

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Н. Алланазаров, Ш. Ылясова, Ч. Мулкиев

Государственный энергетический институт Туркменистана, г. Мары

Климатические и географические условия Туркменистана позволяют использовать возобновляемые источники энергии в нашей стране. Это, в частности, помогает улучшить энергообеспечение сельского населения и территорий, удаленных от центра. Одним из видов возобновляемых источников энергии является солнечная энергия. Климатические и географические условия Туркменистана позволяют получать солнечную энергию, активно использовать ее в промышленных и электрических областях для получения электрической и тепловой энергии [1]–[4]. Чтобы фотоэлектрическая электростанция обеспечивала необходимое количество электроэнергии, необходимо правильно подобрать элементы, входящие в ее состав. Вырабатываемая мощность фотоэлектрической солнечной установки зависит от солнечной радиации, полезного коэффициента солнечных панелей, ее общей площади и относительного положения горизонта. В табл. 1 показано среднее потребление электроэнергии в месяц для проживающей в одном доме семьи из 6 человек.

Таблица 1

Среднее потребление электроэнергии в месяц для проживающей в одном доме семьи из 6 человек

Потребитель электроэнергии	Мощность, кВт	Количество	Среднее время работы	Месячный расход электроэнергии, кВт · ч
Лампы освещения	0,06	10	5 ч в сутки	90
Чайник	2	1	0,5 ч в сутки	30
Конвектор (обогреватель)	1	1	4 ч в сутки (с учетом пауз)	120
Телевизор	0,3	1	5 ч в сутки	45
Стиральная машина	1,5	1	6 ч в неделю	36
Компьютер	0,3	1	2 ч в сутки	18
Микроволновая печь	1,2	1	0,5 ч в день	18
Пылесос	1,2	1	30 мин в неделю	3
Холодильник	1	1	2 ч в сутки (с учетом пауз)	60
Утюг	1,2	1	1,5 ч в неделю	7,2
Насос водоснабжения	1,5	1	При среднем включении 80 раз в сутки на 20 с	20
<i>Итого</i>				447,2

В табл. 1 приведены данные о потреблении электроэнергии бытовой техникой за месяц. Средняя потребляемая мощность составляет 14,9 кВт · ч в день. Проведем расчет фотоэлектрической солнечной электростанции в автономном режиме с учетом потребления этой электроэнергии. Электроэнергию, которую солнечные панели будут вырабатывать за день, можно определить по следующей формуле:

$$P_{\Pi} = ESN_{\Pi}\eta_{\Pi}\eta_{T},$$

где P_{Π} – электроэнергия, вырабатываемая солнечной панелью за сутки, кВт · ч; E – солнечная радиация на 1 м² площади в среднем за сутки, кВт · ч; S – площадь солнечной панели, м²; N_{Π} – количество солнечных панелей; η_{Π} – эффективность солнечной панели; η_{T} – коэффициент тепла солнечной панели (на летний сезон – 85 %, на зимний сезон – 1).

Количество солнечных панелей можно определить по следующей формуле, чтобы обеспечить бесперебойное электроснабжение потребителей за счет фотоэлектрической солнечной станции:

$$N_{\Pi} = \frac{P_C}{ES\eta_{\Pi}\eta_{T}},$$

где $P_C = P \cdot 1,2$ – следует учитывать потери в электрических проводах, солнечных контроллерах и инверторах, а также рост потребляемой мощности на 20 % из-за увеличения нагрузки и постепенного снижения эффективности фотоэлектрических элементов во время работы. Тогда:

$$P_C = P \cdot 1,2 = 14,9 \cdot 1,2 = 17,88 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Выработка солнечной панели зависит от количества солнечного излучения, которое она получает. Для г. Мары среднее количество радиации на 1 м² в сутки равно следующим данным (табл. 2) [4].

Таблица 2

Полученные данные

Месяцы	кВт · ч / (м ² · день)
Январь	2,3
Февраль	3,25
Март	4,1
Апрель	5,22
Май	6,33
Июнь	7
Июль	6,93
Август	6,27
Сентябрь	5,21
Октябрь	3,75
Ноябрь	2,66
Декабрь	2,02

Далее мы выполним расчет на примере солнечной панели SIM350-24-PERC-5BB [5]. Как видно из табл. 2, самый низкий период солнечной радиации в течение года – в декабре. Мы определим количество фотоэлектрических солнечных панелей

в соответствии с минимальным периодом солнечной радиации, чтобы без перебоев обеспечивать потребителей электроэнергией за счет фотоэлектрических солнечных станций.

Рассчитаем количество необходимых солнечных панелей:

$$N_{\text{п}} = \frac{P_{\text{с}}}{ES\eta_{\text{п}}\eta_{\text{т}}} = \frac{17,88}{2,02 \cdot 1,94 \cdot 0,18 \cdot 1} = 25.$$

Теперь выполним расчет выбора преобразователя постоянного тока в переменный с изменением величины напряжения.

Критерии выбора инвертора: $U_{\text{ИНВ}} \geq U_{\text{ФЭМ}} (U_{\text{АБ}})$ – входное напряжение инвертора должно быть равно или больше максимальному напряжению выдаваемой солнечной батареей (в том числе напряжением холостого хода батарей) или АКБ. $U_{\text{ИНВ}} = U_{\text{сети}}$ – выходное напряжение инвертора должно быть равно напряжению питаемых потребителей (сети). $P_{\text{ИНВ}} \geq P_{\text{общ,сети}}$ – мощность, выдаваемая инвертором должна быть больше или равна мощности сети, увеличенной на 30 % [10]. Пиковая мощность инвертора должна соответствовать пусковой мощности самого мощного электроприемника или быть больше ее. Инвертор должен быть той системы, напряжения и частоты, что и питаемая им сеть.

При выборе инвертора учитывается вся суммарная нагрузка приборов, подключаемых к инвертору, увеличенная, как минимум, на 30 % [10]. Выбранный на эту мощность инвертор позволит запускать такие электроприборы, как компрессорный холодильник, насосы и другие с пусковыми мощностями, в 3–4 раза превышающими паспортный.

Рассчитаем мощность инвертора, увеличенную на 30 % [10]:

$$P_{\text{ИНВ}} = P \cdot 1,3 = 14,9 \cdot 1,3 = 19,37 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Анализируем мощность и условно выбираем инвертор SILA PRO 20kW 48V [6]. Обеспечение ночных потребителей требует накопления электроэнергии. Для этого используются аккумуляторные батареи. В наших расчетах мы будем использовать аккумулятор SunStone Power MLG 200Ah 12V [7]. Рассчитаем расход емкости для батареи [8]:

$$\Delta C = \frac{P_{\text{с}}}{U_{\text{ИНВ}}},$$

где $P_{\text{с}}$ – номинальная мощность нагрузки; $U_{\text{ИНВ}}$ – номинальное напряжение нагрузки.

$$\Delta C = \frac{P_{\text{с}}}{U_{\text{ИНВ}}} = \frac{17880}{48} = 372,5 \text{ А} \cdot \text{ч}.$$

Глубокий разряд может вывести аккумулятор из строя. Поэтому производители аккумуляторов устанавливают конечное напряжение разряда, при достижении которого аккумулятор необходимо отключать от нагрузки и заряжать. Чтобы аккумулятор служил долго, его нельзя разряжать более чем на 70–80 % [8]. Степень разряженности аккумуляторных батарей (АКБ) СЭС:

$$C = \frac{100 \cdot P_c}{S_{\Pi} \cdot U_{\text{ИНВ}}},$$

где – S_{Π} степень разреженности АКБ.

Наиболее тяжелым режимом эксплуатации АКБ СЭС является зимнее время. Поэтому при расчетах степень разреженности АКБ – $S_{\Pi} = 70\%$:

$$C = \frac{100 \cdot P_c}{S_{\Pi} \cdot U_{\text{ИНВ}}} = \frac{100 \cdot 17880}{70 \cdot 48} = 532,1 \text{ А} \cdot \text{ч}.$$

Количество последовательно включенных аккумуляторных батарей в ветви фотоэлектрической солнечной станции можно определить по следующей формуле:

$$n = \frac{U_{\text{ИНВ}}}{U_a},$$

где U_a – напряжение отдельной аккумуляторной батареи. $U_a = 12$ В для выбранной батареи

$$n = \frac{U_{\text{ИНВ}}}{U_a} = \frac{48}{12} = 4.$$

Количество параллельных ветвей в аккумуляторной батарее СЭС:

$$m = \frac{C}{C_a},$$

где C_a – емкость отдельной аккумуляторной батареи. $C_a = 200$ А · ч согласно выбранной батарее;

$$m = \frac{C}{C_a} = \frac{532,1}{200} = 2,66, \text{ округляем до } 3.$$

Тогда общее число отдельных аккумуляторных батарей в аккумуляторной батарее СЭС соответствует:

$$N = m \cdot n = 3 \cdot 4 = 12.$$

В результате расчетов мы получили количество АКБ, равное 12 шт. Очевидно, что расчет дает завышенную требуемую емкость аккумуляторной батареи. Для более точного определения требуемой емкости необходимо, как можно точнее учесть изменение графика нагрузки на интервале ночного времени суток. Солнечные контроллеры используются для контроля и регулировки заряда аккумулятора на фотоэлектрической станции.

Условия выбора солнечного контроллера: $U_{\text{контр}} \geq U_{\text{ФЭМ}}$ – входное напряжение солнечного контроллера должно быть равно или больше максимального напряжения, выдаваемого солнечной батареей (в том числе напряжения холостого хода батарей). $U_{\text{контр}} \geq U_a$ – выходное напряжение солнечного контроллера, должно быть равно или

больше максимального напряжения заряжаемой им АКБ. $I_{\text{контр}} \geq I_{\text{зар.аб}}$ – ток заряда, выдаваемый солнечным контроллером, должен быть больше или равен максимальному току заряда АКБ. Солнечный контроллер должен подходить к типу АКБ (т. е. уметь заряжать данную АКБ).

Максимальный ток заряда АКБ определяется согласно формуле [9]:

$$I_{\text{зар.аб}} = 0,1 \cdot C_a = 0,1 \cdot 200 = 20 \text{ А.}$$

Исходя из количества параллельно соединенных ветвей $m \cdot AB$, выбираем количество, равное 4 шт. DELTA PWM-2420 контроллеров на ток 20 А.

В данной работе рассмотрены принципы расчета, выбора и работы систем электроснабжения с использованием нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. Проведен расчетный анализ фотоэлектрической солнечной электростанции для обеспечения жилья электроэнергией в условиях автономного электроснабжения. Показано, что применение нетрадиционных источников энергии на данный момент вызывает большие затраты по сравнению с традиционными источниками энергии, но более экологично. В дальнейшем нужно продолжить разработку в данном направлении, так как использование нетрадиционных источников энергии открывает большие перспективы в развитии малой энергетики в удаленных и экологически чистых районах Туркменистана.

Л и т е р а т у р а

1. Государственная программа по энергосбережению на 2018–2024 годы. – Ашхабат, 2018.
2. Национальная стратегия по развитию возобновляемой энергетики в Туркменистане до 2030 года. – Ашхабат, 2020.
3. Джумаев, А. Основы энергосбережения / А. Джумаев, Х. Солтанов. – Ашхабат : Наука, 2018.
4. Джумаев, А. Научно-технический и методологический анализ ресурсов и развития солнечной энергии в Туркменистане : учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений / А. Джумаев. – Ашхабат, 2016.
5. Режим доступа: https://nsk-electro.ru/solar_battery/monocrystalline/sim350-24-perc-5bb.
6. Режим доступа: <https://clever-energy.ru/shop/система-трехфазных-инверторов-sila-pro-20квт/>.
7. Режим доступа: <https://realsolar.ru/kontrollery-zaryada/kontrollery-delta/delta-pwm/pwm-2420/>.
8. Виды контроллеров для солнечных батарей и как выбирать / Электрика в доме. – М., 2017. – Режим доступа: <http://electricadom.com/kontroller-dlya-solnechnykh-batarejj-i-kak-vybirat.html>.
9. Коровин, Н. В. Химические источники тока : справочник / Н. В. Коровин, А. М. Скундин. – М. : МЭИ, 2003.
10. Охоткин, Г. П. Методика расчета мощности солнечных электростанций / Г. П. Охоткин // Вестн. Чувашского ун-та. – 2013. – № 3.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК В МЕСТНЫХ УСЛОВИЯХ

Д. Нурмухаммедов, В. Данатаров, Р. Нурыев

Государственный энергетический институт Туркменистана, г. Мары

Метод предполагает поочередное целенаправленное рассмотрение отказов элементов электроустановки с влиянием их последствий в нормальном и ремонтном состояниях. Расчет ведется в табличной форме, причем по вертикали фиксируется ряд учитываемых элементов (i -й ряд), а по горизонтали – ряд расчетных режимов (j -й ряд) [1]–[2].

Элементами электроустановки являются присоединения (генераторы, трансформаторы, линии), выключатели и сборные шины.