

Оценка энергетического потенциала крышной солнечной микроэлектростанции с фотоэлектрическим модулем ВСТ 10–12 для сельскохозяйственных потребителей

Л.П. Андрианова, д.т.н., профессор, М.Ф. Туктаров, к.т.н., доцент, А.Е. Усманова, ассистент, В.Г. Байназаров, аспирант, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ

В рамках технологической платформы «Перспективные технологии возобновляемой энергетики» в России в настоящее время решаются задачи вовлечения в хозяйственный оборот возобновляемых энергетических ресурсов (далее – ВЭР) [1–4]. На период развития до 2040 г. основная доля выработки электроэнергии солнечными энергоустановками смещается в сегмент крышных установок частных домов и крыш промышленных зданий и сооружений. Учитывая вышесказанное, была дана оценка энергоэффективности оригинальной солнечной микроэлектростанции (далее – СМ) с фотоэлектрическим модулем ВС 10–12.

Микроэлектростанция содержит модуль фотоэлектрический ВС 10–12, вырабатывающий расчётную солнечную электрическую энергию заданного напряжения постоянного тока, и вал вертикальный с электроприводом, снабжённым часовым механизмом с электроконтактной системой в виде часовой стрелки циферблата часового механизма, который подаёт почасовой сигнал привода вертикального вала азимутального слежения за солнцем. Зенитальное слежение за солнцем выполнено в виде наклона вертикального вала в северную сторону.

Цель исследования – определение энергоэффективности крышной солнечной микроэлектростанции с фотоэлектрическим модулем ВСТ 10–12.

Материалы и методы исследования. Солнечная микроэлектростанция с азимутальным и зенитальным слежением за солнцем включает в себя основание 1, на котором с южной и северной стороны на шарнирах 2 установлена площадка горизонтальная 3 [5, 6]. С южной стороны площадка 3 снабжена домкратом винтовым 4. На площадке горизонтальной 3 установлен вал вертикальный 5, на котором закреплён модуль фотоэлектрический 6. Вал вертикальный 5 центрируется крестовиной 7, закреплённой на площадке 3. На крестовине 7 закреплён диск 8 микровыключателей (на рисунке не показан), а на валу 5 ползуна установлены кольца контактные 9. Снизу вал 5 снабжён колесом зубчатым 10 с валом червячным 11, который связан с валом электропривода 12.

Оценка технического потенциала крышной СМ [2, 3] проведена с использованием лабораторной установки, представленной на рисунке 2.

Фотоэлектрический модуль ВСТ 10–12 содержит 72 прямоугольных элемента из мо-

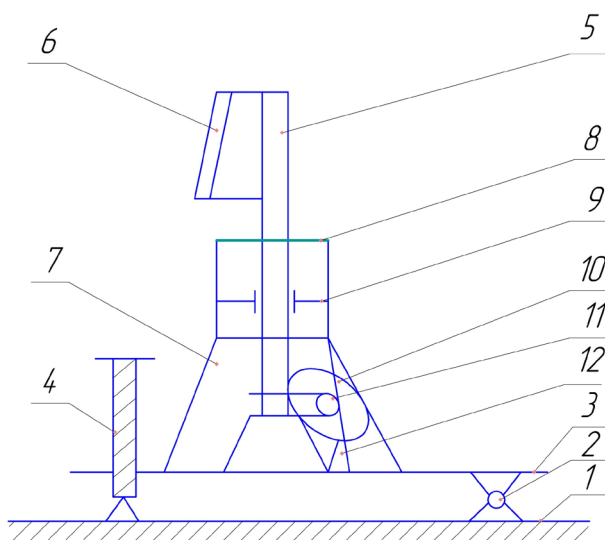


Рис. 1 – Общий вид солнечной микроэлектростанции с азимутальным слежением за солнцем: 1 – основание; 2 – шарниры; 3 – площадка горизонтальная; 4 – домкрат винтовой; 5 – вал вертикальный; 6 – модуль фотоэлектрический; 7 – крестовина; 8 – диск микровыключателей; 9 – кольца контактные; 10 – колесо зубчатое; 11 – вал червячный; 12 – электропривод

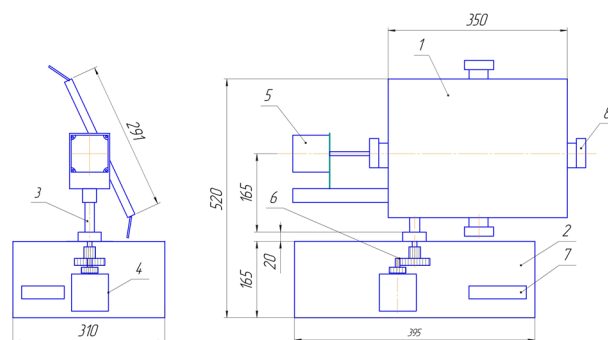


Рис. 2 – Общий вид лабораторной установки для исследования работы СМ:

1 – модуль фотоэлектрический; 2 – корпус; 3 – балка крепежная; 4 – электропривод азимутального слежения; 5 – электропривод зенитального слежения; 6 – редуктор главного электропривода; 7 – блок управления слежения за солнцем; 8 – солнечная панель вспомогательная

нокристаллического кремния, расположенных на прямоугольном основании с размерами $351 \times 291 \times 17$ мм и коэффициентом заполнения $K_{\text{зап}} = 0,953$. Элементы закрыты специальным стеклом с коэффициентом пропускания $\gamma = 92\%$. Вольтамперная характеристика фотоэлектрического модуля для атмосферной массы AM1,5 приведена в таблице 1. Интенсивность солнечной радиации

равна $e_0=1000$ Вт/м² с учётом потерь мощности в СМ при токе короткого замыкания $I_{кз}=0,68$ А, напряжении холостого хода $U_{хх}=21,6$ В и номинальной температуре $\theta = +25^\circ\text{C}$.

1. Вольтамперная характеристика фотоэлектрического модуля

| Показатель | Полученные значения | | | | | | |
|---------------|---------------------|------|------|------|------|------|------|
| I, A | 0 | 0,15 | 0,29 | 0,41 | 0,46 | 0,59 | 0,69 |
| U, B | 21,6 | 19,6 | 17,6 | 15,6 | 14,7 | 11,7 | 7,7 |

Расчёты подлежат:

- рабочие характеристики СМ – $\eta(N)$ и $\eta(I)$;
- характеристики потерь мощности в модуле – $\Delta N(I)$ и $\Delta N(N)$;
- нагрузочная характеристика $-N(I)$;
- максимальная полезная мощность модуля – N_{max} .

При проведении расчёта использовались основные расчётные соотношения:

$$N = U \cdot I; \eta = N(I) / N_{\text{под}}; N_{\text{под}} = e_0 \cdot F_{\text{см}}; F_{\text{см}} = F_{\text{общ}} \cdot K_{\text{зап}},$$

$$\Delta N = N_{\text{под}} - N,$$

где $F_{\text{общ}}$ – площадь основания модуля с фотоэлементами заданной формы, м²;

$N_{\text{под}}$ – мощность падающей радиации, Вт.

Для рассматриваемого фотоэлектрического модуля использовались:

$$F_{\text{см}} = 0,351 \cdot 0,291 \cdot 0,953 = 0,097 \text{ м}^2;$$

$$N_{\text{под}} = 1000 \cdot 0,097 = 97 \text{ Вт} = \text{const.}$$

Результаты расчёта основных энергетических характеристик фотоэлектрического модуля ВСТ 10–12 для тока в диапазоне 0–0,69 А и $N_{\text{под}} = 97$ Вт представлены в таблице 2.

2. Расчёт основных энергетических характеристик модуля ВСТ 10–12

| Показатель | Полученные значения | | | | | | |
|-----------------------|---------------------|-------|------|------|-------|------|-------|
| I, A | 0 | 0,15 | 0,29 | 0,41 | 0,46 | 0,59 | 0,69 |
| U, B | 21,6 | 19,6 | 17,6 | 15,6 | 14,7 | 11,7 | 7,7 |
| $N, \text{Вт}$ | 0 | 2,94 | 5,10 | 6,40 | 6,76 | 6,90 | 5,31 |
| $\Delta N, \text{Вт}$ | 97 | 94,06 | 91,9 | 90,6 | 90,24 | 90,1 | 91,69 |
| $\eta, \%$ | 0 | 3,03 | 5,26 | 6,59 | 6,97 | 7,12 | 5,48 |

Получены следующие результаты:

- при холостом ходе: $I=0$ и $U=U_{хх} = 21,6$ В; $\eta = 0$; $N=0$; $\Delta N=N_{\text{под}} = 97$ Вт;
- точка максимума $N(I)$: при $I=0,59$ А; $U=11,7$ В; $\eta = 7,12$; $N=6,9$ Вт; $\Delta N=90,1$ Вт.

Результаты исследования. Рассмотрим расчёт энергетического потенциала фотоэлектрического модуля $\mathcal{E}_{\text{техн}}$ для j -го месяца года при условии использования солнечной радиации с помощью модуля ВСТ 10–12, установленного под углом b_0 с азимутом g в данный j -й месяц. Известны

значение валового удельного прихода солнечной радиации на рассматриваемую площадку $\mathcal{E}_{\text{вал}}$, площадь модуля $F_{\text{см}}$, количество СМ m ; технические характеристики модуля.

Полезная выработка m солнечных модулей общей площадью $F_{\text{м}}=F_{\text{см}}$ за j -й месяц $\mathcal{E}_{\text{техн } j}$ определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{техн } j} = \mathcal{E}_{\text{вал } j} \cdot F_{\text{см}} \cdot m \cdot \gamma \cdot \eta_{\text{смo}} \cdot K_{\text{зап}} \cdot K_{\text{т}} \cdot \eta_{\Delta N} \cdot \eta_{\Delta \mathcal{E}}, \quad (1)$$

где γ – коэффициент светопропускания защитного покрытия фотоэлектрического модуля, о.е., с учётом поглощения стекла $\gamma = 0,8 - 0,92$ о.е.; $\eta_{\text{смo}}$ – номинальное КПД модуля для расчётных условий, о.е. В качестве указанных обычно принимается АМ1,5 с $e_0=1000$ Вт/м² при $\theta = +25^\circ\text{C}$; $K_{\text{зап}}$, о.е. – коэффициент заполнения солнечными элементами всей площади фотоэлектрического модуля:

для круглых элементов $K_{\text{зап}} = 0,85$;

для квадратных и прямоугольных от 0,95 до 0,99;

K_{θ} , о.е. – коэффициент, учитывающий влияние температуры фотоэлектрического модуля на его КПД и рассчитываемый по формуле для заданной θ :

$$K_{\theta} = 1 - a \cdot (T - T_0), \quad (2)$$

где a , о.е. – градиент изменения КПД модуля от температуры:

для кремниевых солнечных элементов $a = \eta_{\text{смo}} / 120$;

для солнечного модуля на основе арсенида галлия

$$a = \eta_{\text{смo}} / 20; B(43)T = 273 + \theta; a \cdot T_0 = 273 + \theta;$$

$\eta_{\Delta N}$, о.е. – потери мощности при последовательном соединении модуля, обычно $\eta_{\Delta N} = 0,95 - 0,99$;

$\eta_{\Delta \mathcal{E}}$, о.е. – потери энергии фотоэлектрического модуля при передаче её потребителю (потери в инверторе, зарядном устройстве, кабеле), $\eta_{\Delta \mathcal{E}} = 0,9$.

Далее рассмотрим точку с координатами $j^0=54^\circ$ северной широты; $y^0=55^\circ$ восточной долготы для г. Уфа Республики Башкортостан, в которой установлен один солнечный модуль с параметрами, постоянными в течение года $b^0=j^0=\text{const}$. Известны значения $\mathcal{E}_{\text{бвал}}$ (табл. 3) и среднемесячная температура θ (табл. 4) для каждого месяца $j = 1 - 12$ (табл. 3).

Расчёт энергетического потенциала солнечной микроэлектростанции проведен для июля при $\mathcal{E}_{\text{бвал}} = 169,57$ кВт·ч/м² и среднемесячной температуре июля $\theta = +20^\circ$ (табл. 4).

Основные допущения, принятые при расчёте технического потенциала СМ:

- при расчёте среднемесячных показателей фотоэлектрического модуля температура окружающей среды принята равной температуре модуля, т.е. $\theta = +20^\circ$;

3. Сумма солнечной радиации на горизонтальную поверхность за 22-летний период (широта–54, долгота–55) (метеоданные <https://data.nasa.gov>)

| Месяц | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 |
|--------------------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|------|------|
| Солнечная радиация | 43,09 | 67,76 | 120,28 | 147,0 | 163,99 | 160,5 | 169,57 | 132,06 | 100,2 | 63,24 | 48,6 | 43,4 |

4. Среднемесячная температура (широта–54, долгота–55) (метеоданные <https://data.nasa.gov>)

| Месяц | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 |
|-----------------|------|------|-----|------|-------|-------|-----|-------|-------|------|-----|----|
| Температура, °С | 12,1 | 11,5 | 4,3 | +5,9 | +13,5 | +17,7 | +20 | +18,2 | +11,9 | +4,6 | 2,9 | 10 |

– $\eta_{\text{сэо}}$ соответствует среднемесячному КПД солнечного модуля $\eta_{\text{см}}$ и принимается равным его максимальному значению по таблице 2, равным $\eta_{\text{сэо}} = 7,12\%$.

В реальных условиях следует учитывать изменения КПД от нагрузки потребителя за период Δt , т.е.

$$\eta_{\text{см}} = \frac{\mathcal{E}}{\mathcal{E}_{\text{под}}} = \frac{N(t)\Delta t}{N_{\text{под}}(t) \cdot \Delta t} \quad (3)$$

При $\gamma = 0,92$; $K_{\text{зап}} = 0,953$; $\eta_{\Delta\alpha} = 0,9$; $\eta_{\Delta\text{N}} = 0,97$; $F_{\text{см}} = 0,1021 \text{ м}^2$.

$$a = \eta_{\text{сэо}} / 120 = 7,12 / 120 = 0,0591 / \text{град};$$

$$K_{\theta} = 1 - a \cdot (T - T_0) = 1 - 0,059 \cdot [(273^\circ + 20^\circ\text{C}) - (273^\circ + 25^\circ\text{C})] = 1,295.$$

Тогда удельный энергетический потенциал электроэнергии, вырабатываемый СМ в июле, составит:

$$\mathcal{E}_{\text{техн. j}} = 169,57 \cdot 0,1021 \cdot 0,92 \cdot 0,0712 \cdot 0,953 \cdot 1,295 \cdot 0,97 \cdot 0,9 = 1,22 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2.$$

Таким образом, 7,05% энергетического потенциала солнечной радиации используется полезно в одном фотоэлектрическом модуле ВСТ 10–12 при приведении всех расчётов на 1 м² полезной площади модуля.

Выводы

1. Удельный энергетический потенциал электроэнергии, вырабатываемой солнечной микроэлектростанцией с фотоэлектрическим модулем ВСТ-10–12 в июле в условиях г. Уфа, составляет 1,22 кВт·ч/м².

2. Внедрение солнечных микроэлектростанций на базе фотоэлектрических модулей с установкой их на крышах жилых домов и административных зданий целесообразно в различных широтах местности для надёжного электроснабжения децентрализованных потребителей.

3. Создание солнечных микроэлектростанций открывает реальную возможность для решения глобальной проблемы в области электроэнергетики и экологии для изолированных зон.

Литература

1. Российские технологические платформы в области энергоэффективности и использования возобновляемых источников энергии. М., 2011.
2. Андрианова Л. П., Рашитов А. Р. Российские перспективные технологии ветровой и солнечной энергетики // Новые задачи технических наук и пути их решения: сб. стат. междунар. науч.-практич. конф. Пермь: НИЦ АЭТЕРНА. № 11. В 3-х частях. Ч. 2. С. 51–53.
3. Андрианова Л. П., Рашитов А. Р. Российские технологические платформы в области энергоэффективности и использования возобновляемых источников энергии // Новые задачи технических наук и пути их решения: сб. ст. междунар. науч.-практич. конф. Пермь: НИЦ АЭТЕРНА. № 11. В 3-х част. Ч. 2. С. 53–56.
4. Андрианова Л. П., Усманова А. Е. Солнечные энергетические установки с повышенной энергетической эффективностью // Актуальные проблемы энергообеспечения предприятий: матер. междунар. науч.-практ. конф., проводимой в рамках XIV Российского энергетического форума. Уфа: Башкирский ГАУ, 2014. С. 18–23.
5. Андрианова Л. П., Тукбаева А. Е. Повышение эффективности солнечной электростанции // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2010. № 3. С. 25–26.
6. Пат. на полезную модель № 94379 Солнечная электростанция / Л. П. Андрианова [и др.]. № 2010103657/22; заявл. 03.02.10; опубл. 20.05.10; Бюл. № 14. 2 с.

Экспериментальное исследование бесперебойности электроснабжения сельских потребителей с применением альтернативных источников электроэнергии¹

В.И. Чиндяскин, к.т.н., А.Ф. Абдюкаева, к.т.н., Е.Ф. Кислова, ст. преподаватель, Е.В. Большаков, инженер, ФГБОУ ВО Оренбургский ГАУ

Бесперебойное электроснабжение крупных животноводческих и свиноводческих комплексов,

птичников и других предприятий АПК должно быть обеспечено в соответствии с «Правилами устройства электроустановок». Однако это не всегда удаётся. Износ линий электропередач, построенных в 70-е годы прошлого века, и соответственно установленного электрооборудования, по статис-

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и министерства образования Оренбургской области. Решение бюро совета РФФИ, протокол № 4(216) от 17.04.2019 г.