

УДК 621.311

**ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ
ПРЕДПРИЯТИЯХ
PHOTOVOLTAIC PLANTS IN INDUSTRIAL ENTERPRISES**

Н.А Лукашевич

Научный руководитель – И.А. Колосова, старший преподаватель,
Белорусский национальный технический университет,
г.Минск, Республика Беларусь

N. Lukashevich

Supervisor – I. Kolosova, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в настоящее время данная тема актуальна из-за потепления климата на территории Республики Беларусь. На промышленных предприятиях, как правило, большое потребление электроэнергии, поэтому актуально применение собственных электростанций. В связи с изменением климата ими часто являются «фотоэлектрические станции».*

***Abstract:** this topic is currently relevant due to the warming in the territory of Belarus. Since industrial enterprises have a large consumption of electricity, their own stations are relevant for them. In connection with climate change, they are "photovoltaic power stations».*

***Ключевые слова:** фотоэлектрические, станции, производительность, температура, мощность, панели.*

***Keywords:** photovoltaic, power stations, production, temperature, power, panels.*

Введение

В последние годы численность населения на земле увеличилась, вследствие чего, растёт выброс углерода в атмосферу Земли, что негативно сказывается на состоянии экосистемы. Заметно начал изменяться климат по всему миру, это заставило задуматься, многие страны, о поиске новых источников энергии.

Основная часть

Если рассмотреть изменение климата в Беларуси, то можно заметить, что за последние десятилетие были побиты практически все температурные рекорды и средне годовые температуры. Например, в 2020г. средне годовая температура составила +9,1 градуса, так как увеличилось количество солнечных и ясных дней. Наблюдая за явно выраженным потеплением на территории Республики Беларусь можно сделать вывод, что наиболее выгодным в перспективе будет использование энергии Солнца. В данной статье рассматривается возможность применения СЭС (солнечная электростанция) для электроснабжения административного здания на аккумуляторном заводе. Порядок расчёта приведён ниже.

1.Выбор оптимального угла наклона солнечной батареи

Угол наклона солнечной панели в основном зависит от климатических условий местности где, расположены батареи (на какой широте находятся), а также от поры года.

В своих расчётах принимаем систему, которая будет эксплуатироваться круглогодично с изменением угла наклона 4 раза в год.

При регулировании угла наклона солнечных панелей четыре раза в год углы будут следующие:

для лета числовое значение широты необходимо умножить на 0,92 и вычесть 24,3 градуса;

для весны и осени числовое значение широты умножается на 0,98 и вычитается 2,3 градуса;

для зимы числовое значение широты умножается на 0,89 и добавляется 24 градуса.

Таким образом, для рассматриваемого предприятия, которое находится около города Брест (широта 52°) оптимальными углами будут:

для лета: 24°; для весны: 49°; осени: 49°; для зимы 70°. Таким образом, средний градус: 48°.

Оптимальное время для изменения угла наклона на летний период — 18 апреля, на осенний период — 24 августа, на зимний период — 7 октября, на весенний период — 5 марта.

2. Расчёт количества солнечной энергии, поступающей на наклонную поверхность

Среднемесячное суммарное дневное количество солнечной энергии E_k , поступающей на наклонную поверхность можно определить из выражения:

$$E_k = R \cdot E, \quad (1)$$

где R — коэффициент пересчёта суммарной солнечной радиации, принимается по [1];

E —среднемесячное дневное количество суммарного солнечного излучения, поступающего на горизонтальную поверхность, МДж/м², (применяется по СНБ 2.04.02-2000).

3. Расчёт выработки электроэнергии солнечными панелями

Удельная электрическая мощность, которую можно получить с 1 м² поверхности при оптимальном угле наклона солнечной панели, кВт·ч/(м²·день):

$$P_k = E_k / (3,6 \cdot N_{дн}), \quad (2)$$

$N_{дн}$ — число дней в рассматриваемом месяце.

При этом паспортная мощность панелей приведена при температуре окружающей среды $t = 25^\circ\text{C}$. Температурный коэффициент при расчётах можно принять равным -0-4,7% на каждый градус разницы между текущей температурой и номинальной температурой (следовательно, при температурах ниже 25°С мощность панелей увеличивается, и наоборот). Температурный коэффициент принимаем равным 4,7%:

Мощность панели с учётом поправочного коэффициента:

$$P_{\text{фак}} = P_{\text{ном}} (1 + 0,0047 \cdot (25 - t)) \quad (3)$$

Тогда среднемесячная выработка электроэнергии, кВт·ч, составит:

$$W = P_K \cdot P_{\text{фак}} \cdot N_{\text{дн}} \cdot N_{\text{пан}} \cdot \eta, \quad (4)$$

где $N_{\text{пан}}$ — число установленных панелей;

η - суммарный КПД инверторных станций, а также контроллеров заряда и аккумуляторных батарей при их наличии.

4. Определение количества солнечных панелей

Основным параметром для определения количества солнечных панелей является – потребляемая электроэнергия предприятием, то есть электроэнергия, которую должны вырабатывать панели, не мало важным фактором, является площадь на которой будут размещены данные панели.

Расстояние между началами панелей будет максимально (максимальное затенение одной панели другой) при максимальном угле наклона. Можно сделать вывод, что площадь, занимаемая панелью, зависит от косинуса угла наклона солнечной панели (рис.1).

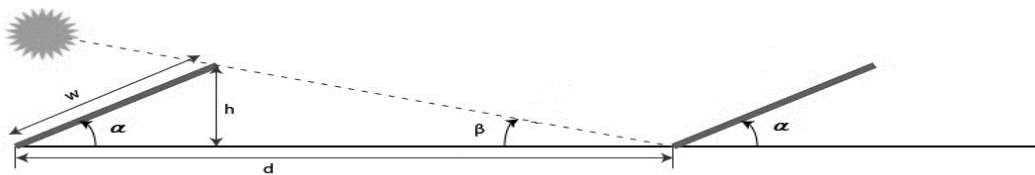


Рисунок 1 — Схема расположения солнечных панелей

Максимальная площадь, занимаемая одним модулем, m^2 :

$$S_{\text{max}} = L \cdot d, \quad (5)$$

где L — длина модуля, м;

d — размер тени, отбрасываемой модулем, м:

$$d = (\sin(180^\circ - (\alpha + \beta))) \cdot w, \quad (6)$$

где w — высота панели, м.

Таким образом число панелей, которые можно расположить на свободной площади $S_{\text{св}}$, m^2 :

$$N_{\text{пан.мах}} = \frac{S_{\text{св}}}{S_{\text{мах}}}, \quad (7)$$

Для определения максимального числа панелей рассматриваем панели расположенные под углом 70° (зимний период), при котором d получается минимальное. При этом максимальное число панелей на выделенном участке площадью $434 m^2$:

$$N_{пан.маx} = \frac{434}{1,508 \cdot (\sin(180^\circ - (70^\circ + 12^\circ))) \cdot 0,808} \approx 411 шт.,$$

Примем к установке солнечные ФЭ Модули SilaSolar 250 Вт 5ВВ в количестве 411 шт. [2]. При этом накопители электроэнергии использоваться не будут. Данные по количеству солнечных часов в году и потреблению электроэнергии административного корпуса, и её выработке солнечной электростанцией приведены в таблицах 1-5.

Таблица 1 – Количество солнечных часов в году

	Янв.	Фев.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сен.	Окт.	Нояб.	Дек.	Итого
t ч.	165	149	165	156	172	172	172	173	173	173	165	165	2000

Таблица 2 – Силовые электрические нагрузки и расход электроэнергии административного здания

Вид оборудования	Уст. мощность кВт	Расход электроэнергии кВт·ч												
		Янв.	Фев.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сен.	Окт.	Нояб.	Дек.	Итого
		165	149	165	156	172	172	172	173	173	173	165	165	2000
Оргтехника	150	9900	8940	9900	9360	10320	10320	10320	10380	10380	10380	9900	9900	12000
Вентиляторы	50	6600	5960	6600	6240	6880	6880	6880	6920	6920	6920	6600	6600	8000
Кондиционеры	50	5775	5215	5775	5460	6020	6020	6020	6055	6055	6055	5775	5775	7000
Связь	50	3300	2980	3300	3120	3440	3440	3440	3460	3460	3460	3300	3300	4000
Итого	300	25575	23095	25575	24180	26660	26660	26660	26815	26815	26815	25575	25575	31000

Таблица 3 – Осветительная нагрузка и расход электроэнергии административного здания

Осветительная нагрузка кВт	Расход электроэнергии кВт·ч												
	Янв.	Фев.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сен.	Окт.	Нояб.	Дек.	Итого
23,13	3816,45	3446,37	3816,45	3608,28	3978,36	3978,36	3978,36	4001,49	4001,49	4001,49	3816,45	3816,45	46260

Таблица 4 – Суммарная нагрузка и расход электроэнергии

Расход электроэнергии кВт·ч												
Янв.	Фев.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сен.	Окт.	Нояб.	Дек.	Итого
2939	2654	2939	2778	3063	3063	3063	3081	3081	3081	2939	2939	356

1,45	1,37	1,45	8,28	8,36	8,36	8,36	6,49	6,49	6,49	1,45	1,45	260
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-----

Таблица 5 – Прогнозируемая выработка электроэнергии солнечными панелями

Месяц	E , МД ж/м ²	R	E_k , МДж/м ²	P_k , кВт·ч/ (м ² ·день)	$P_{но}$ м, кВт	t	$P_{фак}$, кВт	$N_{пан}$	$N_{дн}$	η	W , кВт·ч
январь	69	1,55	107,22	0,960	0,25	-4,5	0,284	411	31	0,9	3136,26
фев.	133	1,41	188,06	1,865	0,25	-4,4	0,284	411	28	0,9	5498,36
март	291	1,36	396,63	3,554	0,25	0	0,279	411	31	0,9	11385,6
апрель	393	1,12	441,33	4,086	0,25	7,2	0,270	411	30	0,9	12285,3
май	567	1,05	598,75	5,365	0,25	13,3	0,263	411	31	0,9	16226,2
июнь	624	1,02	640,22	5,928	0,25	16,4	0,260	411	30	0,9	17110,4
июль	590	1,04	614,19	5,503	0,25	18,5	0,257	411	31	0,9	16258,9
август	478	1,09	523,41	4,690	0,25	17,5	0,258	411	31	0,9	13919,0
сент.	315	1,21	383,98	3,555	0,25	12,1	0,265	411	30	0,9	10461,6
окт.	154	1,36	210,51	1,8863	0,25	6,6	0,271	411	31	0,9	5875,33
ноябрь	59	1,45	85,845	0,7948	0,25	0,6	0,278	411	30	0,9	2458,02
дек.	41	1,51	62,156	0,5569	0,25	-3,4	0,283	411	31	0,9	1809,75

5. Оценка срока окупаемости проекта

Электроэнергия, вырабатываемая солнечной электростанцией, уходит полностью на покрытие нужд административного здания. Недостаток электроэнергии допускается покупать предприятием по установленным тарифам энергосистемы.

Электростанция приносит прибыль при генерировании электроэнергии. Эту прибыль можно разделить на 2 части - сэкономленные средства на покупку электроэнергии и прибыль от продажи излишков. В рассматриваемом примере излишков электроэнергии нет, поэтому продажи электроэнергии тоже нет. Для расчёта принимается тариф на покупку 0,3269 руб/кВт·ч (4).

$$П = \sum_{i=1}^m W_i \cdot a \quad (8)$$

Где a – тарифная ставка на покупку, руб/кВт·ч.

Количество потреблённой от электростанции энергии и её стоимости приведены в таблице 6.

Таблица 6 — Количество и стоимость (прибыль), потреблённой энергии из СЭС

Месяц	$W_{\text{потр}}$ кВт·ч	$C_{\text{пот}}$ руб.
январь	3136,261	1033,71
февраль	5498,368	1812,26
март	11385,66	3752,71
апрель	12285,34	4049,25
май	16226,21	5348,16
июнь	17110,49	5639,62
июль	16258,99	5358,96
август	13919,03	4587,71
сентябрь	10461,65	3448,16
октябрь	5875,337	1936,51
ноябрь	2458,029	810,17
декабрь	1809,751	596,49
Итого	116425,1	38373,72

Как видно из таблицы 6, ежегодная прибыль от электростанции составляет 38373,72руб.

Капитальные затраты на сооружение солнечной электростанции:

$$K_{\text{СЭС}} = C_{\text{СЭС}} \cdot P_{\text{уст}} \quad (9)$$

где $C_{\text{СЭС}}$ — удельные капитальные затраты на СЭС (по данным коммерческих запросов, зависят от мощности электростанции: 1780 руб/кВт при малой мощности; при мощности более 100 кВт – 1720 руб/кВт;

$P_{\text{уст}}$ — установленная мощность солнечных панелей, в рассматриваемом случае $P_{\text{уст}} = 102,75$ кВт, тогда:

$$K_{\text{СЭС}} = 1720 \cdot 102,75 = 176730 \text{ руб.}$$

Амортизационные отчисления:

$$A = \frac{K_{\text{СЭС}}}{T_{\text{СЭС}}}, \quad (10)$$

где $T_{\text{СЭС}}$ — срок службы электростанции, при $T_{\text{СЭС}} = 25$ лет:

$$A = \frac{176730}{25} = 7069,2.$$

Нормативов, обслуживания солнечных электростанций нет. В расчете принято, что увеличение заработной платы электротехнической службы организации, которая выполняет обслуживание станции, будет

пропорционально ее мощности, при этом на станцию мощностью 500 кВт потребуются один специалист с фондом заработной платы 80000 руб./год:

$$I_{зп} = P_{уст} \cdot 80000 / 500, \quad (11)$$

$$I_{зп} = 102,75 \cdot (80000 / 500) = 16440 \text{ руб.}$$

Затраты на текущий ремонт и обслуживание принимаем равными половине затрат на амортизацию:

$$I_{тр} = 0,5 \cdot A = 0,5 \cdot 7069,2 = 3534,6 \text{ руб.}$$

Приведённые затраты для солнечной станции, руб:

$$З = A + I_{тр} + I_{зп}, \quad (12)$$

$$З = 7069,2 + 3534,6 + 16440 = 27043,8 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости станции:

$$T_{ок} = \frac{K_{сэс}}{П - З}, \quad (13)$$

$$T_{ок} = \frac{176730}{38373,72 - 27043,8} = 15,59 \text{ лет.}$$

Заключение

Данный расчёт является приближенным, для более точных результатов требуется подробный технико-экономический расчёт.

СЭС, на территории Беларуси, получает всё большее распространение, что положительно сказывается на экологии, так как в них практически отсутствует пагубное влияние на окружающую среду.

Литература

1. Ю.А Лосюк, В.В. Кузьмич «Нетрадиционные источники энергии», Минск УП «Технопринт», 2005-234 с.
2. Greenhvac [Электронный ресурс] / ОДО «Эко-инжиниринг» - Режим доступа:
https://greenhvac.tech/catalog/solnechnaya_energetika/solnechnye_batarei/monokristallicheskie/solnechnaya_batareya_silasolar_250vt_5bb/ - Дата доступа 02.04.2021
3. Справочник по климату Беларуси. Часть 1.: справочник / Государственный климатический кадастр. – Минск, 2017. – 85 с.
4. Тарифы на электроэнергию для промышленных предприятий [Электронный ресурс] / РУП «Брестэнерго». – Режим доступа:
<https://brestenergo.by/Тарифы> - Дата доступа: 02.04.2021.