

О.О. Казіміров¹, К.В. Власов¹, А.І. Куртов², А.І. Потіхенський²

¹ *Академія внутрішніх військ МВС України, Харків*

² *Національний юридичний університет ім. Ярослава Мудрого, Харків*

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ЖИВЛЕННЯ ОБ'ЄКТУ

Аналізується можливість використання сонячної енергії для забезпечення різних режимів автономного електропостачання відповідно до географічних умов розташування України.

Ключові слова: *режими автономного електропостачання, інсоляція сонячної енергії, сонячна батарея.*

Вступ

Постанова проблеми. Без енергії життя людства немислима. Одним з основних факторів, що визначають рівень розвитку суспільства, є його енергоозброєність, причому потреби людства в енергії подвоюються кожні 10–15 років. Споживання енергії за історію розвитку людства (у розрахунку на одну людину) зросла більш ніж у 100 разів. Всі ми звикли використовувати в якості джерел енергії органічне паливо (вугілля, газ, нафту). Проте їхні запаси в природі, як відомо, обмежені. І рано чи пізно настане день, коли вони вичерпаються, тому вже зараз треба шукати інші джерела енергії – альтернативні, нетрадиційні, поновлювані.

Які ж у даний час існують основні альтернативні види енергії? До основних з них можна віднести: сонячну енергію, вітрову енергію і геотермальну енергію.

Особливий інтерес викликає енергія Сонця. Актуальність сонячної енергетики постійно зростає, тому що сонячна енергія є екологічно чистою. Друга причина актуальності використання сонячної енергії полягає в її ресурсомісткості. Всього за 9 хвилин Земля отримує більше енергії від Сонця, ніж людство робить за весь рік.

До переваг сонячної енергії також можна віднести відтворюваність цього джерела енергії, безшумність, відсутність шкідливих викидів в атмосферу при переробці сонячного випромінювання в інші види енергії. На жаль, поряд з перевагами є і недоліки цього альтернативного виду енергії. Недоліками сонячної енергії є залежність інтенсивності сонячного випромінювання від добового і сезонного ритму, а також, необхідність великих площ для будівництва сонячних електростанцій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На жаль, дослідження та публікації, що на сьогодні відомі, мають різний підхід до оцінки можливостей використання сонячної енергії як альтернативної. Крім того, в цих роботах відсутній аналіз можливостей забезпечен-

ня того чи іншого режиму автономного електропостачання об'єкту за рахунок використання енергії Сонця, враховуючи географічні умови розташування України.

Мета статті – дослідити можливості використання сонячної енергії для енергозабезпечення різних режимів автономної роботи об'єкту.

Виклад основного матеріалу

Режими автономного електропостачання. У процесі функціонування системи автономного електропостачання можна виділити наступні режими її використання: повний, комфортний, помірний, базовий і аварійний. При одному і тому ж наборі споживачів електроенергії для різних режимів вимоги до миттєвої потужності і енергозапасу системи (а значить, її ціна, вага і розміри) можуть розрізнятися в багато разів.

Режим повного електропостачання передбачає повну заміну силового електропостачання на автономне без будь-якого обмеження звичного стилю життя. Щоб визначити необхідну кількість енергії, досить проаналізувати кількість споживаємої енергії за місяць та встановити її максимальне значення.

Комфортне електропостачання відрізняється від повного лише виключенням найбільш енергоспоживаючих приладів, тих, у яких потужність перевищує 2 кВт або середнє енергоспоживання за добу перевищує 4-5 кВт/год.

Помірне електропостачання передбачає помітні зміни в способі життя при збереженні високого рівня комфорту. Втім, список електрообладнання мало відрізняється від режиму комфортного енергопостачання, за винятком таких необов'язкових елементів, як електрочайники. Використання електропідігріву гарячої води теж може бути обмежено. Крім цього, зміни стосуються і часу виконання не надто регулярних, але енергоємних робіт.

Базовий режим електропостачання насамперед полягає в постійному обліку поточного навантаження на автономне енергопостачання і в необхідності включення всіх більш-менш потужних споживачів

не одночасно, а по черзі. Крім того, в цьому режимі слід постійно пам'ятати про економію, зокрема включати світло тільки там, тоді і стільки, де, коли і скільки він дійсно потрібний. Те ж стосується і всіх інших електроприладів. Тим не менш, незважаючи на всі застереження, в цьому режимі все ж можна підтримувати достатній рівень комфорту.

Аварійний режим передбачає жорстке обмеження потреб, проте на відміну від попередніх випадків, передбачається, що автономна робота в та-

кому режимі триватиме не більше декількох днів підряд, тому найбільш енергоємні електроприлади можна взагалі не використовувати до відновлення звичайного енергопостачання. Завдання аварійного енергопостачання – забезпечити мінімальні зручності і функціонування найважливіших систем життєзабезпечення об'єкту.

Основні характеристики режимів автономного електропостачання зведені в табл. 1.

Таблиця 1

Характеристика режимів автономного електропостачання

Режим	Потужність в тривалому режимі, кВт		Споживання за місяць, кВт/год	Повсякденне електропостачання	
	зазвичай не більше	максимум		автономне	зовнішнє
Аварійний	0,6	1,5 (зрідка 3)	60	не використовується	використовується завжди
Базовий	1	2,5 (зрідка 4)	100	не використовується або використовується обмежено	використовується завжди
Помірний	3	5	150	для освітлення та систем життєзабезпечення об'єкту	для нагрівальних приладів та інших потужних споживачів
Комфортний	3,5	5	250	для всіх основних споживачів, крім потужних систем електрообігріву	короткочасно для потужних нагрівальних приладів
Повний	5	6	600	завжди	не використовується

Дана таблиця підводить підсумок оцінки енергопотреб, і при оцінках можливостей дармових джерел можна спиратися саме на ці дані. Але в кожному конкретному випадку їх треба вважати індивідуально, виходячи з наявної техніки, власних підходів до її використання і сформованих звичок. Проте методика розрахунку та ж сама.

Особливості літнього та зимового споживання в більшості випадків взаємно нівелюються. Наприклад, літнє скорочення потреб у підігріві компенсується зростанням витрат на охолодження. Тим не менш, у зимовий період споживання електроенергії дещо більше ніж у літній. У таблиці вказані дані для сезону з найбільшим споживанням.

Максимальна безперервна цілодобова потужність дозволяє оцінити допустиму сумарну потужність постійно працюючих споживачів. Сюди ж входить і потужність, споживана обладнанням самої системи енергопостачання – контролерами і інверторами.

Визначення можливостей Сонця. Після визначення потреб в кількості електроенергії для того чи іншого режиму автономного електропостачання треба визначити можливості Сонця. І, перш ніж починати вкладати у створення системи гроші, порівняти ці можливості зі своїми потребами. Основа

розрахунку очікуваної вироблення енергії – це дані по потужності сонячного випромінювання з урахуванням погодних умов.

Найважливішим питанням є вибір кута нахилу панелі. Маючи на увазі можливість цілорічного використання, слід віддати перевагу куту на 15° більшому географічної широти. Тобто, для Києва це 65°. Тепер можна приступати до оцінки потенційної продуктивності сонячних батарей, або, що те ж саме, до оцінки кількості сонячних модулів, необхідних для роботи системи в бажаному режимі.

Стандартна інсоляція розраховується для площі в 1 м². Однак точна площа елементів сонячної панелі не відома. Зате відома її номінальна потужність, яка визначається при 25° С для стандартного потоку сонячного світла в 1кВт/м². Цього цілком достатньо. Приймавши потужність сонячного випромінювання біля поверхні Землі (максимальну інсоляцію) тією що, загалом, відповідає дійсності, – отримаємо, що вироблення батареї відноситься до інсоляції квадратного метра також, як потужність батареї відноситься до потужності сонячного випромінювання в земної поверхні в ясну погоду, що припадає на 1 м², тобто до 1000 Вт. Помноживши місячну інсоляцію з таблиці на співвідношення потужностей батареї і

максимальної інсоляції, можна оцінити вироблення сонячної батареї за цей місяць.

Вироблення фотоелектричної панелі може розраховуватися за наступною формулою:

$$E_{сб} = E_{інс} \cdot R_{сб} \cdot \eta / P_{інс}, \quad (1)$$

де $E_{сб}$ – вироблення енергії сонячною батареєю; $E_{інс}$ – місячна інсоляція квадратного метра (з таблиці інсоляції); $R_{сб}$ – номінальна потужність сонячної батареї; η – загальний ККД передачі електричного струму по проводах, контролеру сонячної батареї і інвертору при перетворенні низьковольтної постійної напруги в стандартну (якщо передбачається використовувати низьковольтну напругу безпосередньо, то при досить товстих і коротких проводах η можна прирівняти до 1, тобто не враховувати); $P_{інс}$ – максимальна потужність інсоляції квадратного метра земної поверхні (1000 Вт).

Значення складових у формулі (1) повинні бути в одних і тих же одиницях (або кіловат-годинах, або джоулях). $1\text{кВт}/\text{год} = 3.6\text{МДж}$.

Відповідно, знаючи місячну інсоляцію, можна оцінити номінальну потужність сонячної батареї, необхідну для забезпечення необхідної місячної виробітки:

$$P_{сб} = P_{інс} \cdot E_{сб} / (E_{інс} \cdot \eta). \quad (2)$$

В табл. 2 наведені усереднені дані щодо середньомісячної енергії сонячного випромінювання (інсоляції) для деяких міст України з урахуванням кліматичних умов (частоти і сили хмарності) для нерухомих панелей, орієнтованих на південь під кутом нахилу 0° . Інсоляція інтегрувалась за місяць, оскільки на такому інтервалі часу коливання, викликані змінами поточної погоди, більш-менш згладжуються, в той час як денні суми інсоляції можуть розрізнятися у 10–15 разів і більше. Щоб оцінити середню щоденну інсоляцію, необхідно сумарну місячну інсоляцію розділити на кількість днів у відповідному місяці.

Таблиця 2

Середньомісячна повна інсоляція для деяких міст України

Місто	Середньомісячна повна інсоляція по місяцям, Дж/м ²											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Київ	$96 \cdot 10^6$	$141 \cdot 10^6$	$266 \cdot 10^6$	$417 \cdot 10^6$	$591 \cdot 10^6$	$626 \cdot 10^6$	$611 \cdot 10^6$	$511 \cdot 10^6$	$362 \cdot 10^6$	$210 \cdot 10^6$	$82 \cdot 10^6$	$55 \cdot 10^6$
Харків	$15 \cdot 10^6$	$176 \cdot 10^6$	$326 \cdot 10^6$	$440 \cdot 10^6$	$628 \cdot 10^6$	$658 \cdot 10^6$	$654 \cdot 10^6$	$582 \cdot 10^6$	$419 \cdot 10^6$	$230 \cdot 10^6$	$105 \cdot 10^6$	$71 \cdot 10^6$
Одеса	$17 \cdot 10^6$	$159 \cdot 10^6$	$310 \cdot 10^6$	$480 \cdot 10^6$	$647 \cdot 10^6$	$699 \cdot 10^6$	$718 \cdot 10^6$	$616 \cdot 10^6$	$446 \cdot 10^6$	$270 \cdot 10^6$	$113 \cdot 10^6$	$84 \cdot 10^6$
Дніпро	$19 \cdot 10^6$	$176 \cdot 10^6$	$327 \cdot 10^6$	$461 \cdot 10^6$	$637 \cdot 10^6$	$675 \cdot 10^6$	$691 \cdot 10^6$	$608 \cdot 10^6$	$448 \cdot 10^6$	$251 \cdot 10^6$	$117 \cdot 10^6$	$75 \cdot 10^6$
Полтава	$94 \cdot 10^6$	$157 \cdot 10^6$	$274 \cdot 10^6$	$402 \cdot 10^6$	$576 \cdot 10^6$	$628 \cdot 10^6$	$622 \cdot 10^6$	$522 \cdot 10^6$	$374 \cdot 10^6$	$210 \cdot 10^6$	$86 \cdot 10^6$	$63 \cdot 10^6$
Ковель	$82 \cdot 10^6$	$141 \cdot 10^6$	$287 \cdot 10^6$	$358 \cdot 10^6$	$513 \cdot 10^6$	$576 \cdot 10^6$	$541 \cdot 10^6$	$463 \cdot 10^6$	$316 \cdot 10^6$	$182 \cdot 10^6$	$72 \cdot 10^6$	$53 \cdot 10^6$

Потужність сонячного випромінювання змінюється від місяця до місяця, а номінальна потужність сонячної батареї незмінна, і саме на неї слід орієнтуватися при виборі місця для установки і визначенні витрат. Формула (2) зручна, щоб оцінити номінальну потужність батареї для конкретних умов інсоляції, але мало підходить для оцінки її можливостей протягом усього року. Тому побудуємо таблицю на підставі формули (1), щоб подивитися, коли і які режими енергопостачання можуть дозволити сонячні батареї різної номінальної потужності. Отримані значення місячної вироблення округлювалися до $1\text{кВт}/\text{год}$ в меншу сторону. При оцінці вироблення врахований сумарний ККД інвертора і контролера, який дорівнює 91% (це найкраща оцінка реально досяжних значень на даний момент).

В табл. 3 наведені дані для м. Києва з врахуванням кута нахилу сонячної панелі 65° . Для наочності кольором виділені можливості батарей по забезпеченню того чи іншого режиму функціонування: аварійний – червоним; базовий – помаранчевим;

помірний – жовтим; комфортний – блакитним; повний – зеленим.

Аналізуючи табл. 3, можливо зробити наступні висновки. Для забезпечення протягом цілого року визначених режимів автономного електропостачання об'єкту потрібно мати сонячні батареї наступних номінальних потужностей:

- для аварійного режиму 3,2 кВт;
- для базового 5,3 кВт;
- для помірнього 8 кВт;
- для комфортного 13,5 кВт;
- для повного 31,5 кВт.

Нажаль вартість сонячних батарей на даний час дуже висока, а площа їх поверхні при ККД 17–18% складе порядку 200 квадратних метрів. Втім, ціни знижуються, але ККД масових панелей поки залишається колишнім, і вишукати 2 сотки площі, хоча б і не на землі, а на стінах і даху, вдасться не завжди.

Тим не менше, ці величезні цифри відносяться до похмурої зими Києва. Судячи з таблиці інсоляції, для тих же режимів в Дніпрі та Херсоні витрати значно зменшаться.

Кількість енергії, що виробляється сонячною батареєю
з врахуванням її номінальної потужності та сумарної інсталяції за місяцями року

Номінальна потужність сонячної батареї, Вт	Кількість енергії, що виробляється сонячною батареєю, кВт/год											
	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень
	21	55,5	106,7	110,6	137,3	131,9	138,3	124,3	95,6	59,4	36,8	23,9
400	7	20	38	40	49	48	50	45	34	21	13	8
500	9	25	48	50	62	60	62	56	43	27	16	10
600	11	30	58	60	74	72	75	67	52	32	20	13
800	15	40	77	80	99	96	100	90	69	43	26	17
1000	19	50	97	100	124	120	125	113	86	54	33	21
1200	22	60	116	120	149	144	151	135	104	64	40	26
1400	26	70	135	140	174	168	176	158	121	75	46	30
1600	30	80	155	161	199	192	201	180	139	86	53	34
1800	34	90	174	181	224	216	226	203	156	97	60	39
2000	38	101	194	201	249	240	251	226	173	108	66	43
2500	47	126	242	251	312	300	314	282	217	135	107	54
3200	61	161	310	322	399	384	402	361	278	172	107	69
5300	101	267	514	533	662	636	667	599	461	286	177	115
8000	152	404	776	805	999	960	1006	904	695	432	267	173
13500	257	681	1310	1358	1686	1620	1699	1527	1174	729	452	293
31500	601	1590	3058	3170	3935	3780	3964	3583	2740	1702	1054	685

Крім того, при проектуванні системи автономного електроживлення об'єкту на основі використання сонячної енергії треба враховувати характер функціонування об'єкта, що буде живитися таким видом альтернативної енергії. Наприклад, сезонність, тривалість безперервної роботи, можливість використання більш енергоємного режиму функціонування тощо.

Тим не менш, незважаючи на первісну вартість таких систем автономного електроживлення, їх подальша експлуатація дозволить зекономити велику кількість як традиційних джерел енергії, так й фінансових коштів.

Висновки

Географічні умови розташування України дозволяють отримувати потрібну кількість сонячної енергії протягом усього року. Головним завданням при створенні систем автономного електроживлення на основі використання сонячної енергії є конфігурація системи в залежності від потрібного режиму автономного електропостачання об'єкту.

Використання такого альтернативного джерела енергії як Сонце дозволить зекономити велику кількість як традиційних джерел енергії, так й фінансових коштів.

Список літератури

1. Щербина О. Енергія для всіх: технічний довідник з енергоощадності та відновних джерел енергії / О. Щербина. – Ужгород: Вид. В. Падяка, 2007. – 340 с.
2. Методы расчета ресурсов возобновляемых источников энергии: учебн. пособ. для ВУЗов / А. Бурмистров, Г. Дерюгина, В. Кузнецова, Д. Кунакин, Н. Малинин, Р. Пугачев. – М.: МЭИ, 2009. – 144 с.
3. Hermann Scheer. The Solar Economy: Renewable Energy for a Sustainable Global Future / Hermann Scheer. – London: Sterling, VA, 2004. – 86 p.
4. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://khd2.narod.ru/gratis/insolate.htm>.
5. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://greenlogic.com.ua/baza/solnechnaya-insolyatsiya.html>.

Надійшла до редколегії 26.12.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.К. Волосяк, Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків.

ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ПИТАНИЯ ОБЪЕКТА

А.А. Казимиров, К.В. Власов, А.И. Куртов, А.И. Потихенский

Анализируется возможность использования солнечной энергии для обеспечения разных режимов автономного электроснабжения относительно географических условий расположения Украины.

Ключевые слова: режимы автономного электроснабжения, инсоляция солнечной энергии, солнечная батарея.

STUDY THE POSSIBILITY OF USING SOLAR ENERGY FOR AUTONOMOUS POWER SUPPLY FACILITY

O.O. Kazimirov, K.V. Vlasov, A.I. Kurtov, A.I. Potixensky

The possibility of using solar energy to provide different modes of autonomous power with respect to the geographical location of Ukraine conditions.

Keywords: autonomous mode power supply, the insolation of solar energy, solar battery.