

EDN: VTJZHA

УДК 992.662

Research of Technical and Economic Indicators of Autonomous Energy Complexes

**Bakhramzhan S. Rasakhodzhaev^{*a, b},
Aziz Kh. Alimukhamedov^a, Usmonjon Z. Akhmadjonov^a,
Alisher U. Kamoliddinov^a and Abdurauf R. Khamdamov^a**

*^aNational Research Institute of Renewable Energy Sources
under the Ministry of Energy of the Republic of Uzbekistan
Tashkent, Republic of Uzbekistan*

*^bInstitute of Physics and Technology
Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan
Tashkent, Republic of Uzbekistan*

Received 07.12.2022, received in revised form 03.03.2023, accepted 08.02.2023

Abstract. The paper studies the technical and economic indicators of autonomous energy complexes designed for individual consumers with a rated power of 5 kW. Calculations of the most common types of energy complexes were carried out: autonomous photovoltaic station + diesel power plant, autonomous photovoltaic station + gas boiler, autonomous photovoltaic station + electric boiler, autonomous photovoltaic station + solid fuel boiler, intended for individual consumers. Calculations of the technical and economic indicators of autonomous energy complexes intended for individual consumers show that they are quite acceptable for their operation and the creation of hybrid autonomous energy complexes. Thus, when using autonomous energy complexes by individual consumers living far from the power line, it is recommended, depending on the availability of fuel and energy resources, to use hybrid autonomous energy complexes.

Keywords: autonomous energy complexes, diesel power plant, electric boiler, solid fuel boiler, hybrid autonomous energy complexes, individual consumers, economic efficiency, payback period.

Acknowledgements. The authors express special gratitude to the researchers of the National Research Institute of Renewable Energy Sources under the Ministry of Energy of the Republic of Uzbekistan.

Citation: Rasakhodzhaev, B.S., Alimukhamedov, A. Kh., Akhmadjonov, U.Z., Kamoliddinov, A.U., Khamdamov, A. R. Research of technical and economic indicators of autonomous energy complexes. J. Sib. Fed. Univ. Eng. & Technol., 2023, 16(2), 138–148. EDN: VTJZHA



Исследование технико-экономических показателей автономных энергокомплексов

Б. С. Расаходжаев^{а, б}, А. Х. Алимухамедов^а,
У. З. Ахмаджонов^а, А. У. Камолиддинов^а, А. Р. Хамдамов^а

^аНациональный научно-исследовательский
институт возобновляемых источников энергии
при Министерстве энергетики Республики Узбекистан
Республика Узбекистан, Ташкент

^бФизико-технический институт
Академии наук Республики Узбекистан
Республика Узбекистан, Ташкент

Аннотация. В работе исследованы технико-экономические показатели автономных энергокомплексов с номинальной мощностью 5 кВт, предназначенных для индивидуальных потребителей. Проведены расчеты наиболее распространенных видов энергокомплексов: автономная фотоэлектрическая станция+дизельная электростанция, автономная фотоэлектрическая станция+газовый котел, автономная фотоэлектрическая станция+электрический котел, автономная фотоэлектрическая станция+котел на твердом топливе, предназначенных для индивидуальных потребителей. Расчеты технико-экономических показателей автономных энергокомплексов, предназначенных для индивидуальных потребителей, показывают, что вполне приемлемы для их эксплуатации и создания гибридных автономных энергокомплексов. Таким образом, индивидуальным потребителям, проживающим в отдалении от линии электропередач, рекомендуется в зависимости от обеспеченности топливно-энергетическими ресурсами, использовать гибридные автономные энергокомплексы.

Ключевые слова: автономные энергокомплексы, дизельная электростанция, электрический котел, котел на твердом топливе, гибридные автономные энергокомплексы, индивидуальные потребители, экономическая эффективность, сроки окупаемости.

Благодарности. Авторы выражают особую благодарность научным сотрудникам Национального научно-исследовательского института возобновляемых источников энергии при Министерстве энергетики Республики Узбекистан.

Цитирование: Расаходжаев Б. С. Исследование технико-экономических показателей автономных энергокомплексов / Б. С. Расаходжаев, А. Х. Алимухамедов, У. З. Ахмаджонов, А. У. Камолиддинов, А. Р. Хамдамов. Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии, 2023, 16(2). С. 138–148. EDN: VTJZHA

Введение

Вопросам рационального использования топливно-энергетических ресурсов и анализу энергетической эффективности при обогреве теплиц посвящены ряд фундаментальных и научно-практических исследований [1–6].

Расчеты по определению теплопотерь, расхода топливных ресурсов, необходимых для обеспечения потребного количества энергии за отопительный сезон: расход природного газа, твердого топлива (угля) и электроэнергии на отопление теплицы с трансформируемым (регулируемым) корпусом приведены в работе [7].

Экономическая эффективность на нетрадиционных и возобновляемых источниках энергии (НВИЭ) определяется на основе общепринятых для подобных случаев методов, таких как

соотношение затрат на производство и внедрение установок, и полученных от их применения экономических результатов. Экономией от внедрения установок является разница в себестоимости выпускаемой продукции по тем статьям, на которые влияет использование установки, а также рост прибыли, обусловленный использованием установки [8].

Вопросы оценки экономической эффективности от разработки и использования установок на традиционных источниках энергии достаточно подробно разработаны, однако для установок на НВИЭ этот вопрос остаётся нерешённым.

Целью данной статьи является исследование технико-экономических показателей автономных энергокомплексов, предназначенных для индивидуальных потребителей.

Методы и материалы

Подсчет экономии, полученной от разработки энергетической установки на НВИЭ. При выработке электрической энергии путем преобразования одного из видов НВИЭ (солнечной, ветровой, биомассы, геотермальной и т.д.) экономический эффект от её использования можно рассчитать [8] по формуле:

$$\mathcal{E} = (C_p - C_t) * N - (Z_p + (A_p * L_p)) / L_p, \quad (1)$$

где C_p и C_t – стоимость 1 кВт электрической энергии, получаемой от разработанной энергоустановки и от действующей электрической сети или от энергоустановки на традиционном виде топлива (дизель-генератора); N – количество потребляемой за год энергии от разработанной установки; Z_p – затраты на изготовление разработанной установки или часто их называют стоимостью установки; C ; A_p – годовые амортизационные расходы при эксплуатации разработанной установки; L_p – ожидаемые сроки службы разработанной установки (примем равным по 20 лет).

Годовые амортизационные отчисления при эксплуатации разработанной установки составляют около 2 % стоимости установки:

$$A_p = 2 \% * C. \quad (2)$$

В формуле (1) не учтены условно принятые равными затраты на эксплуатацию разработанных установок (зарплаты рабочим и др.) [9].

Сроки окупаемости применительно к установкам на НВИЭ определяется согласно [10] формуле:

$$T = K / \mathcal{E}, \quad (3)$$

где K – отпускная цена разработанной установки; \mathcal{E} – годовая экономическая эффективность от её использования.

Для исследования технико-экономических показателей проведены расчеты наиболее распространенных видов автономных энергокомплексов с номинальной мощностью 5 кВт, предназначенных для индивидуальных потребителей, проживающих в местах, отдаленных от линии электропередач.

Согласно межгосударственному стандарту ГОСТ [11], по физико-химическим показателям природные горючие газы должны соответствовать определенным требованиям и нормам:

теплота сгорания низшая, 31,8МДж/м³, 31800 кДж/ м³ тепла. Это означает, что при сжигании 1 м³ газа мы получим 31800 кДж тепловой энергии.

На 2022 год стоимость 1 м³ природного газа в Узбекистане составляет 380 сум.

Стоимость 1 кВт*ч электроэнергии для физических лиц (населения) составляет 295 сум и для юридических лиц (предприятий) 450 сум [12].

Количество энергии, вырабатываемой солнечными фотоэлектрическими модулями, определяется согласно [13] формуле:

$$W_{\text{ФЭС}} = P_{\text{фм}} \cdot (E_{\text{сум}} / I_{\text{исп}}) \cdot K_0 \cdot (1 - K_{\text{пот}}), \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (4)$$

где $P_{\text{фм}}$ – суммарная мощность солнечных фотоэлектрических модулей, кВт; $E_{\text{сум}}$ – суммарная солнечная энергия, поступающая на поверхность Земли в горизонтальной плоскости, кВт*ч/м²; $I_{\text{исп}}$ – интенсивность солнечной радиации, при которой фотоэлектрические модули тестируются, $I_{\text{исп}} = 1,0$ кВт/м²; K_0 – поправочный коэффициент пересчета суммарного потока солнечной энергии с горизонтальной плоскости на поверхность фотоэлектрических модулей; $K_{\text{пот}}$ – коэффициент, учитывающий потери солнечной батареи при преобразовании и передаче электроэнергии.

Результаты расчетов

Для определения суммарной солнечной энергии, поступающей на поверхность фотоэлектрических модулей, необходимо определить среднюю за сутки сумму прямой и рассеянной солнечной радиации. Средняя за сутки сумма прямой и рассеянной солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность при средних условиях облачности для конкретного месяца, определяется по табл. 10 КМК 2.01.01–94 по данным для ближайшего к месту строительства фотоэлектрических станций (ФЭС) населенного пункта. Умножив данное значение на число дней в соответствующем месяце, будет получена средняя за месяц сумма солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность [14].

На рис. 1 представлена средняя за месяц сумма солнечной радиации, поступающая на горизонтальную поверхность.

Как видно из рис. 1 максимальная суммарная солнечная радиация, поступающая на горизонтальную поверхность, приходится на июнь, июль и август, а самое минимальное значение – на декабрь и январь.

На основе данных о средней за месяц суммарной солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность, проводим расчеты по выработке электроэнергии ФЭС с номинальной мощностью 5 кВт (среднюю за месяц).

Результаты расчета количества электроэнергии, вырабатываемой ФЭС с номинальной мощностью 5 кВт, приведены на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что выработка электроэнергии ФЭС с номинальной мощностью 5 кВт напрямую зависит от поступающей солнечной радиации. Максимальная выработка электроэнергии приходится на июнь, июль и август, относительно минимальные выработки – на ноябрь, декабрь и январь. На примере рассмотрим выработки электроэнергии на июль месяц, при поступлении суммарной солнечной радиации 300 кВт/м²*месяц, в среднем выработка электроэнергии составляет 1180 кВт*месяц. Кривая, приходящая на март и февраль, объясняется тем,

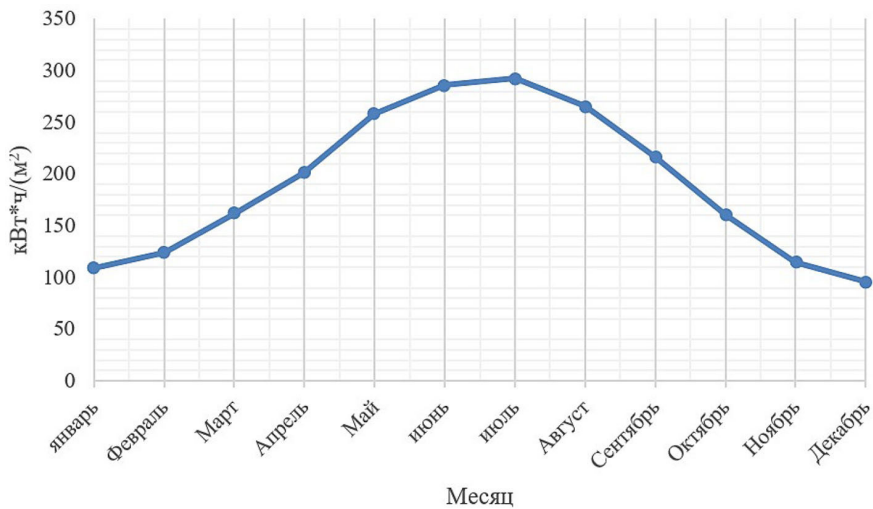


Рис. 1. Средняя за месяц сумма солнечной радиации, поступающая на горизонтальную поверхность
 Fig. 1. Monthly average amount of solar radiation arriving on a horizontal surface

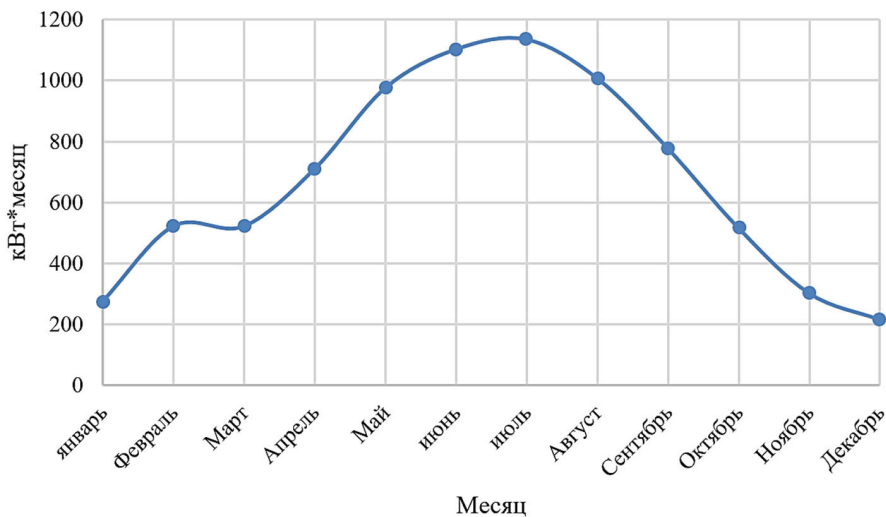


Рис. 2. Выработка электроэнергии фотоэлектрической станцией с номинальной мощностью 5 кВт, средняя за месяц

Fig. 2. Electricity generation of a photovoltaic plant with a rated power of 5 kW, monthly average

что в связи с осадками (снег и дождь) выработка электроэнергии становится квазистационарной, относительно медленно меняющейся. Согласно рис. 2 среднемесячные выработки электроэнергии от ФЭС представлены в табл. 1.

Согласно проведенным расчетам среднее значение количества энергии, вырабатываемое в год от ФЭС ($W_{\text{ФЭС}}$) с номинальной мощностью 5 кВт, составляет 673,33 кВт*год.

Таблица 1. Среднемесячные выработки электроэнергии от ФЭС, кВт*час в месяц

Table 1. Average monthly electricity generation from a photovoltaic plant, kW*h per month

Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
280	530	520	710	990	1100	1150	1010	790	535	300	210

Обсуждение

Технико-экономические показатели автономных энергокомплексов характеризуются экономической эффективностью и сроками окупаемости.

Для расчета экономической эффективности необходимо определить расходы на материалы и оборудование автономных энергокомплексов.

Расход материалов и оборудования на автономные фотоэлектрические станции (АФЭС), предназначенных для индивидуальных потребителей с общей мощностью 5 кВт, приведен в табл. 2.

На основе полученных данных табл. 2 производим расчеты общей стоимости, экономической эффективности и сроки окупаемости автономных энергокомплексов с общей мощностью 5 кВт, предназначенных для индивидуальных потребителей.

Таблица 2. Комплектующие оборудования энергокомплексов, необходимые материалы и их стоимости

Table 2. Components of equipment of power complexes, necessary materials and their costs

№	Комплектующие оборудования и необходимые материалы	Количество, штук	Стоимость материала, сум	Общая стоимость, сум
1	2	3	4	5
1.	Автономная фотоэлектрическая станция по типу соединения «Off-grid»			
1.1.	Фотоэлектрический модуль, Монокристалл, класс А, 158.8x79.4 мм 410 Вт, Распределительная коробка IP 68 Габариты 2008x1002x40 мм.	14	3000 000	42 000 000
1.2.	Соединяющие кабели, Соединительный кабель FF Flashfish DC 5521 (5,5 мм x 2,1 мм), кабель с вилкой 8AWG для подключения электростанции.	38	24 760	902 880
1.3.	Инвертор, гибридный 5 кВт.	1	7 200 000	7 200 000
1.4.	Каркас для удержания: металлический профиль. пог.м.	120	46 666	5 600 000
1.5.	Аккумуляторные батареи, 12В 200А*час	12	3000 000	36 000 000
1.6.	Прочие расходы			5 000 000
	Всего:			96 702 880
2.	Дизельная электростанция, мощностью 5 кВт, 220 В, 50 Гц. Монтаж бесплатный.	1	14 000 000	14 000 000
3.	Газовый котел. Лемакс АОГВ-11,6–1 Газовик с автоматикой безопасности 630 EUROSIT. Максимальная мощность, кВт: 11,6.	1	5 077 000	5 077 000
3.1.	Монтаж газового котла		300 000	300 000
	Всего:			5 377 000

Продолжение табл. 1

Table 1 Continuation

1	2	3	4	5
4.	Электрический котел. Производитель – Intergas (Узбекистан). Модель – MiniLux. Мощность – 15 кВт, Питание – 380В / 50 Гц, Отопительная площадь – 150 м ² .	1	2 300 000	2 300 000
4.1.	Монтаж электрического котла		300 000	300 000
	Всего:			2 600 000
5.	Котел твердотопливный, на угле. Котёл водогрейный стальной, твердотопливный TIS PRO DR 17.	1	11 673 196	11 673 196
5.1.	Монтаж твердотопливного котла.		450 000	450 000
	Всего:			12 123 196

Примечание: цены материалов и оборудования получены на 05.11.2022 года.

По формуле (1) проведены расчеты по определению общей стоимости, стоимости вырабатываемой электроэнергии за 1 кВт*час, экономической эффективности и сроки окупаемости автономных энергокомплексов с общей мощностью 5 кВт: АФЭС+дизельная электростанция (ДЭС), АФЭС+Газовый котел, АФЭС+Электрический котел, АФЭС+Котел на твердом топливе, угле, предназначенных для индивидуальных потребителей, результаты расчетов приведены табл. 3.

Таблица 3. Техничко-экономические показатели энергокомплексов

Table 3. Technical and economic indicators of energy complexes

№	Наименование энергокомплексов	Общая стоимость, сум	Стоимость электроэнергии, 1 кВт*час, сум	Экономическая эффективность, сум	Сроки окупаемости, лет
1.	Автономная фотоэлектрическая станция, по типу соединения «Off-grid».	96 702 880	26 861,9	11 014 723	8,8
2.	Гибридные станции «Hybrid» АФЭС+ДЭС	110 702 880	30 750,8	12 652 698	8,7
3.	АФЭС+Газовый котел	102 079 880	28 355,5	11 644 018,7	8,7
4.	АФЭС+Электрический котел	99 302 880	27 584	11 318 934,6	8,7
5.	АФЭС+ Котел на твердом топливе, угле	108 826 076	30 229,5	12 433 268,7	8,7

Примечание: Рекомендуемые марки энергооборудований для создания автономных энергокомплексов: дизельная электростанция (ДЭС), Lifan-DG5500–4, номинальная мощность 5 кВт, максимальная мощность 5,5 кВт, выходное напряжение 220 В, производство: Китай;

– газовый котел настенный, Vaillant VUW 242/5–3 24 KWT 220 В, количество контуров: двухконтурный. Тепловая мощность: 8–24 кВт. Тепловая нагрузка: 9.40–26.70 кВт. Камера сгорания: закрытая. КПД: 91 %. Управление: электронное. Производство: совместное предприятие Чехия-Германия;

– электрический котел, отопительный ELECTRO. Мощность: 4.5–10 кВт. Тип подключения: Однофазное/Трёхфазное. Способ установки: настенный. Количество контуров: одноконтурный. Способ нагрева теплоносителя: тэновый. Производство: Россия;

– стальной твердотопливный котел от производителя Buderus Logano S 111–2 – сконструированный для сжигания дров, угля или кокса. Этот котел может быть встроен в существующую систему отопления. Твердотопливный котел, имеет компактные габариты, что дает возможность размещать аппарат в небольших домах. Производство: Германия.

Пример расчета экономической эффективности автономной фотоэлектрической станции с номинальной мощностью 5 кВт.

$$\mathcal{E} = (C_p - C_t) * N - (Z_p + (A_p * L_p)) / L_p,$$

где C_p – стоимость 1 кВт электрической энергии, получаемой от разработанной энергоустановки, равна 26861,9 сум (см. табл. 2.); C_t – стоимость 1 кВт электрической энергии, получаемой [11] от действующей электрической сети, для физических лиц (производственных организаций) равна 450 сум; N – количество потребляемой за год энергии от разработанной установки, автономной фотоэлектрической станции с номинальной мощностью 5 кВт составляет 673,33 кВт*час в год (определено согласно графику рис. 2.). Средняя годовая сумма солнечной радиации, поступающая на горизонтальную поверхность, при средних условиях облачности для г. Ташкента равна 1684 кВт*ч/(м²*год) [13]; Z_p – затраты на изготовление разработанной установки, автономную ФЭС с номинальной мощностью 5 кВт, стоимость составляет 96 702 880 сум; A_p – годовые амортизационные отчисления при эксплуатации разработанной установки составляют около 2 % от стоимости установки:

$$A_p = 2 \% * C = 0,02 * 96\,702\,880 = 1\,934\,057,6 \text{ сум.}$$

L_p – ожидаемые сроки службы разработанной установки (примем равным 20 лет).

$$\begin{aligned} \mathcal{E} &= (26861,9 - 450) * 673,33 - (96\,702\,880 + (1934057,6 * 20)) / 20 = \\ &= (26411,9 * 673,33) - (96702880 + 38681152) / 20 = \\ &= 17\,783\,924,6 - 6769201,6 = 11\,014\,723 \text{ сум} \end{aligned}$$

Экономическая эффективность автономной фотоэлектрической станции с номинальной мощностью 5 кВт составляет 11 014 723 сум.

Произведем расчеты по определению срока окупаемости по формуле 3

$$T = K / \mathcal{E},$$

где K – отпускная цена разработанной установки составляет 96 702 880 сум; \mathcal{E} – годовая экономическая эффективность использования автономной фотоэлектрической станции с номинальной мощностью 5 кВт составляет 11 014 723 сум.

$$T = K / \mathcal{E} = 96702880 / 11\,014\,723 = 8,8 \text{ (8 лет 8 месяцев).}$$

Сроки окупаемости автономной фотоэлектрической станции с номинальной мощностью 5 кВт составляют 8,8 лет.

Заключение

Таким образом, исследование технико-экономических показателей автономных энергокомплексов с номинальной мощностью 5 кВт, предназначенных для индивидуальных потребителей, показывает, что, в зависимости от общей стоимости 96 702 880 сум и годовой экономической эффективности использования 11 014 723 сум, сроки окупаемости АФЭС составляют 8,8 года и вполне приемлемы для их эксплуатации и создания гибридных энергокомплексов: АФЭС+ДЭС, АФЭС+Газовый котел, АФЭС+Электрический котел, АФЭС+Котел на твердом топливе.

На основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- изучены технико-экономические показатели автономных энергокомплексов с номинальной мощностью 5 кВт, предназначенных для индивидуальных потребителей;
- проведены расчеты наиболее распространенных видов энергокомплексов с общей мощностью 5 кВт: АФЭС+ДЭС, АФЭС+Газовый котел, АФЭС+Электрический котел, АФЭС+Котел на твердом топливе, предназначенных для индивидуальных потребителей;
- расчеты технико-экономических показателей автономных энергокомплексов, предназначенных для индивидуальных потребителей, показывают, что вполне приемлемы для их эксплуатации и создания систем электроснабжения и теплоснабжения, гибридных автономных энергокомплексов: АФЭС+ДЭС, АФЭС+Газовый котел, АФЭС+Электрический котел, АФЭС+Котел на твердом топливе;
- индивидуальным потребителям, проживающим в местах, отдаленных от линии электропередач, рекомендуется в зависимости от обеспеченности топливно-энергетическими ресурсами использовать гибридные автономные энергокомплексы.

Список литературы / References

- [1] Сулайманов Ш.С. *Экономическая теория. Ч. 1*. Ош: КУУ, 1998, 142. [Sulaimanov Sh. S. *Economic theory. Part 1*. Osh: KUU, 1998, 142. (in Rus.)]
- [2] Кумекова Н.Х., Казакеев А.К., Савинова М.И. и др. *Основы экономической теории*. Бишкек, 1993, 247. [Kumekova N. H., Kazakeev A. K., Savinova M. I. et al. *Fundamentals of economic theory*. Bishkek, 1993, 247 (in Rus.)]
- [3] Денисов В.И. *Технико-экономические расчеты в энергетике: Методы экономического сравнения вариантов*. М.: Энергоатомиздат, 1985. 216. [Denisov V.I. *Technical and economic calculations in power engineering: Methods of economic comparison of options*. Moscow: Energoatomizdat, 1985. 216. (in Rus.)]
- [4] Агаркова А.М., Шишко Г.Г. *Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов при эксплуатации теплиц*. Киев: Будивельник, 1985. 120. [Agarkova A. M., Shishko G. G. *Rational use of fuel and energy resources in the operation of greenhouses*. Kiev: Budivelnik, 1985. 120. (in Rus.)]
- [5] Rasakhodzhaev B., Makhmudov S., Muminov F. *Selection of a heating system based on climatic conditions of Uzbekistan and on calculations of the technical and economic indicators of alternative systems: A case study of the solar greenhouse with a transformable building*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, 939(1), 012003.
- [6] Исманжанов А.И., Клычев Ш.И., Расаходжаев Б.С. *Солнечные установки для индивидуального пользования в сельской местности и в горных регионах*. Российская Федерация. Изд. НОО «Профессиональная наука». 2020. 131. [Ismanzhanov A.I., Klychev Sh.I., Rasakhodzhaev B.S. *Solar installations for individual use in rural areas and in mountainous regions*. Russian Federation. Ed. NOO “Professional science”. 2020. 131. (in Rus.)]
- [7] Расаходжаев Б.С., Адылов Ч.А., Токонова Т.С., Райымбаев Ж.Ч. *Оценка энергоэффективности гелиотеплиц с трансформируемым (регулируемым) корпусом*. Наука. Образование. Техника. 3(69). Ош. 2020. 36–45. [Rasakhodzhaev B.S., Adylov Ch.A., Tokonova T.S., Rayymbaev Zh. Ch. *Assessment of energy efficiency of solar thermal cells with a transformable (adjustable) housing*. The science. Education. Technic. 3(69). Osh. 2020. 36–45 (in Rus.)]

[8] Исманжанов А. И. и др. *Оценка технико-экономических показателей установок на нетрадиционных и возобновляемых источниках энергии* / Известия ОшТУ, 2003, 1. 142–146. [Ismanzhanov A. I. and others. *Assessment of technical and economic indicators of installations on unconventional and renewable energy sources* / Izvestiya OshTU, 2003, 1. 142–146. (in Rus.)]

[9] *Пособие для расчета экономической эффективности от внедрения изобретений и рационализаторских предложений*. М., 1977. 73. [Manual for calculating the economic efficiency from the introduction of inventions and rationalization proposals. Moscow, 1977. 73. (in Rus.)]

[10] Расаходжаев Б. С. *Разработка солнечных водонагревательных установок на основе грунтовых солнечных коллекторов и исследование их эксплуатационных характеристик*: Диссер. канд. наук: 05.14.08. Ташкент, 2011. 131. [Rasakhodzhaev B. S. *Development of solar water heating installations based on ground-based solar collectors and study of their operational characteristics*: Dissert. Candidate of Sciences: 05.14.08. Tashkent, 2011. 131 (in Rus.)]

[11] ГОСТ 5542–2014. Газы горючие природные промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия (Издание с Поправкой). [GOST 5542–2014. Natural combustible gases for industrial and municipal purposes. Technical specifications (Amended Edition). (in Rus.)]

[12] <https://minenergy.uz>

[13] ШНК 2.04.15–20 Фотоэлектрические станции / Минстрой РУз. Ташкент, 2020. 23. [SHNK 2.04.15–20 Photovoltaic stations / Minstroy RUz. Tashkent, 2020. 23. (in Rus.)]

[14] КМК 2.01.01–94 РУз. Климатические и физико-геологические данные для проектирования / Госкомархитектстрой РУз. Ташкент. ТИПО им. Ибн-Сино, 1994, 28. [КМК 2.01.01–94 РУз. Climatic and physico-geological data for design / Goskomarchitectstroy RUz. Tashkent. LIKE them. Ibn-Sino, 1994, 28. (in Rus.)]

[15] Матчанов Н. А., Ахадов Ж. З., Расаходжаев Б. С., Ахмаджонов У. З. *Программа для метода расчета по определению основных параметров автономных фотоэлектрических станций малой мощности*. Гувохнома № DGU 06884 от 06.09.2019. [Matchanov N. A., Akhadov Zh. Z., Rasakhodzhaev B. S., Akhmadzhonov U. Z. *A program for the calculation method for determining the main parameters of autonomous photovoltaic plants of low power*. Guvokhnoma no. DGU 06884 dated 06.09.2019. (in Rus.)]

[16] Матчанов Н. А., Ахадов Ж. З., Расаходжаев Б. С., Ахмаджонов У. З. *Программа для метода расчета по определению влияния внешних факторов на характеристики фотоэлектрических модулей*. № DGU 06930 от 23.09.2019. [Matchanov N. A., Akhadov Zh. Z., Rasakhodzhaev B. S., Akhmadzhonov U. Z. *A program for the calculation method for determining the effects of external factors on the characteristics of photovoltaic modules*. No. DGU 06930 dated 09/23/2019. (in Rus.)]

[17] Исманжанов А. И., Мурзакулов Н. А. *Энергоэкономные гелиопанели*. Ош: КУУ, 2018. 135. [Ismanzhanov A. I., Murzakulov N. A. *Energy-efficient solar panels*. Osh: KUU, 2018. 135. (in Rus.)]

[18] Иродионов А. Е., Найденов А. В., Потапов В. Н., Стребков Д. С. *Расчетное проектирование Солнечных комбинированных энергоустановок*. Гелиотехника. 1988. 4. 23–26. [Irodionov A. E., Naydenov A. V., Potapov V. N., Strebkov D. S. *Computational design of Solar combined power plants*. Solar engineering. 1988. 4. 23–26. (in Rus.)]

[19] Сейиткурбанов С., Сергеев В. А., Кутлиев Г. *Разработка математической модели и оптимизация основных параметров, комбинированных гелиоветроэнергетических агрегатов*. Гелиотехника 1989, 5. 67–72. [Seyitkurbanov S., Sergeev V. A., Kutliev G. *Development of a mathematical*

model and optimization of the main parameters of combined solar and wind power units. Heliotechnika 1989, 5. 67–72. (in Rus.)]

[20] Сейиткурбанов С., Сергеев В. А. *Оценка эффективности, комбинированной гелиоветро-теплонасосной установок. Гелиотехника 1989, 6. 48–52. [Seyitkurbanov S., Sergeev V. A. Evaluation of the efficiency of combined solar-wind-heat pump installations. Heliotechnika 1989, 6. 48–52. (in Rus.)]*

[21] Хачатуров М. Л. *Моделирование и расчет автономных фотоэлектрических систем электропитания. Гелиотехника 1989, 6. 53–57. [Khachaturov M. L. Modeling and calculation of autonomous photovoltaic power supply systems. Heliotechnika 1989, 6. 53–57. (in Rus.)]*