в зависимости от срока службы установки:

$$\alpha_{ам} = 1/T = 1/25 = 0,04, \quad (4)$$

где  $T$  – срок службы установки, 25 лет.

Отчисления на текущий ремонт и обслуживание составят

$$I_{тр} = K \cdot \kappa_{тр}, \quad (5)$$

где  $\kappa_{тр}$  – норма отчислений на текущий ремонт, которую можно принять в размере 2–3 % от  $K$ .

вающего персонала отчислениями на обслуживание можно пренебречь.

При обслуживании оборудования СЭС ее владельцем без найма обслужи-

Для определения себестоимости электроэнергии от ДЭС необходимо определить капитальные вложения,  $K_{ДЭС}$ , руб., по формуле

$$K_{ДЭС} = K_{об ДЭС} + K_{д} + K_{пом} + K_{м} + K_{пн} + K_{з} + K_{пр}, \quad (6)$$

где  $K_{об ДЭС}$  – цена оборудования ДЭС, руб.;

$K_{з}$  – стоимость заземления, руб.;

$K_{д}$  – стоимость доставки, руб.;

$K_{пр}$  – прочие единовременные затраты, руб.

$K_{пом}$  – стоимость помещения под ДЭС, руб.;

Себестоимость электроэнергии, произведенной ДЭС,  $C_{ДЭС}$ , кВт·ч, определяется по формуле

$K_{м}$  – затраты на монтаж оборудования, руб.;

$K_{пн}$  – затраты на пусконаладочные работы, руб.;

$$C_{ДЭС} = (I_{ам} + I_{тр} + I_{обсл} + I_{пр} + I_{ГСМ}) / W_{ДЭС год}, \quad (7)$$

где  $I_{ам}$  – амортизационные отчисления, руб/год;

$W_{ДЭС год}$  – годовая выработка электроэнергии ДЭС, кВт·ч.

$I_{тр}$  – отчисления на текущий ремонт, руб/год;

При обслуживании оборудования ДЭС ее владельцем без найма обслуживающего персонала отчислениями на обслуживание можно также пренебречь. Для удобства сравнения годовую выработку электроэнергии от дизельной электростанции примем равной выработке от СЭС в том же районе.

$I_{обсл}$  – отчисления на обслуживание установки, руб/год;

$I_{пр}$  – прочие отчисления, которые можно принять равными 10 % от вышеперечисленных статей затрат, руб/год;

$I_{ГСМ}$  – издержки на горюче-смазочные материалы, руб/год;

Издержки на горюче-смазочные материалы определяются по формуле

$$I_{ГСМ} = W_{год} \cdot q_{гсм} \cdot C_{ГСМ}, \quad (8)$$

где  $q_{гсм}$  – удельный расход топлива на 1 кВт·ч выработанной электроэнергии,  $q_{гсм} = 375$  г/кВт·ч;

$C_{ГСМ}$  – стоимость 1 л дизельного топлива (с учетом доставки), руб/л.

Годовая экономия затрат на дизельное топливо, ЭК, руб/год, при замене электрической энергии, произведенной от ДЭС на электроэнергию, произведенной от СЭС в составе АГУЭ, составит

$$ЭК = И_{ГСМ} - C_{сэс} \cdot W_{СЭС}. \quad (9)$$

Тогда срок окупаемости затрат на СЭС,  $T_{ок}$ , лет, составит

$$T_{ок} = (K_{СЭС} - K_{ДЭС})/ЭК. \quad (10)$$

В качестве сравниваемых вариантов приняты следующие комплекты оборудования:

- гибридная электростанция Н8-DH-19200 (стоимость 1736,990 тыс. руб.) [12];
- номинальная мощность установки – 15 кВт;
- количество солнечных модулей – 48 шт.;
- занимаемая площадь солнечных модулей (ориент.) – 100 м<sup>2</sup>;
- емкость АКБ 4,8 кВт·ч;

– фотоэлектрический модуль Хевел HVL-320/НТ;

- инвертор Deye SUN-5K-SG03LP1-EU;
- АКБ 4 шт.;
- ДЭС (стоимость 536,981 тыс. руб.) [17]: дизель-генератор Motor АД15-Т400 R в контейнере с АВР мощностью 15 кВт.

Результаты моделирования экономических показателей сравниваемых вариантов электроснабжения сельских поселений Сибири представлены в таблице 2.

Таблица 2

**Результаты моделирования**

Населенный пункт	Себестоимость электроэнергии от СЭС, $C_{сэс}$ , руб/кВт·ч	Себестоимость электроэнергии от ДЭС, $C_{дэс}$ , руб/кВт·ч	Тарифы на электроэнергию от энергосбытовой компании для сельского населения, трехзонный тариф (ночь/пик/полупик), руб/кВт·ч [21]	Тарифы на электроэнергию для сельхозтоваропроизводителей, руб/кВт·ч [22]
1	2	3	4	5
Республика Алтай, Артыбашское сельское поселение	9,79	31,78	3,73/6,06/4,65	-
Республика Тыва, с. Качык	9,26	32,60	2,34/3,79/2,92	6,49
Республика Хакасия, с. Бея	10,65	32,77	0,85/2,31/1,87	6,61
Алтайский край, с. Шипуново	9,93	31,19	2,68/5,38/4,15	6,98

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5
Красноярский край, п. Машуковка	11,65	35,79	1,37/3,00/2,28	8,19
Красноярский край, п. Тура	16,38	56,92	-	-
Иркутская область, с. Чехово	9,69	32,03	0,662/1,292/0,994	4,42
Кемеровская область, п. Ключевой	10,34	31,70	1,97/3,78/3,02	3,40
Новосибирская область, п. Советский	11,06	33,51	2,07/3,30/2,68	5,69
Омская область, п. Нововаршавка	10,04	30,75	2,32/4,59/3,14	-
Томская область, п. Катайга	11,61	34,00	2,23/3,97/3,16	-

Срок окупаемости СЭС при замене ДЭС на АГЭУ, как показали расчеты, составит 10–15 лет при сроке службы СЭС 25 лет. Показатели сроков окупаемости просчитаны авторами статьи с использо-

ванием критерия чистого дисконтированного дохода (ЧДД) и показаны для примера для СЭС, установленной в Артыбашском сельском поселении (рис. 3).

**ЧДД при использовании оборудования СЭС  
(Артыбашское сельское поселение, республика Алтай)**

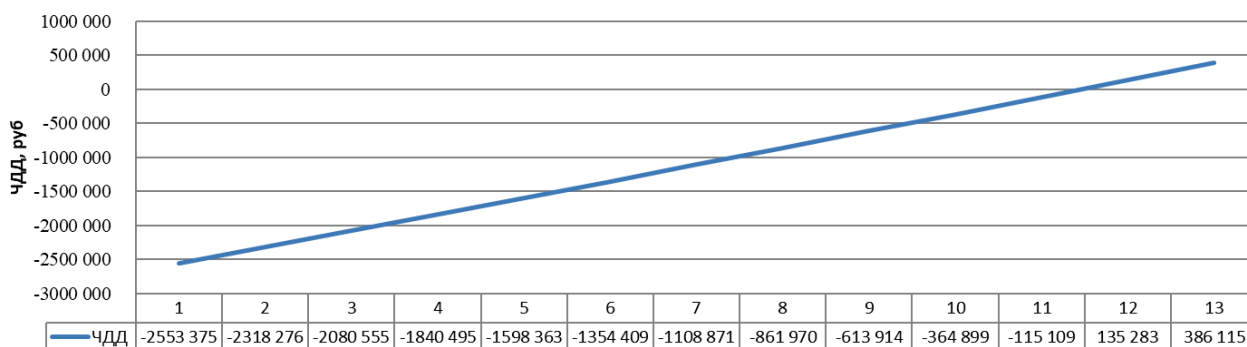


Рис. 3. Показатели ЧДД и дисконтированной величины срока окупаемости при использовании оборудования СЭС в Артыбашском сельском поселении Республики Алтай

Как видно из рисунка 3, величина ЧДД достигнет своего положительного значения через 11 лет при использовании оборудования СЭС.

**Заключение.** Ежемесячное суммарное среднесуточное удельное солнечное излучение на поверхности СМ при

угле наклона  $\beta$  СМ, равному широте местности, в таких сельских поселениях, как Артыбашское (Республика Алтай), Качык (Республика Тыва), Нижнеудинское (Иркутская область), Шипуново (Алтайский край), в период с марта по август изменяется незначительно, а в

зимние месяцы составляет 40–50 % от летних месяцев. Указанные сельские поселения расположены значительно выше над уровнем моря, чем остальные, преимущественно в горной местности, в отличие от остальных, расположенных в равнинной части Сибири. Использование СЭС в составе АГЭУ позволяет снизить потребление дизельного топлива на 25–50 %, а в северных районах, например, в п. Тура Красноярского края – на 20–25 %, тем самым продлить на указанные проценты срок службы ДГ.

Как показали результаты технико-экономического сравнения себестоимости электрической энергии, полученной от СЭС в 11 сельских поселениях Сибири, при использовании качественного отечественного оборудования, предлагаемого

группой компаний «Хевел», наименьшее значение себестоимости (порядка 10 руб/кВт·ч) в республиках Алтай, Тыва и Иркутской области, однако это значение примерно в 3 раза меньше, чем себестоимость электроэнергии от ДЭС в указанных сельских поселениях, где отсутствует централизованное электроснабжение.

При снижении себестоимости электроэнергии, производимой СЭС, на 25–50 % за счет использования более дешевого китайского оборудования, но неизвестного качества, СЭС могут быть востребованы сельхозтоваропроизводителями Красноярского и Алтайского краев, в которых тариф на электроэнергию для указанных потребителей составляет 8–9 руб/кВт·ч.

#### Список источников

1. Хе Х., Тягунов М.Г., Ту Р.М. Состояние и перспективы развития электроэнергетики Китая в контексте углеродной нейтральности промышленности // Вестник Московского энергетического института. 2022. № 3. С. 82–92.
2. Бастрон А.В., Ермакова И.Н., Михеева Н.Б. Солнечная энергетика как ресурс развития сельских поселений Красноярского края // Социально-экономический и гуманитарный журнал. 2018. № 3 (9). С. 33–47.
3. Ахметшин А.Т., Шерьязов С.К. Экономические особенности развития солнечной фотоэнергетики // Вестник УГНТУ. Серия: Экономика. 2017. № 2 (20). С. 57–66.
4. Обоснование состава и параметров автономной электростанции для фермерских хозяйств Алматинской области / И.Т. Алдибеков, К.Т. Тергемес, С.К. Шерьязов [и др.] // Вестник Алматинского университета энергетики и связи. 2022. № 2 (57). С. 32–47.
5. Использование солнечных фотоэлектрических станций для автономных систем электроснабжения крестьянско-фермерских хозяйств / А.В. Чебодаев, А.В. Бастрон, В.Н. Урсегов [и др.] // Энерго- и ресурсосбережение – XXI век: мат-лы XII Междунар. науч.-практ. интернет-конференции. 2016. С. 204–210.
6. Карамов Д.Н., Наумов И.В. Моделирование солнечной электростанции с учетом изменения параметров окружающей среды // Электрические станции. 2020. № 6 (1067). С. 21–28.
7. Карамов Д.Н., Наумов И.В. Моделирование и оптимизация установленной мощности сетевых инверторов фотоэлектрической системы // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2019. № 4 (64). С. 20–29.
8. Саврасов Ф.В., Лукутин Б.В. Расчет эффективности использования автономных систем электроснабжения с фотоэлектростанциями в условиях Западной Сибири // Известия Томского политехнического университета. 2013. Т. 322. № 6. С. 17–21.



9. Исследование технико-экономических показателей автономных энергокомплексов / *Б.С. Расходжаев, А.Х. Алимухамедов, У.З. Ахмаджонов* [и др.] // *Техника и технологии*. 2023. № 16(2). С. 138–148.
10. *Дебрин А.С., Бастрон А.В., Урсегов В.Н.* Обзор солнечных панелей и фотоэлектрических станций отечественных производителей // *Вестник КрасГАУ*. 2018. № 6 (141). С. 136–141.
11. Проекты ХЕВЕЛ / Группа компаний ХЕВЕЛ. URL: <https://www.hevelsolar.com/projects/> (дата обращения: 02.03.2023).
12. Внедрение энергоэффективных солнечных решений для надежного и круглосуточного энергоснабжения потребителей в удаленных и изолированных территориях / Группа компаний ХЕВЕЛ. URL: <https://www.hevelsolar.com/b2g/> (дата обращения: 02.03.2023).
13. «Россети» направят 1,45 млрд рублей на электроснабжение отдаленных сел Томской области. Солнечное энергоснабжение получают 28 населенных пунктов региона / ТАСС. URL: <https://tass.ru/ekonomika/12040983> (дата обращения: 16.04.2023).
14. Россети в Хакасии за 20 миллионов подключат фермеров к солнечным батареям. URL: <https://abakan.bezformata.com/listnews/kfh-hakasii-ot-visokih-tarifov/84180640/> (дата обращения: 10.04.2023).
15. POWER DATA ACCESS VIEWER / NASA Prediction Of World wide Energy Resources. URL: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer> (дата обращения: 10.04.2023).
16. *Бастрон А.В., Шеръязов С.К.* Энергообеспечение потребителей с использованием возобновляемых источников энергии: учеб. пособие. Красноярск, 2019. 118 с.
17. MOTOR АД15-Т400-Р В КОНТЕЙНЕРЕ С АВР / Дизельные генераторы. URL: [https://generator-kvt.ru/product/motor-ad15\\_t400\\_r-v-konteynere](https://generator-kvt.ru/product/motor-ad15_t400_r-v-konteynere) (дата обращения: 10.04.2023).
18. Продажа топлива и сопутствующих товаров / Сервис для быстрых заказов. URL: <http://xn--90aigexc.xn--p1ai/site/price?region=11235&range=year&value=2023-01> (дата обращения: 07.04.2023).
19. Цены на топливо 07 апреля 2023 г. / MultiGO: ТОПЛИВО. URL: <https://multigo.ru/benzin/58.1821;94.698/3> (дата обращения: 07.04.2023).
20. Исследование эффективности солнечных фотоэлектрических преобразователей в природных условиях / *С.Е. Щеклеин, Ю.Е. Немухин, В.И. Велькин* [и др.] // *Альтернативная энергетика и экология*. 2012. № 3 (107). С. 55–58.
21. Тарифный калькулятор для граждан Российской Федерации / Тарифный калькулятор для физических лиц. URL: <https://etarif.ru/fiz> (дата обращения: 10.04.2023).
22. Тарифный калькулятор для граждан Российской Федерации / Тарифный калькулятор для юридических лиц. URL: <https://etarif.ru/ur> (дата обращения: 10.04.2023).

### References

1. *Khe KH., Tyagunov M.G., Tu R.M.* Sostoyanie i perspektivy razvitiya ehlektroehnergetiki Kitaya v kontekste uglerodnoi neitral'nosti promyshlennosti // *Vestnik Moskovskogo ehnergeticheskogo instituta*. 2022. № 3. S. 82–92.
2. *Bastron A.V., Ermakova I.N., Mikheeva N.B.* Solnechnaya ehnergetika kak resurs razvitiya sel'skikh poselenii Krasnoyarskogo kraya // *Sotsial'no-ehkonomicheskii i gumanitarnyy zhurnal*. 2018. № 3 (9). S. 33–47.

3. *Akhmetshin A.T., Sher'yazov S.K.* Ehkonomicheskie osobennosti razvitiya solnechnoi fotoehnergetiki // Vestnik UGNTU. Seriya: Ehkonomika. 2017. № 2 (20). S. 57–66.
4. Obosnovanie sostava i parametrov avtonomnoi ehlektrostantsii dlya fermerskikh khozyaistv Almatinskoi oblasti / *I.T. Aldibekov, K.T. Tergemes, S.K. Sher'yazov* [i dr.] // Vestnik Almatinskogo universiteta ehnergetiki i svyazi. 2022. № 2 (57). S. 32–47.
5. Ispol'zovanie solnechnykh fotoehlektricheskikh stantsii dlya avtonomnykh sistem ehlektrosnabzheniya krest'yansko-fermerskikh khozyaistv / *A.V. Chebodaev, A.V. Bastron, V.N. Ursegov* [i dr.] // Ehnergo- i resursoberezhenie – XXI vek: matly XII Mezhdunar. nauch.-prakt. internet-konferentsii. 2016. S. 204–210.
6. *Karamov D.N., Naumov I.V.* Modelirovanie solnechnoi ehlektrostantsii s uchedom izmeneniya parametrov okruzhayushchei sredy // Ehlektricheskie stantsii. 2020. № 6 (1067). S. 21–28.
7. *Karamov D.N., Naumov I.V.* Modelirovanie i optimizatsiya ustanovlennoi moshchnosti setevykh invertorov fotoehlektricheskoi sistemy // Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie. 2019. № 4 (64). S. 20–29.
8. *Savrasov F.V., Lukutin B.V.* Raschet ehffektivnosti ispol'zovaniya avtonomnykh sistem ehlektrosnabzheniya s fotoehlektrostantsiyami v usloviyakh Zapadnoi Sibiri // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. 2013. T. 322. № 6. S. 17–21.
9. Issledovanie tekhniko-ehkonomicheskikh pokazatelei avtonomnykh ehnergokompleksov / *B.S. Rasakhodzhaev, A.KH. Alimukhamedov, U.Z. Akhmadzhonov* [i dr.] // Tekhnika i tekhnologii. 2023. № 16(2). S. 138–148.
10. *Debrin A.S., Bastron A.V., Ursegov V.N.* Obzor solnechnykh panelei i fotoehlektricheskikh stantsii otechestvennykh proizvoditelei // Vestnik KraSGAU. 2018. № 6 (141). S. 136–141.
11. Proekty KHEVEL / Gruppa kompanii KHEVEL. URL: <https://www.hevelsolar.com/projects/> (data obrashcheniya: 02.03.2023).
12. Vnedrenie ehnergoehffektivnykh solnechnykh reshenii dlya nadezhnogo i kruglosutochnogo ehnergosnabzheniya potrebitelei v udalennykh i izolirovannykh territoriyakh / Gruppa kompanii KHEVEL. URL: <https://www.hevelsolar.com/b2g/> (data obrashcheniya: 02.03.2023).
13. «RossetI» napravlyat 1,45 mlrd rublei na ehlektrosnabzhenie otdalennykh sel Tomskoi oblasti. Solnechnoe ehnergosnabzhenie poluchat 28 naselennykh punktov regiona / TASS. URL: <https://tass.ru/ekonomika/12040983> (data obrashcheniya: 16.04.2023).
14. Rosseti v Khakasii za 20 millionov podklyuchat fermerov k solnechnym batareyam. URL: <https://abakan.bezformata.com/listnews/kfh-hakasii-ot-visokih-tarifov/84180640/> (data obrashcheniya: 10.04.2023).
15. POWER DATA ACCESS VIEWER / NASA Prediction Of Word wide Energy Resources. URL: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer> (data obrashcheniya: 10.04.2023).
16. *Bastron A.V., Sher'yazov S.K.* Ehnergoobespechenie potrebitelei s ispol'zovaniem vozobnovlyaemykh istochnikov ehnergii: ucheb. posobie. Krasnoyarsk, 2019. 118 s.
17. MOTOR AD15-T400-R V KONTEINERE S AVR / Dizel'nye generatory. URL: [https://generator-kvt.ru/product/motor-ad15\\_t400\\_r-v-konteynere](https://generator-kvt.ru/product/motor-ad15_t400_r-v-konteynere) (data obrashcheniya: 10.04.2023).
18. Prodazha topliva i soputstvuyushchikh tovarov / Servis dlya bystrykh zakazov. URL: <http://xn--90aigexc.xn--p1ai/site/price?region=11235&range=year&value=2023-01> (data obrashcheniya: 07.04.2023).
19. Tseny na toplivo 07 aprelya 2023 g. / MultiGO: TOPLIVO. URL: <https://multigo.ru/benzin/58.1821;94.698/3> (data obrashcheniya: 07.04.2023).

20. Issledovanie ehffektivnosti solnechnykh fotoehlektricheskikh preobrazovatelei v naturnykh usloviyakh / *S.E. Shcheklein, YU.E. Nemikhin, V.I. Vel'kin* [i dr.] // *Alternativnaya ehnergetika i ehkologiya*. 2012. № 3 (107). S. 55–58.
21. Tarifnyi kal'kulyator dlya grazhdan Rossiiskoi Federatsii / Tarifnyi kal'kulyator dlya fizicheskikh lits. URL: <https://etarif.ru/fiz> (data obrashcheniya: 10.04.2023).
22. Tarifnyi kal'kulyator dlya grazhdan Rossiiskoi Federatsii / Tarifnyi kal'kulyator dlya yuridicheskikh lits. URL: <https://etarif.ru/ur> (data obrashcheniya: 10.04.2023).

Статья принята к публикации 5.07.2023/  
The article has been accepted for publication 5.07.2023.

Информация об авторах:

**Андрей Владимирович Бастрон**, заведующий кафедрой электроснабжения сельского хозяйства, кандидат технических наук, доцент

**Татьяна Николаевна Бастрон**, доцент кафедры системознергетики, кандидат технических наук, доцент

**Игорь Владимирович Наумов**, профессор кафедры электроснабжения и электротехники, доктор технических наук, профессор

**Ирина Валентиновна Ямщикова**, доцент кафедры экспертизы и управления недвижимостью, кандидат экономических наук, доцент

Information about the authors:

**Andrei Vladimirovich Bastron**, Head of the Department of Agricultural Power Supply, Candidate of Technical Sciences, Docent

**Tatyana Nikolaevna Bastron**, Associate Professor at the Department of System Energy, Candidate of Technical Sciences, Docent

**Igor Vladimirovich Naumov**, Professor at the Department of Power Supply and Electrical Engineering, Doctor of Technical Sciences, Professor

**Irina Valentinovna Yamschikova**, Associate Professor at the Department of Expertise and Real Estate Management, Candidate of Economic Sciences, Docent

