

УДК 621.3

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Ракусевич А.О.

Научный руководитель – ст. преп. Колосова И.В.

В последние годы в мире всё чаще возникает проблема изменения климата. Увеличенный выброс углерода в атмосферу Земли сильно сказывается на состоянии экосистемы планеты в целом. Согласно последним подсчётам, мировые запасы углеводородов иссякнут примерно через 50 лет. При этом доля энергии, получаемой от органического топлива превышает 90%. Один из способов уменьшить затраты на закупку топливо-энергетических ресурсов – развитие альтернативных источников электроэнергии. Учитывая географическое положение и характер климатических условий Республики Беларусь, наиболее выгодным на сегодняшний день является развитие фотовольтаики, или другими словами – использование энергии Солнца. В данной статье рассматривается возможность применения солнечных панелей для электроснабжения административно-бытового корпуса (АБК) завода по производству грузовых автомобилей в г. Минске. Порядок расчёта приведён ниже.

1. Расчёт прихода солнечной радиации на наклонную поверхность

Оптимальный угол наклона солнечных панелей зависит от широты местности, а также может быть изменён в зависимости от того, какой оптимизации в производстве энергии необходимо добиться. Также, он может быть уменьшен от оптимального значения, если фотоэлектрическая (ФЭ) система работает в летний период, увеличен, если система эксплуатируется только в осенне-зимний период, или принят средним по значению, если система предназначена для круглогодичной эксплуатации.

Принимаем систему, которая будет эксплуатироваться круглогодично с изменением угла наклона 4 раза в год.

При регулировании угла наклона солнечных панелей четыре раза в год лучшими углами наклона будут:

- для лета: 35°; для весны: 46°; осени: 63°; для зимы 73°. Таким образом, средний градус: 48,9°.

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.

Для максимальной производительности энергии фотоэлектрические модули должны быть смонтированы таким образом, чтобы солнечные лучи падали на рабочую поверхность модуля под углом 90°. Добиться данного требования для солнечных установок возможно только при использовании специальных поворотных конструкций с двухосевой системой слежения за солнцем – трекерных систем. Такие солнечные установки, кроме явных преимуществ в максимальном исполнении солнечной энергии, являются достаточно дорогими устройствами, потребляют, хоть и незначительно, но

постоянно энергию, требуют большую по площади площадку для установки по сравнению с фиксированными конструкциями. Поэтому обычно идут на компромисс в производительности системы и стоимости конструкции, и в основном в фотоэлектрических системах используют стационарные конструкции. Принимаем ориентацию конструкции на юг, с незначительными отклонениями по азимуту. Также стационарную конструкцию с изменяемым углом наклона.

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, принимается по СНБ 2.04.02-2000.

2. 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):

$$P_K = E_K / (3,6 \cdot N_{ДН}), \quad (2)$$

где $N_{ДН}$ – 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 -0.47% на каждый градус разницы между текущей температурой и номинальной температурой (следовательно, при температурах ниже 25°C мощность панелей увеличивается, и наоборот):

Мощность панели с учётом поправочного коэффициента:

$$P_{ФАКТ} = P_{НОМ} (1 + 0,0047 \cdot (25 - t)). \quad (3)$$

Тогда среднемесячная выработка электроэнергии, кВт·ч, составит:

$$W = P_K \cdot P_{ФАКТ} \cdot N_{ДН} \cdot N_{ПАН} \cdot \eta, \quad (4)$$

где $N_{ПАН}$ – число установленных панелей; η – суммарный КПД оборудования станции.

3. Определение количества солнечных панелей

Количество солнечных панелей выбирается для обеспечения необходимой выработки электроэнергии. Однако при выборе количества панелей следует учесть занимаемую площадь. Максимальное затенение одной солнечной панели другой будет при максимальном угле ее наклона (в зимний период). Площадь, занимаемая солнечной панелью при продольном ее расположении, будет зависеть от косинуса угла наклона. При этом расстояние между панелями

должно полностью исключать возможность затенения. Схема расположения солнечных панелей приведена на рисунке 1.

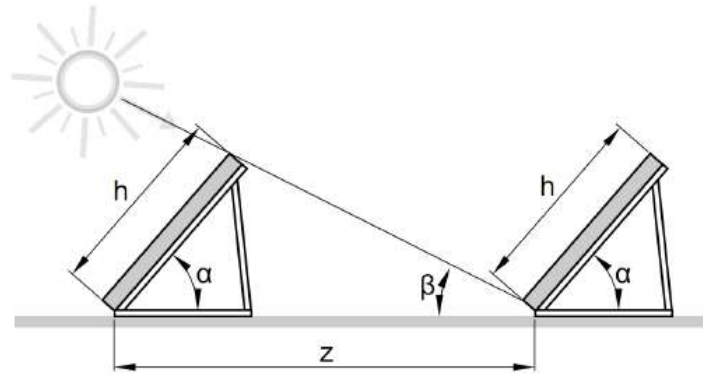


Рисунок 1 – Схема расположения солнечных панелей

Максимальная площадь, занимаемая одним модулем, m^2 :

$$S_{MAX} = L \cdot z, \quad (5)$$

где L – длина модуля, м;

z – размер тени, отбрасываемой модулем, м:

$$z = \left[\sin(180^\circ - (\alpha + \beta)) \right] \cdot h, \quad (6)$$

где h – высота модуля, м.

Число панелей, которые можно расположить на свободной площади S_{CB} , m^2 :

$$N_{ПАН.МАХ} = S_{CB} / S_{MAX}. \quad (7)$$

Примем к установке солнечные ФЭ модули One-Sun 200М в количестве 450 шт. [2]. При этом накопители электроэнергии использоваться не будут. Данные по потреблению электроэнергии АБК и её выработке солнечной электростанцией приведены в таблицах 1-4.

При этом максимальное число панелей на выделенном участке площадью $1200 m^2$:

$$N_{ПАН.МАХ} = \frac{1200}{1,508 \cdot \left[\sin(180^\circ - (15^\circ + 15^\circ)) \right] \cdot 0,008} \approx 987.$$

Данные по расходу электроэнергии АБК по месяцам с указанием фактического времени работы сведены в таблицы 1-2. Данные по среднемесячной температуре приняты по [3]

Таблица 1 – Силовые электрические нагрузки АБК

Вид оборудования	Уст. мощн. кВт	$K_{И}$	Расход электроэнергии, кВт·ч												
			январь	февр.	март.	апр.	май	июнь	июль	авг.	сен.	окт.	нояб.	дек.	итого
			165 ч	149 ч	165 ч	156 ч	172 ч	172 ч	172 ч	173 ч	173 ч	173 ч	165 ч	165 ч	
Кондиционеры и вентиляция	30	0,6	2970	2682	2970	2808	3096	3096	3096	3114	3114	3114	2970	2970	36000

Компьютеры, оргтехника	55	0,4	3630	3278	3630	3432	3784	3784	3784	3806	3806	3806	3630	3630	44000
Лифты	15,7	0,15	388,6	350,9	388,6	367,4	405,1	405,1	405,1	407,4	407,4	407,4	388,6	388,6	4710
Итого			6988,6	6310,9	6988,6	6607,4	7285,1	7285,1	7285,1	7327,4	7327,4	7327,4	6988,6	6988,6	84710

Таблица 2 – Осветительные нагрузки АБК

Уст. мощн. кВт	Расход электроэнергии, кВт·ч												
	январь	фев.	март	апр.	май	июнь	июль	авг.	сен.	окт.	нояб.	дек.	итого
	165 ч	149 ч	150 ч	135 ч	105 ч	110 ч	120 ч	135 ч	145 ч	150 ч	160 ч	165 ч	
40,5	6682,5	6034,5	6075	5467,5	4252,5	4455	4860	5467,5	5872,5	6075	6480	6682,5	68404,5

Таблица 3 – Суммарный расход электроэнергии АБК

Расход электроэнергии, кВт·ч													
январь	фев.	март	апр.	май	июнь	июль	авг.	сен.	окт.	нояб.	дек.	итого	
1367	1234	1306	1207	1153	1174	1214	1279	1319	1340	1346	1367	15311	
1,1	5,4	3,6	4,9	7,6	0,1	5,1	4,9	9,9	2,4	8,6	1,1	4,5	

Таблица 4 – Прогнозируемая выработка электроэнергии солнечными панелями

Месяц	E МДж/м ²	R	E_K МДж/м ²	P_K , кВтч/(м ² день)	$P_{ном}$, кВт	t °C	$P_{факт}$ кВт	N ПАН	N дн	η	W кВт ч
январь	69	1,5295	105,54	0,95	0,20	-4,50	0,23	450	31	0,9	3004,2
февраль	133	1,415	188,20	1,87		-4,40	0,23		28		5354,99
март	291	1,3592	395,53	3,54		0,00	0,22		31		11050,04
апрель	393	1,13	444,09	4,11		7,20	0,22		30		12031,06
май	567	1,064	603,29	5,41		13,30	0,21		31		15911,57
июнь	624	1,0385	648,02	6,00		16,40	0,21		30		16855,43
июль	590	1,053	621,27	5,57		18,50	0,21		31		16006,24
август	478	1,104	527,71	4,73		17,50	0,21		31		13657,85
сентябрь	315	1,224	385,56	3,57		12,10	0,21		30		10223,41
октябрь	154	1,6985	261,57	2,34		6,60	0,22		31		7104,74
ноябрь	59	1,5715	92,72	0,86		0,60	0,22		30		2583,79
декабрь	41	1,525	62,53	0,56		-3,40	0,23		31		1771,77

4. Приблизительная оценка срока окупаемости проекта

Электричество, выработанная солнечной электростанцией, уходит полностью на покрытие нужд АБК. Однако в летние месяцы выработанные излишки следует продавать в энергосистему по льготному тарифу. Недостаток электроэнергии докупается предприятием по установленным тарифам у энергосистемы.

Электростанция приносит прибыль при генерировании электроэнергии. Эту прибыль можно разделить на 2 части – сэкономленные средства на покупку электроэнергии и прибыль от продажи излишков. Для расчёта примем льготный тариф на продажу электроэнергии 0,41587 руб/кВт·ч, а на покупку

0,3199 руб/кВт·ч [4]. Количество потреблённой от электростанции и проданной электроэнергии, а также её стоимость приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Количество и стоимость потреблённой от электростанции и проданной электроэнергии

Месяц	$W_{\text{ПОТР}}$, кВт·ч	$W_{\text{ПРОД}}$, кВт·ч	$C_{\text{ПОТР}}$, руб	$C_{\text{ПРОД}}$, руб
январь	3004,2	0	961	0
февраль	5354,99	0	1713,1	0
март	11050,04	0	3534,9	0
апрель	12031,06	0	3848,7	0
май	11537,6	4374	3690,9	1819,0
июнь	11740,1	5115,4	3755,7	2127,3
июль	12145,1	3861,2	3885,2	1605,7
август	12794,9	862,9	4093,1	358,9
сентябрь	102223,41	0	32701,3	0
октябрь	7104,74	0	2272,8	0
ноябрь	2583,73	0	826,5	0
декабрь	1771,77	0	566,8	0
Итого:			67761 руб.	

Как видно из таблицы 5, ежегодная прибыль от электростанции составляет $\Pi = 67761$ руб.

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

$P_{\text{уст}}$ – установленная мощность солнечных панелей, в рассматриваемом случае $P_{\text{уст}} = 90$ кВт, тогда:

$$K_{\text{сэс}} = 1780 \cdot 90 = 160200 \text{ руб.}$$

Амортизационные отчисления:

$$A = \frac{K_{\text{сэс}}}{T_{\text{сэс}}}, \quad (9)$$

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

$$A = \frac{160200}{25} = 6408 \text{ руб.}$$

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 потребуется один специалист с фондом заработной платы 80000 руб./год:

$$I_{\text{зп}} = P_{\text{уст}} \cdot 80000 / 500, \quad (10)$$

$$I_{\text{зп}} = 90 \cdot 80000 / 500 = 14400 \text{ руб.}$$

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

$$И_{ТР} = 0,5 \cdot A = 0,5 \cdot 6408 = 3204 \text{ руб.}$$

Приведенные затраты для солнечной электростанции, руб:

$$З = A + И_{ТР} + И_{ЗП}, \quad (11)$$

$$З = 6408 + 3204 + 14400 = 24012 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости проекта:

$$T_{OK} = \frac{K_{СЭС}}{П - З}, \quad (12)$$

$$T_{OK} = \frac{160200}{67761 - 24012} = 3,66 \text{ лет.}$$

Вышеприведённые расчёты являются приблизительными из-за существования следующих допущений:

- 1) невозможность точного определения выработки электроэнергии от солнечных станций;
- 2) потеря электроэнергии в линиях и трансформаторах не учтена;
- 3) приближенное определение затрат на текущий ремонт, обслуживание и заработную плату;
- 4) усреднение стоимости на возведение электростанций;
- 5) усреднение потребления электроэнергии административно-бытовым корпусом.

Более подробная оценка проекта требует детального технико-экономического анализа. В настоящее время солнечные электростанции получают более широкое распространение из-за отсутствия пагубного влияния на окружающую среду и всё большего снижения затрат на их стоимость. Окончательное решение о возможности возведения объекта принимают собственники или руководство предприятия.

Литература

1. Ю.А. Лосюк, В.В. Кузьмич «Нетрадиционные источники энергии», Минск УП «Технопринт», 2005- 234 с.
2. Солнечная Энергоимперия [Электронный ресурс] / ООО «Солнечная энергоимперия» – Режим доступа: <http://solarempire.ru/oborudovanie/solnechnii-fe-modul-one-sun-200m-24.html> – Дата доступа 05.04.2020
3. Справочник по климату Беларуси. Часть I.: справочник / Государственный климатический кадастр. – Минск, 2017. – 85 с.
4. Тарифы на электрическую энергию для юридических лиц и индивидуальных предпринимателей [Электронный ресурс] / РУП «МИНСКЭНЕРГО» ФИЛИАЛ «ЭНЕРГОСБЫТ». – Режим доступа: http://www.energosbyt.by/tariffs_ul_ee.php. - Дата доступа: 05.04.2020.