

УДК 620.92
DOI: 10.36979/1694-500X-2024-24-4-73-80

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ
НА ПРИМЕРЕ РАСЧЕТА ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ
ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ДОМА**

Т.Ю. Каплина, Н.С. Саякбекова, Б.Н. Джумагулова

Аннотация. На примере расчета фотоэлектрической установки для энергоснабжения жилого дома, расположенного в Тонском районе Кыргызской Республики, рассматривается возможность использования солнечной энергии, позволяющая снизить потребление электрической энергии из общей электросети. Приводится обоснование использования фотоэлектрической установки для обеспечения электроэнергией жилых помещений. Доказано, что суммарная потребляемая электрическая мощность одного среднестатистического сельского дома обеспечивается в полном объеме. Изучение географического расположения, климатической зоны и количества солнечных дней в году производилось с помощью методов статистического и сравнительного анализа.

Ключевые слова: озеро Иссык-Куль; мощность; угол наклона; солнечная панель; модуль.

**ҮЙДҮ ЭЛЕКТР МЕНЕН КАМСЫЗДОО ҮЧҮН ФОТОЭЛЕКТРИК ОРНОТМОНУ
ЭСЕПТӨӨНҮН МИСАЛЫНДА ЭНЕРГИЯНЫН КАЙРА ЖАРЛУУЧУ
БУЛАКТАРЫН ПАЙДАЛАНУУНУН КЕЛЕЧЕГИ**

Т.Ю. Каплина, Н.С. Саякбекова, Б.Н. Джумагулова

Аннотация. Макалада Кыргыз Республикасынын Тоң районунда жайгашкан турак үйдү энергия менен камсыздоо үчүн фотоэлектр орнотмосун эсептөөнүн мисалында жалпы электр тармактарынан электр энергиясын керектөөнү азайтууга мүмкүндүк берүүчү күн энергиясын пайдалануу мүмкүнчүлүгү каралат. Турак жайларды электр энергиясы менен камсыз кылуу үчүн фотоэлектр орнотмосун колдонууга негиздеме келтирилген. Орточо айылдык бир үйдүн жалпы керектелген электр энергиясы толук көлөмдө камсыздалганы далилденген. Географиялык жайгашуусун, климаттык зонасын жана жылына күн ачык күндөрдүн санын изилдөө статистикалык жана салыштырма талдоо методдорун колдонуу менен жүргүзүлгөн.

Түйүндүү сөздөр: Ысык-Көл; кубаттуулук; жантайыш бурчу; күн панели; модуль.

**PROSPECTS FOR THE USE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES
USING THE EXAMPLE OF CALCULATION OF A PHOTOVOLTAIC INSTALLATION
FOR ELECTRICITY SUPPLY AT A HOME**

T.Yu. Kaplina, N.S. Sayakbekova, B.N. Dzhumagulova

Abstract. The relevance of the article is that, using the example of calculating a photovoltaic installation for power supply to a residential building located in the Ton district of the Kyrgyz Republic, the possibility of using an inexhaustible, environmentally friendly, renewable energy source, the sun, is considered as a priority, allowing to reduce the consumption of electrical energy from the general power grid. The article is to justify the use of a photovoltaic installation. The results obtained - the total consumed electrical power of one average rural house is provided in full. Using statistical and comparative analysis as research methods, the geographical location, climatic zone, and the number of sunny days per year were studied.

Keywords: Lake Issyk-Kul; power; tilt angle; a solar panel; module.

Введение. В связи с истощением запасов природных полезных ископаемых, используемых для выработки электроэнергии, весьма актуальной задачей становится использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) [1]. Во многих странах мира этим вопросам уделяется особое внимание не только с точки зрения научных исследований, но и результатам практической реализации достижений в этой области.

В Кыргызстане имеются практически все виды источников возобновляемой энергии. Ее ландшафт представлен практически всеми климатическими зонами – от вечной мерзлоты, например, пик Победы – горная вершина высотой 7439 метров, хребет Какшаал-Тоо, высшая точка Тянь-Шаня (рисунок 1) – до субтропического климата в Джалал-Абадской области (рисунок 2).

Перспективы освоения в Кыргызстане таких источников энергии как энергия солнца, ветра, воды не только осуществимы в ближайшей перспективе, но уже осваиваются в той или иной мере [2]. Существуют и разрабатываются различные солнечные и ветряные установки. Созданы научные направления. Изданы различные публикации по данной тематике – монографии, учебники, учебные пособия [3, 4].

Цель настоящего исследования – расчет фотоэлектрической установки для электроснабжения одного среднестатистического сельского дома для определения возможности устройства и эксплуатации таких установок в селах Тонского района Иссык-Кульской области. Тонский район занимает юго-западную часть Иссык-Кульской области Кыргызской Республики с общей площадью 712875 км² (рисунок 3). Географические координаты: 42° 2' с. ш. 78° 13' в. д., высота над уровнем моря – 1600–5000 м.

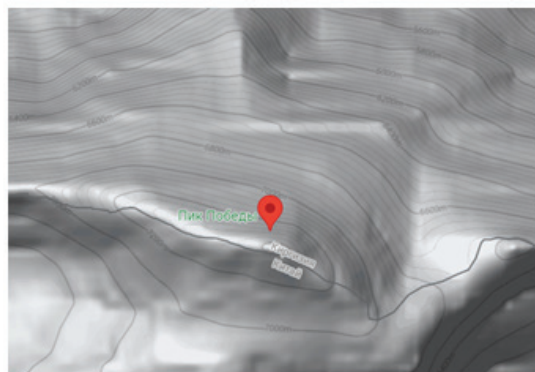


Рисунок 1 – Пик Победы



Рисунок 2 – Джалал-Абадская область



Рисунок 3 – Месторасположение Тонского района Иссык-Кульской области

В Тонском районе, расположенном на южном берегу озера Иссык-Куль, практически круглый год держится солнечная погода и, в отличие от северного берега, зимой редко выпадает снег. Климат на побережье озера Иссык-Куль умеренно-континентальный, теплый, сухой с включением элементов горного и морского климата. Количество часов солнечного сияния составляет в среднем 2700 часов в год, что больше, чем на Черном море. Для сравнения, количество часов солнечного сияния в Москве равно 1600 час в год. Температура воздуха днём в летние месяцы колеблется от +17 до +28 °С [5]. Климат и географическое расположение побережья Иссык-Куля – это те факторы, которые подтверждают возможность использования солнечной энергии для энергоснабжения жилых домов. Поэтому использование фотоэлектрических установок, при определенных экономических условиях, актуально и имеет хорошие перспективы. Фотоэлектрическая установка включает в себя: солнечный модуль; фотоэлектрическую панель; контроллер заряда; аккумуляторную батарею; инвертор (рисунок 4) [4].

Для расчета фотоэлектрической установки, которая позволила бы обеспечить электроэнергией жилой дом, использована электрическая нагрузка одного среднестатистического сельского дома (таблица 1).

Расчет выработки электроэнергии фотоэлектрической установки, состоящей из m солнечных модулей на площадке, расположенной под углом наклона модулей $\beta = 43^\circ$ [3, 4], осуществляем по формуле:

$$\mathcal{E}_i = \mathcal{E}_{ce} * F_{cm} * m * K_t * \eta_n * \eta_k * \eta_{акб} * \eta_{и}, \quad (1)$$

где \mathcal{E}_i – выработка электроэнергии фотоэлектрической установки; \mathcal{E}_{ce} – среднегодовое суммарное количество солнечной энергии, поступающей на наклонную поверхность, МДж/м², принимаем для Тонского района равным 3778,2 кВт ч [6]; F_{cm} – площадь солнечного модуля, м²; K_t – коэффициент,



Рисунок 4 – Фотоэлектрическая установка с дублирующим источником энергии из сети

Таблица 1 – Электрическая нагрузка одного сельского дома

№ п/п	Показатель	Мощность P, кВт	Кол-во электроприемников	Время работы, ч в сутки	Расчетная среднесуточная потребляемая энергия W, кВт*ч
1	Освещение	0,01	8	17:00-22:00 (5)	0,4
2	Бойлер	1,3	1	18:00-20:00 (2)	2,6
3	Холодильник	0,18	1	24	2,16
4	Телевизор	0,04	1	18:00-22:00 (4)	0,16
5	Стиральная машина	0,38	1	9:00-10:00 (1)	0,38
6	Компьютер	0,27	1	18:00-20:00 (2)	0,54
7	Электроплита	1,5	1	17:00-19:00 (2)	3
8	Электропечь	1,3	1	19:00-20:00 (1)	1,3
9	Зарядные устройства	0,05	1	20:00-22:00 (2)	0,1
	Всего	3,82	16	43	10,64

учитывающий влияние температуры модуля на его КПД; $\beta_{\text{п}}$ – коэффициент полезного действия фотоэлектрических панелей 0,14; $\beta_{\text{к}}$ – коэффициент полезного действия контроллера заряда, 0,87; $\beta_{\text{акб}}$ – коэффициент полезного действия аккумуляторных батарей, 0,85; $\beta_{\text{и}}$ – коэффициент полезного действия инвертора 0,9 [6]. При расчетной суммарной мощности электроэнергии 10,64 кВт*ч постоянного тока, с учетом потерь в инверторе, потребуется [7]:

$$P_{\text{инв}} = k * P_{\text{расч}}, \quad (2)$$

где k – коэффициент запаса, принимаемый $k = 1,25$; $P_{\text{расч}}$ – расчетная нагрузка, кВт.

Статистический метод позволяет определять расчетную нагрузку с любой принятой вероятностью ее появления. В практических расчетах достаточно принять вероятность превышения расчетной нагрузки от средней на 0,5 %, что соответствует $\beta = 2,5$, тогда:

$$P_{\text{расч}} = P_{\text{с}} + 2.5 * \sigma, \quad (3)$$

где $P_{\text{с}}$ – средняя мощность, кВт; σ – среднеквадратичное отклонение, кВт.

Средняя активная мощность суточного потребления дома составляет:

$$P_{\text{с}} = \frac{W_{\text{сут}}}{24} = \frac{10.6 \text{ кВт} * \text{ч}}{24 \text{ ч}} = 443 \text{ Вт}, \quad (4)$$

где $W_{\text{сут}}$ – суточная потребляемая электрическая энергия, кВт*ч.

Среднеквадратичное отклонение определяется по формуле:

$$\sigma = \sqrt{P_{\text{ск}}^2 - P_{\text{с}}^2}, \quad (5)$$

где $P_{\text{ск}}$ – среднеквадратичная мощность, Вт.

Среднеквадратичная мощность определяется по формуле:

$$P_{\text{ск}} = \sqrt{\frac{\sum p_i^2 * t_i}{\sum t_i}}, \quad (6)$$

где p_i – мощность i -го электрооборудования; t_i – время i -го электрооборудования.

Тогда среднеквадратичная мощность определяется:

$$P_{\text{ск}} = \sqrt{\frac{0.4^2 * 5 + 2.6^2 * 2 + 0.18^2 * 12 + 0.04^2 * 4 + 0.38^2 * 1 + 0.27^2 * 2 + 1.5^2 * 1 + 1.3^2 * 1 + 0.05^2 * 2}{24}} = 601 \text{ Вт}.$$

Среднеквадратичное отклонение:

$$\sigma = \sqrt{601^2 + 443^2} = 746.03 \text{ Вт}.$$

Расчетная нагрузка по (3):

$$P_{\text{расч}} = 443 + 2.5 * 746.03 = 2307.07 \text{ Вт}.$$

Выбирается мощность инвертора с учетом потерь в инверторе:

$$P_{\text{инв}} \geq 1.25 * P_{\text{расч}} = 1.25 * 2307.07 = 2883.8 \text{ Вт}. \quad (7)$$

Выбираем инвертор напряжения PowerStar W7 4000W/12V. $U_{ном} = 12 \text{ В}$, $P_{ном} = 4000 \text{ Вт}$. Для аккумулятирования энергии определяем суммарную ёмкость аккумуляторной батареи по суточной нагрузке:

$$q_{AB} = \frac{W_{сут} * 1000}{24} = \frac{10.64 * 1000}{24} = 886.6 \text{ А*ч.} \quad (8)$$

Глубина допустимого разряда аккумуляторной батареи составляет от 20–50 %. Коэффициент использования γ составит от 0,2 до 0,5. Заряд аккумуляторной батареи с учетом глубины разряда составит:

$$q_p = \frac{q_{AB}}{\gamma} = \frac{886.6}{0.5} = 1773.2 \text{ А*ч.} \quad (9)$$

С учетом коэффициента температуры окружающей среды в помещении, определим общую ёмкость:

$$q_{общ} = 1.11 * q_p = 1.11 * 1773.2 = 1968.2 \text{ А*ч.} \quad (10)$$

Выбираем VISIONFM12-200(200А/ч, 12V) с номинальным напряжением $U_{AB,ном} = 12 \text{ В}$ и ёмкостью $q_{ном} = 200 \text{ А*ч}$. Количество батарей, соединённых параллельно:

$$n_{AB,пар} = \frac{q_{общ}}{q_{ном}} = \frac{1968.2}{200} = 9.8 = 10 \text{ шт.} \quad (11)$$

Количество последовательно соединённых батарей:

$$n_{AB,посл} = \frac{U_{инв}}{U_{AB,ном}} = \frac{12}{12} = 1 \text{ секция.} \quad (12)$$

Требуемое количество аккумуляторных батарей:

$$N = \frac{n_{AB,пар}}{n_{AB,посл}} = \frac{10}{1} = 10 \text{ шт.} \quad (13)$$

Выбираем солнечные панели типа PLM 100/12. Количество модулей для фотоэлектрической установки определяем по формуле:

$$N_{эл} = \frac{P_{расч}}{P_{эл}} = \frac{2307.7}{100} = 23.07 = 24 \text{ шт.} \quad (14)$$

Количество солнечных панелей, соединённых параллельно:

$$N_{СП,пар} = \frac{N_{эл}}{N_{СП,посл}} = \frac{24}{1} = 24 \text{ шт.} \quad (15)$$

Количество последовательно соединённых батарей:

$$N_{СП,посл} = \frac{U_{инв}}{U_{СП,ном}} = \frac{12}{12} = 1 \text{ модуль.} \quad (16)$$

Площадь одной панели составляет $F = 1,06 * 0,81 = 0,85 \text{ м}^2$, тогда площадь всей фотоэлектрической системы будет:

$$F_{см} = 0.85 * 24 = 20.6 \text{ м}^2.$$

Коэффициент, учитывающий влияние температуры солнечного модуля на его КПД, определяется как:

$$K_t = 1 - [\alpha * (T - T_0)], \quad (17)$$

где T – температура окружающей среды для заданного месяца, К; $T = 25$ °С – стандартная температура солнечного элемента; α – градиент изменения КПД солнечного элемента от изменения температуры. Для кремниевых солнечных элементов α определяется:

$$\alpha = \frac{\eta_K}{120} = \frac{0.14}{120} = 0.0011, \quad (18)$$

где η_K – КПД солнечного элемента для расчетных условий (берется максимальное значение).

В соответствии с (17) коэффициент:

$$K_t = 1 - [0.0011 * (273 - 298)] = 1.027.$$

Количество солнечной радиации (1):

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = 3778.2 * 20.6 * 1 * 1.027 * 0.14 * 0.87 * 0.85 * 0.90 = 8560.4 \text{ кВт} * \text{ч}.$$

Годовая выработка электроэнергии фотоэлектрической установки при неизменном угле наклона фотоэлектрических модулей к горизонту в 43°:

$$\mathcal{E}_{\text{сут}} = W * 365 = 10.64 * 365 = 3883.6 \text{ кВт} * \text{ч}.$$

На основании произведенных расчетов определим избыток энергии, производимой фотоэлектрической станцией для электроснабжения дома:

$$\mathcal{E}_{\text{изб}} = \mathcal{E}_{\text{пост. (регул.) угле. i}} - \mathcal{E}_i. \quad (19)$$

$$\mathcal{E}_{\text{изб}} = 8560.4 - (10.64 * 365) = 4676.8 \text{ кВт} * \text{ч}.$$

Заключение. Избыток электрической энергии, производимой фотоэлектрической установкой, составил 4676,8 кВт*ч., 83 % ее поступает в сеть. Фотоэлектрические установки с избытком могут обеспечить электрической энергией среднестатистический сельский дом Тонского района Иссык-Кульской области Кыргызстана [8]. Решение об использовании фотоэлектрических установок нужно рассматривать на основании: юридически правовых аспектов; экономических расчетов; необходимой подготовки кадров; привлечения инвесторов. Учитывая постоянное повышение тарифов за потребляемую электрическую энергию, наверняка появятся и инвесторы, заинтересованные в использовании фотоэлектрических установок. Использование фотоэлектрических установок актуально не только для южного побережья Иссык-Куля, но и в других южных областях Кыргызстана, но также и в других странах. А использование аналитического сравнительного метода позволяет легко и с высокой вероятностью и точностью проводить расчеты необходимых параметров фотоэлектрических установок.

Поступила: 12.03.24; рецензирована: 26.03.24; принята: 28.03.24.

Литература

1. Насирдинова С.М. Разработка комбинированных систем теплоснабжения, сочетающих возобновляемые и традиционные источники энергии / С.М. Насирдинова, А. Досумбетов // Электронный журнал ВАК. Научные исследования в Кыргызской Республике. 2020. № 4. Часть I. С. 17–23.
2. Аккозиев И.А. Потенциал использования возобновляемых источников энергии и энергоэффективных технологий в секторе здравоохранения Кыргызской Республики / И.А. Аккозиев, М.К. Торопов, А.И. Буюклянов // Вестник КРСУ. 2012. Т. 12. № 10. С. 5–7.

3. Возобновляемые источники энергии: учебник: в 2 ч. Ч. 1: Теоретические основы нетрадиционной и возобновляемой энергетики / И.А. Аккозиев, В.В. Кириллов, М.К. Торопов [и др.]; под общ. ред. В.В. Кириллова. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2017. 343 с.
4. Возобновляемые источники энергии: учебник: в 2 ч. Ч. 2: Энергетические сооружения и оборудование нетрадиционной и возобновляемой энергетики / И.А. Аккозиев, В.В. Кириллов, М.К. Торопов [и др.]; под общ. ред. В.В. Кириллова. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2017. 302 с.
5. Большая российская энциклопедия. Исык-Куль / К.К. Эдельштейн. М., 2008. С. 95. // Большая российская энциклопедия: в 35 т.; гл. ред. Ю.С. Осипов; 2004–2017. Т. 12. ISBN 978-5-85270-343-9.
6. СНиП 2.01.01–82. Строительная климатология и геофизика. М.: Стройиздат, 1983.
7. ГОСТ Р515956–2000. Нетрадиционная энергетика. Солнечная энергетика. Коллекторы солнечные. Общие технические условия. Введ. 2001-01-01. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2000.
8. Кириллов В.В. Энергосбережение на основе использования солнечной энергии / В.В. Кириллов, Т.Г. Рожнова, З.Д. Сейдакматова // Вестник КРСУ. 2012. Т.12. № 10. С. 17–21.