

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ
ЕНЕРГІЇ ЖИТЛОВИМИ ТА ГРОМАДСЬКИМИ БУДІВЛЯМИ ЗА
НАЯВНОСТІ ГІБРИДНИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ В УМОВАХ
РИНКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ**

В. І. Литвин, аспірант

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: vl@viliv.com.ua

Анотація. *Стаття присвячена аналізу графіків споживання електричної енергії громадських та житлових будівель, а також підвищення ефективності роботи дахових гібридних сонячних електростанцій. Широке розповсюдження гібридних сонячних інверторів зумовлене, як бажанням знизити затрати на енергоспоживання, так і необхідністю забезпечити резервне живлення критичних споживачів, створило передумови для використання переваг ринку електричної енергії. Можливість генерації електричної енергії, використання систем акумулювання та можливість взаємозаміщення джерел енергії (наприклад, централізоване теплопостачання та електропостачання для потреб опалення та гарячого водопостачання) дозволяє говорити про будівлі в контексті «активних споживачів». Розроблені типові графіки споживання електричної енергії будівлями дозволяє підвищити ефективність використання власної сонячної електростанції для мінімізації вартості електропостачання з урахуванням можливості систем накопичення та можливості використання надлишків сонячної генерації на потреби опалення, кондиціонування та гарячого водопостачання. Проведене моделювання режимів роботи сонячної електростанції у варіантах: «споживання на власні потреби без коригування режимів роботи систем накопичення», «продаж надлишків електроенергії на ринку», «споживання на власні потреби з налаштуванням роботи систем накопичення» вказує на можливість зниження затрат на енергоспоживання об'єкту на 30-40 % залежно від добової сонячної інсоляції. Використання моделі дозволяє виконувати налаштування режимів роботи гібридних інверторів для зниження затрат на електропостачання. Подальші дослідження доцільно зосередити на створенні альтернативної системи керування інверторами з оптимізацією функції керування гібридної станції залежно від профілю навантаження будівлі.*

Ключові слова: *гібридне електропостачання, моделювання енергоспоживання, зниження затрат, керування попитом*

Актуальність. Широке розповсюдження дахових сонячних електростанцій з системами накопичення та гібридними інверторами створило передумови до того,

що будівлі з просто споживачів електричної енергії перетворюються на активних споживачів, що мають змогу керувати попитом та графіком споживання електричної енергії із зовнішньої мережі, а також експортувати надлишки електричної енергії. При цьому з'являється можливість створення мікромережі, що дозволяє працювати, як паралельно з зовнішньою мережею, так в ряді випадків – в автономному режимі. Наявність характерних моделей споживання енергетичних ресурсів типових об'єктів дозволяє створювати ефективні системи автоматичного керування режимами споживання, накопичення та генерації енергії, а також виконувати підбір оптимальної конфігурації систем гібридного енергопостачання в умовах недостатньої інформації щодо фактичних графіків споживання енергоресурсів.

Аналіз останніх публікацій та досліджень. У роботах [1-12] розглядаються різноманітні аспекти функціонування мікромереж, як в острівному режимі, так і паралельно з енергосистемою. Аналіз зазначених досліджень вказує на перспективність керування попитом на електроенергію, як з метою балансування електричних мереж, так і з метою зниження затрат на електропостачання. Виходячи з отриманих раніше результатів, можна зробити висновки, що житлові та громадські будівлі можуть вносити суттєвий вклад в енергетичний баланс країни, а з огляду на широке розповсюдження дахових сонячних електростанцій вони перетворюються з пасивних споживачів електричної енергії на активних учасників. Виходячи з цього, визначення типових профілів споживання електричної енергії для різних типів будівель та формування на їх основі оптимальних алгоритмів керування гібридними електростанціями є першочерговою задачею поряд з вибором оптимальної конфігурації таких систем.

Метою дослідження є визначення характерних графіків споживання електричної енергії будівлями та моделювання оптимальної системи роботи гібридної сонячної електростанції в умовах ринку електричної енергії.

Матеріали та методи дослідження. Для отримання типових графіків споживання електричної енергії було проведено збір даних про погодинне споживання енергетичних ресурсів за допомогою системи моніторингу енергоспоживання шляхом усереднення профілів споживання однотипних об'єктів.

Визначення оптимального алгоритму роботи гібридної системи електроживлення виконувалося для днів з різною сонячною інсоляцією та різними профілями цін на ринку на добу наперед. При цьому враховувалися затрати на передачу та розподіл електричної енергії, а також можливість продажу надлишків електричної енергії на ринку.

Як правило, вихідними даними для вибору сонячної установки для житлових і громадських будівель є помісячні дані про споживання електричної енергії, що зумовлено періодичністю виставлення рахунків та передачі показань лічильників. З огляду на те, що більшість об'єктів не оснащені системами АСКУЄ, або системою моніторингу енергоспоживання, отримання фактичних погодинних даних про споживання електричної енергії є досить трудомістким процесом, що передбачає проведення замірів за допомогою портативних аналізаторів електричної енергії. При цьому тривалість таких вимірювань, як правило, не перевищує декількох діб і не дозволяє отримати дані, характерні для всього року. Як результат, сонячні електростанції можуть працювати в неоптимальному режимі та потребувати додаткових налаштувань під потреби будівлі. У такому випадку вирішенням проблеми може бути або використання типових графіків споживання електричної енергії для однотипних об'єктів, або створення адаптивної системи, що могла б виконувати самонавчання по мірі накопичення даних про енергоспоживання.

Розглянемо типові профілі на прикладі гуртожитків (рис. 1), а громадських будівель на прикладі лікарень (рис. 2). Як бачимо, для житлових будівель можемо спостерігати характерні вранішні та вечірні піки, а для лікарень – переважно вранішній пік.

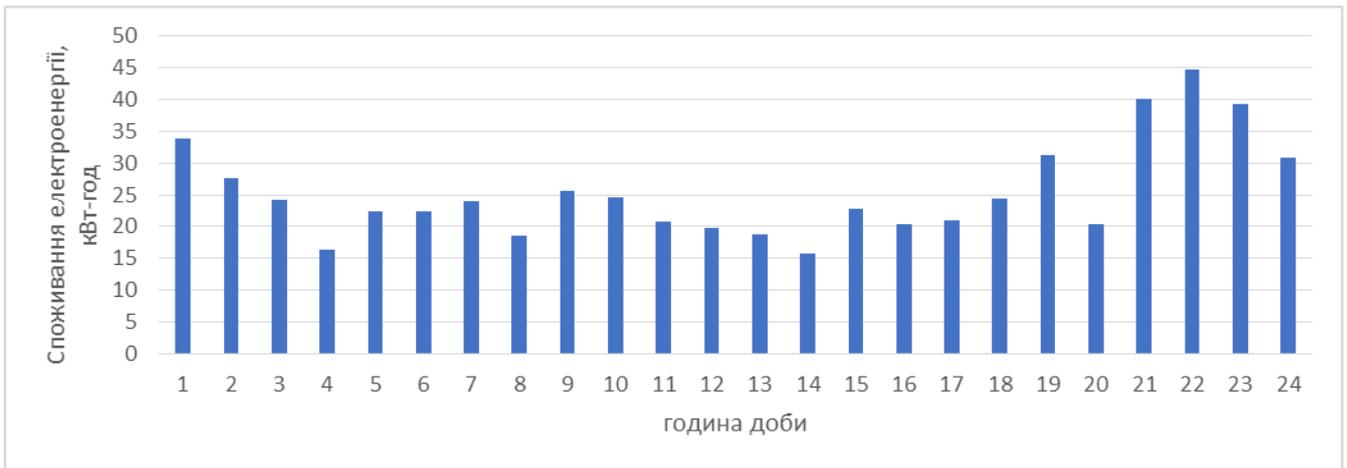


Рис. 1. Профіль споживання житлової будівлі на прикладі гуртожитку

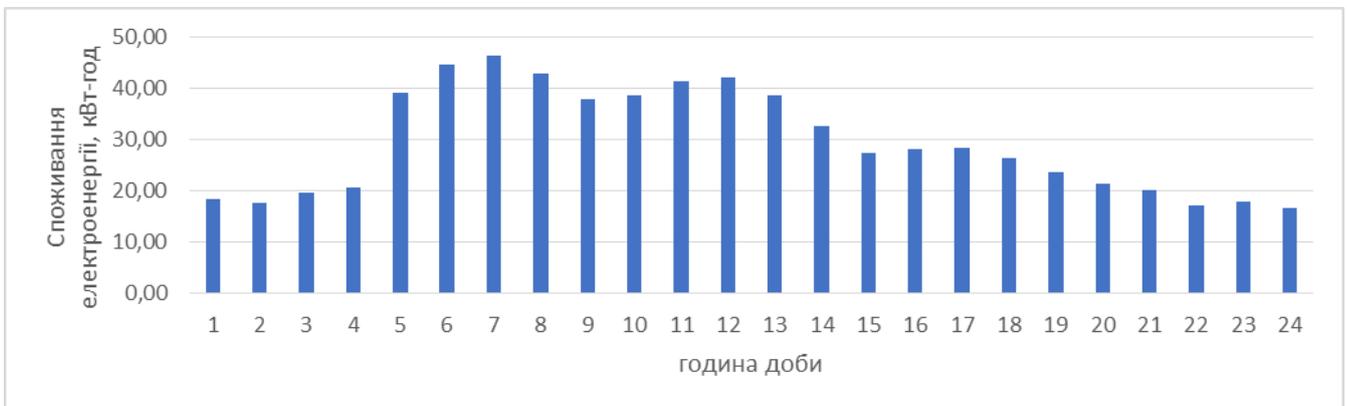


Рис. 2. Профіль споживання громадської будівлі на прикладі лікарні

Серед факторів, що впливають на енергоспоживання в межах доби можна відзначити наступні:

- тривалість світлового дня, що суттєво впливає на потребу електроосвітлення;
- день тижня, особливо, це стосується громадських будівель;
- зовнішня температура, що позначається на потребі в електричному опаленні та в кондиціонуванні.

Генерація електричної енергії сонячною електростанцією та вартість електричної енергії на ринку на добу наперед приймається як задана величина, на яку у кінцевого споживача відсутній вплив.

Сучасні сонячні гібридні інвертори дозволяють працювати в таких режимах:

- генерація електричної енергії для власних потреб, з використанням надлишку для заряджання акумулятора;

- лише заряджання акумулятора від сонячних панелей з живленням споживачів від електричної мережі;
- живлення споживачів лише від сонячних панелей та акумуляторів без використання зовнішньої мережі (автономний режим);
- генерація електричної енергії в зовнішню мережу від сонячних панелей;
- генерація електричної енергії в зовнішню мережу від акумуляторів.

Для прийняття рішення про оптимальний (з огляду на максимальний економічний ефект) режим роботи гібридної сонячної електростанції станом на конкретний момент доступна така інформація:

- погодинна вартість електричної енергії на ринку на поточну добу;
- прогноз погодинної вартості електричної енергії на ринку на наступну добу;
- прогноз сонячної інсоляції на поточну та наступну доби;
- прогноз потреби в електричній енергії будівлі на основі типового графіку навантаження;
- вартість циклу заряду-розряду акумуляторної батареї з огляду на швидкість їх деградації;
- вартість та обсяг теплової енергії, яку можна замінити електричною енергією від сонячної електростанції або мережі.

Під час моделювання роботи гібридної установки електропостачання враховані такі показники:

- вартість системи накопичення електроенергії прийнята 10 тис. грн./кВт-год за умови забезпечення 4000 циклів заряду/розряду;
- вартість акумуляювання (з розрахунку на вартість та кількість циклів системи акумуляювання) – 2,5 грн./кВт-год;
- вартість електричної енергії – відповідно до ціни на ринку на добу наперед (РДН) (рис. 3);
- вартість затрат на розподіл та передачу 2,23 грн./кВт-год.

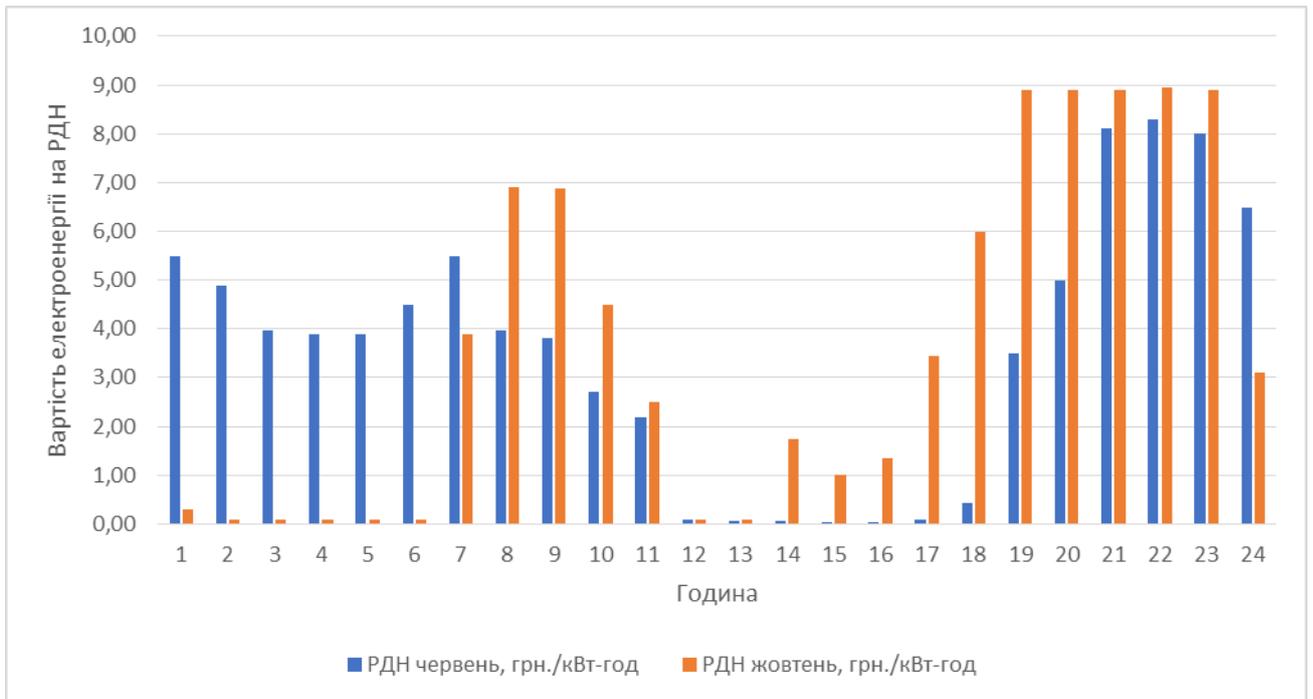


Рис. 3. Вартість електроенергії на РДН в малохмарний день влітку та восени

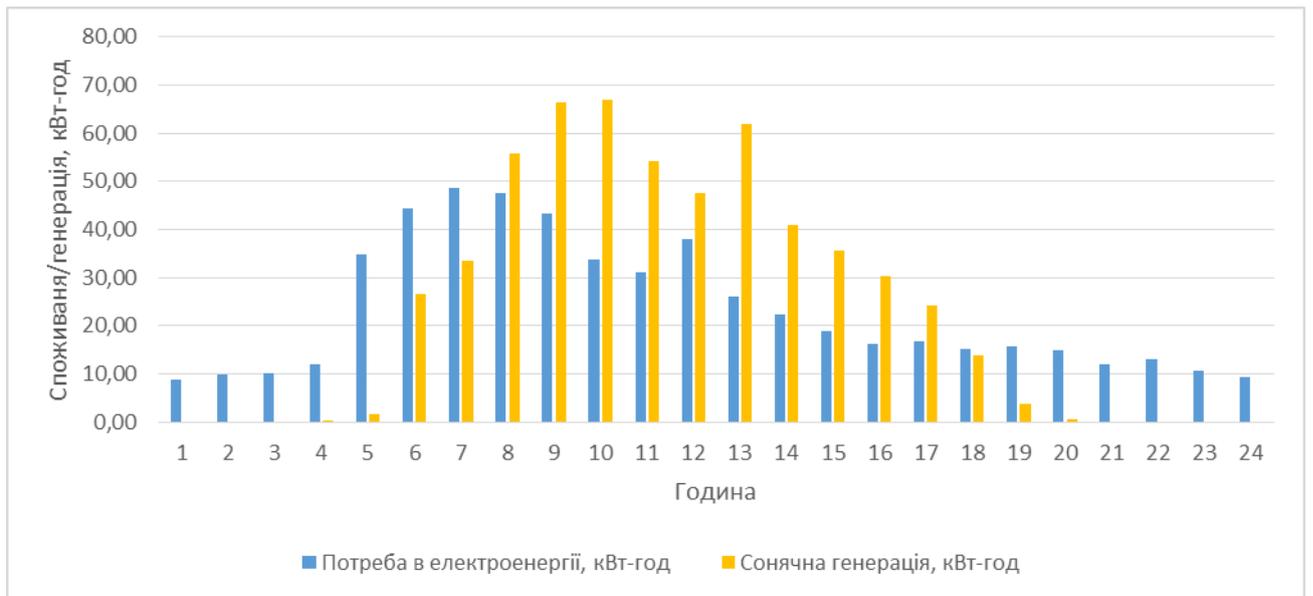


Рис. 4. Порівняння потреби типового закладу охорони здоров'я та генерації сонячною електростанцією в червні

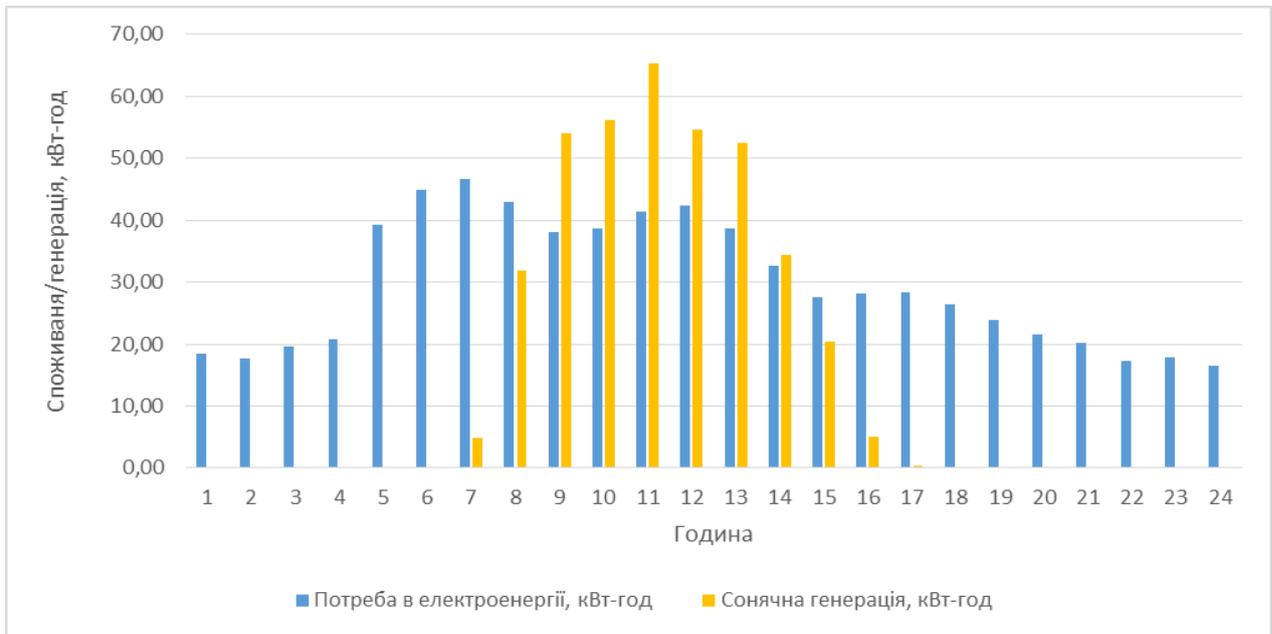


Рис. 4. Порівняння потреби типового закладу охорони здоров'я та генерації сонячною електростанцією в жовтні

У процесі дослідження було проведено моделювання роботи гібридних сонячних електростанцій за різними алгоритмами роботи з огляду на потребу в енергії та потенціал сонячної генерації (рис. 3-4):

- незалежна робота сонячної електростанції з продажем в загальну мережу;
- використання сонячної генерації на власні потреби з продажем лише надлишків;
- акумулювання надлишків з подальшим використанням в години найбільшої вартості електричної енергії.

Порівняння результатів моделювання з використанням співвідношення (1) наведено в таблиці 1. Детальний погодинний аналіз наведено для різних алгоритмів роботи наведених в таблицях 2 та 3.

1. Порівняння затрат на електропостачання за різних сценаріїв використання сонячних електростанцій

Сценарій	Літній день	Осінній день
Продаж електроенергії, грн.	749,6	2 178,1
Споживання на власні потреби та продаж надлишків, грн	717,3	1 301,5
Перенесення навантаження з використанням систем акумулювання, грн	447,4	788,3
Скорочення затрат на електропостачання, %	38 %	39 %

$$C_d = \sum_{k=1}^{24} (E_i \cdot p_i^m + A_i \cdot p_a), \quad (1)$$

де C_d - добові витрати будівлі на електропостачання, грн.; p_i^m - вартість електроенергії на ринку на добу наперед в годину i , грн/кВт-год; E_i - споживання електроенергії з мережі будівлею в годину i , кВт-год; A_i - використання електроенергії з акумуляторів, кВт-год; p_a - вартість акумуляування.

Як видно з таблиці 1, коригування графіку роботи гібридного інвертора дозволяє на 38-39 % знизити затрати на електропостачання порівняно зі споживанням на власні потреби і продажем надлишків в мережу.

На основі проведеного моделювання були отримані результати, що можуть бути використані для вибору потужності сонячних станції та ємності систем акумуляування:

- для будівель лікарень з усередненим графіком співвідношення між максимальною годинною та середньою за добу потужністю в літній період становить 1,6, для осіннього 2,1, що може бути використано для попереднього підбору сонячної електростанції за умови наявності даних лише про щомісячне споживання електричної енергії;

- для вибору сонячної електростанції, що може забезпечити повну автономність в сонячний літній день для лікувальних закладів можна наближено використовувати такі співвідношення:

$$P_s = \frac{2.1 \cdot C_m}{720}, \quad (2)$$

$$E_s = \frac{C_m}{179}, \quad (3)$$

де C_d - середньомісячне (за літні місяці) споживання електроенергії, кВт-год.; P_s - потужність сонячної електростанції, кВт; E_s - ємність системи акумуляування, кВт-год.

2. Приклад аналізування роботи гібридної системи енергопостачання для літнього місяця (за умови надлишку сонячної генерації)

Година	Потреба в електроенергії, кВт-год	Сонячна генерація, кВт-год	Ціна ел-ен. на РДН, грн/кВт-год	Затрати на електроенергію без сонячної станції, грн.	Прибуток від продажу електроенергії на РДН, грн.	Потреба в електроенергії за наявності сонячної станції без акумулювання, кВт-год	Затрати на електроенергію за наявності сонячної станції без акумулювання, грн.	Надлишок генерації, кВт-год.	Прибуток від продажу надлишків, грн.	Затрати за умови використання систем акумулювання, грн.
1	8,81	0,00	5,50	51,70	0,00	8,81	51,70	0,00	0,00	22,03
2	9,82	0,00	4,89	51,24	0,00	9,82	51,24	0,00	0,00	24,55
3	10,16	0,00	3,97	43,55	0,00	10,16	43,55	0,00	0,00	25,40
4	11,92	0,27	3,89	49,58	1,05	11,65	48,53	0,00	0,00	29,12
5	34,78	1,70	3,89	138,52	6,60	33,08	131,92	0,00	0,00	82,71
6	44,32	26,66	4,49	202,13	119,67	17,66	82,47	0,00	0,00	44,14
7	48,60	33,63	5,50	270,51	184,95	14,97	85,57	0,00	0,00	37,43
8	47,68	55,76	3,97	192,42	221,25	0,00	0,00	8,08	32,06	0,00
9	43,32	66,31	3,80	167,83	251,98	0,00	0,00	22,99	87,37	0,00
10	33,78	66,88	2,70	94,40	180,50	0,00	0,00	33,09	89,32	0,00
11	31,02	54,14	2,19	71,26	118,73	0,00	0,00	23,12	50,70	0,00
12	38,00	47,57	0,08	6,27	3,81	0,00	0,00	9,58	0,77	0,00
13	26,08	61,79	0,07	5,05	4,33	0,00	0,00	35,71	2,50	0,00
14	22,30	40,94	0,07	4,79	2,87	0,00	0,00	18,64	1,30	0,00
15	18,97	35,53	0,05	4,08	1,60	0,00	0,00	16,56	0,75	0,00
16	16,14	30,25	0,04	3,90	1,27	0,00	0,00	14,11	0,59	0,00
17	16,70	24,24	0,08	4,48	1,82	0,00	0,00	7,54	0,57	0,00
18	15,29	13,87	0,44	9,95	6,10	1,42	3,85	0,00	0,00	3,54
19	15,64	3,73	3,50	57,98	13,03	11,91	44,93	0,00	0,00	29,79
20	14,94	0,49	5,00	77,95	2,46	14,45	75,49	0,00	0,00	36,13
21	12,04	0,00	8,10	100,74	0,00	12,04	100,74	0,00	0,00	30,10
22	13,00	0,00	8,30	111,13	0,00	13,00	111,13	0,00	0,00	32,50
23	10,71	0,00	8,00	88,88	0,00	10,71	88,88	0,00	0,00	26,77
24	9,26	0,00	6,48	63,24	0,00	9,26	63,24	0,00	0,00	23,15
Доба	553,28	563,76	3,54	1 871,58	1 122,02	178,94	983,22	189,42	265,92	447,35

3. Приклад аналізування роботи гібридної системи енергопостачання для осіннього місяця (за умови дефіциту сонячної генерації)

Година	Потреба в електроенергії, кВт-год	Сонячна генерація, кВт-год	Ціна ел-ен. на РДН, грн/кВт-год	Затрати на електроенергію без сонячної станції, грн.	Прибуток від продажу електроенергії на РДН, грн.	Потреба в електроенергії за наявності сонячної станції без акумулювання, кВт-год	Затрати на електроенергію за наявності сонячної станції без акумулювання, грн.	Надлишок генерації, кВт-год.	Прибуток від продажу надлишків, грн.	Потреба в електроенергії за наявності сонячної станції з акумулюванням, кВт-год	Затрати за умови використання системи акумулювання, грн.
1	18,51	0,00	0,29	8,59	0,00	18,51	8,59	0,00	0,00	18,51	8,59
2	17,65	0,00	0,10	4,99	0,00	17,65	4,99	0,00	0,00	17,65	4,99
3	19,66	0,00	0,10	5,15	0,00	19,66	5,15	0,00	0,00	19,66	5,15
4	20,71	0,00	0,08	4,88	0,00	20,71	4,88	0,00	0,00	20,71	4,88
5	39,19	0,00	0,09	6,75	0,00	39,19	6,75	0,00	0,00	39,19	6,75
6	44,83	0,12	0,10	7,71	0,00	44,71	7,70	0,00	0,00	44,71	7,70
7	46,56	4,78	3,90	184,82	0,33	41,78	166,19	0,00	0,00	41,78	166,19
8	42,87	31,86	6,90	299,03	14,50	11,01	79,22	0,00	0,00	11,01	79,22
9	38,07	54,00	6,88	265,02	41,66	0,00	0,00	15,93	109,58	0,00	0,00
10	38,60	56,26	4,50	176,94	45,22	0,00	0,00	17,66	79,46	0,00	0,00
11	41,40	65,34	2,50	106,73	61,00	0,00	0,00	23,94	59,85	0,00	0,00
12	42,33	54,72	0,10	7,46	42,77	0,00	0,00	12,39	1,24	0,00	0,00
13	38,76	52,40	0,10	7,10	39,23	0,00	0,00	13,64	1,36	0,00	0,00
14	32,70	34,42	1,74	60,13	16,92	0,00	0,00	1,72	2,99	0,00	0,00
15	27,56	20,39	1,00	30,79	5,94	7,17	10,40	0,00	0,00	7,17	17,93
16	28,25	5,13	1,35	41,37	0,38	23,13	34,45	0,00	0,00	23,13	57,82
17	28,36	0,28	3,45	101,08	0,00	28,09	100,13	0,00	0,00	28,09	70,22
18	26,37	0,00	5,98	160,78	0,00	26,37	160,78	0,00	0,00	26,37	65,92
19	23,82	0,00	8,90	215,21	0,00	23,82	215,21	0,00	0,00	0,00	59,55
20	21,48	0,00	8,90	194,42	0,00	21,48	194,42	0,00	0,00	0,00	53,71
21	20,16	0,00	8,90	182,65	0,00	20,16	182,65	0,00	0,00	0,00	50,40
22	17,27	0,00	8,95	157,82	0,00	17,27	157,82	0,00	0,00	0,00	43,17
23	17,84	0,00	8,90	161,99	0,00	17,84	161,99	0,00	0,00	17,84	44,60
24	16,59	0,00	3,10	54,66	0,00	16,59	54,66	0,00	0,00	16,59	41,48
Доба	709,56	379,69	3,62	2 446,06	267,94	415,14	1 555,97	85,28	254,49	332,41	788,27

Результати досліджень та їх обговорення. У процесі дослідження була зібрана інформація по профілям споживання електричної енергії житлових та громадських будівель, визначені типові графіки споживання електричної енергії та на їх основі запропонований оптимальний варіант роботи сонячного гібридного інвертора для максимізації економічного ефекту від встановленого обладнання. При цьому взято до уваги як можливість продажу надлишків електричної енергії, так і можливість акумулювання сонячної енергії з подальшим використанням в години з найбільшою вартістю електричної енергії. Також у процесі дослідження були запропоновані емпіричні співвідношення для попереднього підбору гібридних сонячних електростанцій за умови відсутності погодинних даних про споживання електричної енергії. Подальшим напрямком дослідження має бути розробка багатокритеріальної моделі споживання електричної енергії будівлею, що дозволить підвищити ефективність вибору режимів роботи гібридної системи електропостачання.

Висновки і перспективи.

Використання індивідуальних графіків споживання електричної енергії для керування системами гібридного електропостачання дозволяє суттєво знизити затрати на електропостачання за умови роботи на ринку на добу наперед.

За існуючої тенденції щодо вартості електричної енергії на ринку на добу наперед оптимальною стратегією для житлових та громадських будівель щодо використання сонячних електростанцій є покриття власних потреб в електроенергії. Це дозволяє не лише знизити затрати на електроенергію, а й позитивно вплинути на вирівнювання графіку енергосистеми.

Визначені типові графіки споживання електричної енергії дозволяють виконувати підбір обладнання гібридних систем живлення в умовах обмежених даних про енергоспоживання.

Використання більш ефективних алгоритмів використання гібридної сонячної електростанції дозволяє, як знижувати затрати на електропостачання, так і зменшувати пікові навантаження на енергосистему.

Подальшим напрямком дослідження має бути розробка багатofакторіальної моделі енергоспоживання, що дозволить підвищити якість прогнозування та

точність керування навантаженням, генерацією та системами накопичення. З огляду на зміни, що можуть відбуватися в режимах роботи будівель, така модель повинна мати змогу перенавчатися в автоматичному режимі. При цьому окрім акумулювання електричної енергії може розглядатися також акумулювання теплової енергії, що (за умови використання електронагріву) дозволить знизити капітальні затрати на системи акумулювання.

Список використаних джерел

1. Агеєва Т. П. Методичні основи оцінки енергозбереження та прогнозування енергоспоживання в сфері житлового та комунально-побутового обслуговування населення України : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.14.01 / Ін-т заг. енергетики НАН України. Київ, 2002. 20 с. Режим доступу: <http://www.irbis-nbuv.gov.ua/aref/20081124022267>
2. Гребченко М. Системи електропостачання з локальними джерелами енергії та керування ними. Київ : Нац. техн. ун-т України «Київ. політехн. ін-т ім. Ігоря Сікорського», 2023. 78 с. Режим доступу: <http://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/41e81896-4f4e-4106-96d7-711fa381e244/content>
3. Ackermann T., Andersson G., Söder L. Electric Power Systems Research. 3rd ed. Sweden : Department of Electric Power Engineering, Royal Institute of Technology, Electric Power Systems, Teknikringen 33, 10044 Stockholm, 2001. Vol. 57 : Distributed generation: a definition. 194-204 p. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378779601001018>
4. A comprehensive overview on demand side energy management towards smart grids: challenges, solutions, and future direction / M. S. Bakare et al. Режим доступу: <https://energyinformatics.springeropen.com/articles/10.1186/s42162-023-00262-7>
5. Kaplun, V., Osypenko, V., & Makarevych, S. (2022). Forecasting the electricity pricing of energy islands with renewable sources. *Machinery & Energetics*, 13(4), 38-47.
6. Каплун В.В., Кравченко О.П., Василенко В.В. Аналіз методів оптимізації мікроенергетичних систем (microgrid) на основі джерел розподіленої генерації. *Вісник КНУТД*. 2015. №2 (84).
7. КАБІНЕТ МІНІСТРІВ УКРАЇНИ. Концепція Впровадження “розумних мереж” в Україні до 2035 року. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/908-2022-p#Text>.
8. Карталапов К. М. Розподілена генерація та smart grid. Режим доступу: <https://www.ukrlogos.in.ua/10.11232-2663-4139.16.23.html>.
9. Кіянчук В. М., Махотіло К. В. Участь побутових споживачів на енергетичних ринках через керування попитом. Режим доступу: <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/c84e34e8-9332-464d-8290-08663c229d04>.

10. Панасюк М., Замулко А. І. Особливості проведення аналізу нерівномірності споживання електроенергії. Режим доступу: <https://en.iee.kpi.ua/files/2012/153-165.pdf>.

11. A review of strategies for building energy management system: Model predictive control, demand side management, optimization, and fault detect & diagnosis. Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710220310627>

12. Ackermann T., Andersson G., Söder L. Electric Power Systems Research. 3rd ed. Sweden: Department of Electric Power Engineering, Royal Institute of Technology, Electric Power Systems, Teknikringen 33, 10044 Stockholm, 2001. Vol. 57: Distributed generation: a definition. 194-204 p. Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378779601001018>.

13. A comprehensive overview on demand side energy management towards smart grids: challenges, solutions, and future direction. M. S. Bakare et al. Режим доступу: <https://energyinformatics.springeropen.com/articles/10.1186/s42162-023-00262-7>

References

1. Aheieva, T. P. (2002). *Metodychni osnovy otsinky enerhozberezhennia ta prohnozuvannia enerhospozhyvannia v sferi zhytloвого та komunalno-pobutovoho obsluhovuvannia naseleння Ukrainy* [Methodological foundations for assessing energy conservation and forecasting energy consumption in the residential and communal services sector in Ukraine] : avtoref. dys. kand. tekhn. nauk : 05.14.01 / In-t zah. enerhetyky NAN Ukrainy. Kyiv, 20. Available at: <http://www.irbis-nbuv.gov.ua/aref/20081124022267>

2. Hrebchenko, M. (2023). *Systemy elektropostachannia z lokalnymy dzherelamy enerhii ta keruvannia nymy* [Power supply systems with local energy sources and their control]. Kyiv : Nats. tekhn. un-t Ukrainy «Kyiv. politekhn. in-t im. Ihoria Sikorskoho», 78. Available at: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/41e81896-4f4e-4106-96d7-711fa381e244/content>

3. Ackermann, T., Andersson, G., Söder, L. *Electric Power Systems Research*. 3rd ed. Sweden: Department of Electric Power Engineering, Royal Institute of Technology, Electric Power Systems, Teknikringen 33, 10044 Stockholm, 2001. Vol. 57: Distributed generation: a definition, 194-204. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378779601001018>

4. M. S. Bakare et al. A comprehensive overview on demand side energy management towards smart grids: challenges, solutions, and future direction. Available at: <https://energyinformatics.springeropen.com/articles/10.1186/s42162-023-00262-7>

5. Kaplun, V., Osypenko, V., Makarevych, S. (2022). Forecasting the electricity pricing of energy islands with renewable sources. *Machinery & Energetics*, 13(4), 38-47.

6. Kaplun, V. V., Kravchenko, O. P., Vasylenko, V. V. (2015). *Analiz metodiv optymizatsii mikroenerhetychnykh system (microgrid) na osnovi dzherel rozpodilenoї heneratsii* [Analysis of methods for optimising microgrids based on distributed generation sources]. *Visnyk KNUTD*, 2 (84).

7. KABINET MINISTRIV UKRAINY. *Kontseptsiia Vprovadzhennia "rozumnykh merezh" v Ukraini do 2035 roku*. [Concept for the Implementation of Smart Grids in Ukraine by 2035]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/908-2022-p#Text>.

8. Kiianchuk, V. M., Makhotilo, K. V. Uchast pobutovykh spozhyvachiv na enerhetychnykh rynkakh cherez keruvannia popytom [Participation of domestic consumers in energy markets through demand management]. <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/c84e34e8-9332-464d-8290-08663c229d04>.

9. Panasiuk, M., Zamulko, A. I. Osoblyvosti provedennia analizu nerivnomirnosti spozhyvannia elektroenerhii [Features of analysing uneven electricity consumption]. Available at: <https://en.iee.kpi.ua/files/2012/153-165.pdf>.

10. A review of strategies for building energy management system: Model predictive control, demand side management, optimization, and fault detect & diagnosis. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710220310627>

11. Ackermann, T., Andersson, G., Söder, L. (2001). Electric Power Systems Research. 3rd ed. Sweden: Department of Electric Power Engineering, Royal Institute of Technology, Electric Power Systems, Teknikringen 33, 10044 Stockholm, 57: Distributed generation: a definition, 194-204.

URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378779601001018>.

12. Bakare, M. S. et al. A comprehensive overview on demand side energy management towards smart grids: challenges, solutions, and future direction. Available at: <https://energyinformatics.springeropen.com/articles/10.1186/s42162-023-00262-7>

INCREASING THE EFFICIENCY OF ELECTRICITY USE BY RESIDENTIAL AND PUBLIC BUILDINGS IN THE PRESENCE OF HYBRID SOLAR POWER PLANTS IN THE ELECTRICITY MARKET

V. Lytvyn

Abstract. *The article is devoted to the analysis of electricity consumption schedules of public and residential buildings and the operation and optimization of the operation of rooftop hybrid solar power plants. The wide distribution of hybrid solar inverters, due to both the desire to reduce energy consumption costs and the need to provide backup power to critical consumers, created prerequisites for using the advantages of the electricity market. Storage and the possibility of interchangeability of energy sources (for example, district heating and electricity supply for heating and hot water supply) allows us to talk about buildings in the context of "active consumers". The developed standard schedules of electricity consumption by buildings allow optimizing the use of their own solar power plant to minimize the cost of electricity supply, taking into account the possibility of storage systems and the possibility of using surplus solar generation for heating, air conditioning and hot water supply. The simulation of the solar power plant operating modes in the following options: "consumption for own needs without optimizing the use of storage systems", "sale of surplus electricity on the market", "consumption for own needs with optimization of storage systems" indicates the possibility of reducing the cost of energy consumption of the facility by 30-40% depending on the daily solar insolation. The use of the model allows you to configure the operating modes of hybrid inverters to optimize energy consumption. It is advisable to focus further research on the creation of an alternative control system for inverters with optimization depending on the load profile of the building.*

Key words: *hybrid power supply, energy consumption modeling, cost optimization, demand side*