

ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ СОНЦЯ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОТРЕБ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ ЕНЕРГІЇ НАСОСНИХ СТАНЦІЙ

Отримано 05 лист. 2024 р.; рекомендовано до публікації 14 бер. 2025 р.
Доступно онлайн 01 квіт. 2025 р.

Кармазін О. О.¹, Петренко К. В.², Іванченко І. В.³

Автор для кореспонденції: Кармазін Олексій,
e-mail: alexey.karmazin@gmail.com

¹ канд. техн. наук
<http://orcid.org/0000-0002-7628-6880>

² головний технолог
<http://orcid.org/0009-0004-4658-9946>

³ інж. І к.
<http://orcid.org/0000-0002-5083-4180>

^{1, 2, 3} Інститут відновлюваної енергетики
НАН України, м. Київ, Україна

У роботі досліджено можливість забезпечення електричною енергією насосних станцій за рахунок сонячної енергії під час знеструмлення з зовнішньої мережі. Розглянуто основні схеми використання сонячної енергії для потреб водопостачання. Виконано оцінку економічної ефективності проєктів гібридних сонячних електростанцій для двох насосних станцій, розташованих в південних регіонах України.

Встановлено, що резервуар чистої води може використовуватися як додаткова система акумулювання. Це дозволяє за рахунок кращої узгодженості з графіком навантаження ефективніше використовувати генерацію сонячної електростанції й у такий спосіб покращити економічні показники проєкту в цілому. Через утворення значного надлишку електричної енергії в літні місяці використання сонячної енергії як основного джерела енергії впродовж року є недоцільним.

Через високу вартість акумуляторів термін окупності гібридних сонячних станцій – від 10 років, що робить їх менш привабливими порівняно з мережевими (3-4 роки). З огляду на те, що ці проєкти спрямовані на запобігання можливим гуманітарним катастрофам через припинення водопостачання населення, такий термін окупності можна вважати цілком прийнятним. Бібл. 11, табл. 10, рис. 3.

Ключові слова: гібридна сонячна електрична станція, капітальні вкладення, насосна станція, мережева сонячна станція, термін окупності.

ASSESSMENT OF THE ECONOMIC FEASIBILITY OF USING SOLAR ENERGY TO SUPPLY THE ELECTRICAL ENERGY NEEDS OF PUMPING STATIONS

Received Nov. 05, 2024; accepted Mar. 14, 2025
Available online Apr. 01, 2025

Karmazin O.¹, Petrenko K.², Ivanchenko I.³

Author for correspondence: Karmazin Olexsii,
e-mail: alexey.karmazin@gmail.com

¹ Cand. of Tech. Science
<http://orcid.org/0000-0002-7628-6880>

² Chief technologist
<http://orcid.org/0009-0004-4658-9946>

³ First category engineer
<http://orcid.org/0000-0002-5083-4180>

^{1, 2, 3} Institute of Renewable Energy of the NAS
of Ukraine, Kyiv, Ukraine

The paper examines the possibility of providing electrical energy to pumping stations due to solar energy during blackout from the external network. The main schemes of using solar energy for water supply needs are considered. An assessment of the economic efficiency of the projects of hybrid solar power plants for two pumping stations located in the southern regions of Ukraine was carried out.

It has been established that the clean water tank can be used as an additional storage system. This makes it possible to more effectively use the generation of the solar power plant due to better consistency with the load schedule and thereby improve the economic performance of the project as a whole. Due to the generation of a significant surplus of electrical energy in the summer months, the use of solar energy as the main source of energy throughout the year is impractical.

Due to the high cost of batteries, the payback period of hybrid solar stations is from 10 years, which makes them less attractive compared to network ones (3-4 years). Given the fact that these projects are aimed at preventing

possible humanitarian disasters due to the cessation of water supply to the population, such a payback period can be considered quite acceptable. Ref. 11, tabl. 10, fig. 3.

Keywords: *hybrid solar power station, capital investment, pumping station, grid solar station, payback period.*

Вступ Станом на кінець 2024 року внаслідок військової агресії з боку окупаційних військ Москви українські енергетики втратили контроль над електрогенерувальними об'єктами сумарною встановленою потужністю понад 18 ГВт [1]. Серед них – Запорізька атомна станція, найбільша в Європі. Ця станція покривала близько чверті загальних потреб в електричній енергії країни. Повністю зруйновані Каховська та Дніпровська гідроелектростанції, Зміївська та Трипільська теплоелектростанції. Критичних пошкоджень (понад 80 %) зазнали приватні теплоелектростанції, серед яких – Ладижинська, Бурштинська, Добротвірська, Курахівська, Криворізька та Придніпровська. Істотних руйнувань зазнали підстанції та лінії електропередавання всіх класів напруг.

Такий стан речей негативно позначився на стабільності роботи об'єднаної енергосистеми України та призвів до виникнення дефіциту електричної енергії. Для забезпечення балансу диспетчери були вимушені запроваджувати віялові відключення.

Тривала відсутність електропостачання на об'єктах критичної та соціальної інфраструктури може призвести до гуманітарної катастрофи. Для уникнення цього розповсюдженою практикою стало використання на таких об'єктах електрогенераторів з двигунами внутрішнього згоряння (ЕГ). Проте використання останніх має певні особливості та обмеження і не завжди може цілком задовольнити потреби споживача [2]. Так, наприклад, для певного обладнання чи технологічних процесів навіть короткотривала перерва (у декілька хвилин) в електропостачанні недопустима, особливо це стосується медичного обладнання. Запуск та вихід на робочу потужність ЕГ потребує певного часу, який залежить від системи керування генератором та його стану (холодний або попередньо прогрітий) і може становити до 10 хв. Окрім цього, для забезпечення роботи генератора необхідно тримати певний запас пального.

Альтернативою ЕГ може слугувати гібридна сонячна електростанція (ГЕС), адже її експлуатація не потребує постійної наявності обслуговуючого персоналу та будь-якого пального, а перемикання на автономну роботу, на відміну від електрогенераторів, може відбуватися автоматично за досить незначний час 10–20 мс.

Високий потенціал сонячної енергії дозволяє використовувати ГЕС як ефективне джерело енергії практично по всій території України [3]. Найсприятливішими для цього є південні регіони України (Одеська, Миколаївська, Херсонська, Запорізька області та частина Донецької, АР Крим).

Використання ГЕС для забезпечення споживачів електроенергією в умовах відсутності стабільного електропостачання вже підтвердило свою ефективність [4].

Реалізація таких проєктів вимагає значних фінансових вкладень. У цій статті виконано оцінку вартісних показників проєктів СЕС для насосних станцій, розташованих на півдні України.

Типи систем. Серед сонячних електростанцій, доступних для встановлення на насосних станціях, можна виділити основні типи систем:

- мережеві сонячні електростанції;
- гібридні сонячні електростанції;
- частотні перетворювачі (для насосів) з можливістю підключення сонячних батарей.

Мережеві сонячні електростанції (СЕС) набули найбільшого розповсюдження через їх низький термін окупності (3–5 років) та простоту в обслуговуванні.

Системи цього типу можуть працювати тільки за наявності зовнішньої електричної мережі, а тому використовуються тільки для компенсації власного споживання.

Головна вимога для ефективного використання мережевої СЕС – наявність постійного навантаження в денні години. З огляду на це встановлена потужність станції має дорівнювати максимуму навантаження споживачів у денні години або неістотно перевищувати його.

Гібридні сонячні електростанції почали активно використовуватися в Україні з початком активних бойових дій для забезпечення електроживлення споживачів у разі знеструмлення від зовнішньої електромережі.

Через високу вартість акумуляторних батарей термін окупності таких систем може становити 10 років [5].

На відміну від звичайних систем безперебійного живлення, ГЕС може компенсувати власне споживання з зовнішньої мережі так само, як і мережева СЕС. Залежно від потреб можливо задавати різні режими заряджання акумуляторів – зовнішня мережа або за рахунок енергії, виробленої фотоелектричними модулями. Наявність додаткового незалежного джерела енергії (сонячне випромінювання) дозволяє забезпечити тривалу автономну роботу споживачів.

Ця особливість дає змогу отримати значно кращі техніко-економічні показники порівняно з акумуляторними системами безперебійного живлення.

Частотні перетворювачі з можливістю підключення сонячних батарей. Системи цього типу поєднують у собі функціонал інвертора та частотного перетворювача. При достатній інтенсивності сонячного випромінювання насос працює від електричної енергії, виробленої фотоелектричними модулями (ФЕМ). За відсутності сонячного випромінювання система переходить на роботу від мережі. Також можлива автономна робота від енергії Сонця.

Через відсутність акумуляторних батарей такі системи можна використовувати за відсутності зовнішньої мережі лише в години достатньої інтенсивності сонячного випромінювання. З огляду на це їх застосовують здебільшого в сільському господарстві в системах поливу.

Термін окупності для такої СЕС становить близько 8 років [6].

Для забезпечення електричною енергією насосного обладнання великих підприємств в Україні активно почали будувати мережеві та гібридні сонячні електростанції [7]. Їмність акумуляторних батарей зазвичай вибирають достатньою для забезпечення роботи насосних агрегатів упродовж 2–4 год за умови відсутності генерації від сонячних фотоелектричних модулів. Це дозволить в літні дні забезпечити повноцінне водопостачання населення.

Для невеликих насосних станцій (один насос) у сільській місцевості з 2022 року почали встановлювати ГСЕС контейнерного типу.

Обладнання такої СЕС розташовують усередині металевго контейнера, ФЕМ встановлюють на його дах. За

потреби контейнер додатково може бути обладнано електрогенератором з двигуном внутрішнього згорання.

На місце безпосереднього встановлення ГСЕС доставляють у зібраному виді за винятком ФЕМ. Це дозволяє виконати будівельно-монтажні роботи за досить короткий час.

Серед розглянутих типів СЕС для забезпечення роботи водоканалів в умовах частого знеструмлення найпридатніша гібридна сонячна електростанція.

У статті виконано розрахунки економічної ефективності для двох насосних станцій міст, розташованих на півдні країни.

Вихідні дані. Розрахунок виконується для двох насосних станцій (НС) з різними режимами роботи насосних агрегатів.

НС 1 має резервуар чистої води ємністю, що покриває потреби водопостачання понад дві доби. Режим роботи насосних агрегатів цілодобовий з максимальним навантаженням вночі (80–100 кВт) та мінімумом увечері (26 кВт). Добовий графік навантаження наведено на рис. 1. Дані щодо споживання електричної енергії за 2022 рік наведено в табл. 1.



Рис. 1. Фактичний графік роботи насосів НС 1 упродовж доби

Fig. 1. The actual schedule of operation of PS 1 pumps throughout the day

Таблиця 1. Помісячне споживання електричної енергії НС 1 основного водозабору, кВт*год

Table 1. Monthly electric energy consumption of PS 1 of the main water intake, kWh

Рік	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	Річне
2022	43 941	36 935	28 661	38 772	46 583	29 746	41 135	46 697	43 741	42 336	35 804	42 495	476 846

Наявність великого резервуара дає змогу використовувати його як акумулятор – у години з високою інтенсивністю сонячного випромінювання працює максимальна кількість насосів, за відсутності Сонця максимально використовується накопичена в резервуарі вода. Це

дозволяє підлаштувати навантаження під генерацію СЕС з мінімальним використанням акумуляторних батарей. Можливість зміни графіка роботи насосних агрегатів підтверджена персоналом насосної станції. Змінений графік роботи наведено на рис. 2.



Рис. 2. Графік роботи насосів НС 1, змінений з урахуванням добового ходу сонячної генерації

Fig. 2. The schedule of the pumps of PS 1, changed taking into account the daily course of solar generation

НС 2 має резервуар чистої води, ємність якого забезпечує потреби водопостачання до чотирьох годин. Режим роботи насосних агрегатів характеризується частими повними зупинками впродовж доби насосу другого підйому (90 кВт). Добове навантаження може змінюватися від 13 до 98 кВт (рис. 3). Дані щодо споживання електричної енергії за 2024 рік наведено в табл. 2.

му (90 кВт). Добове навантаження може змінюватися від 13 до 98 кВт (рис. 3). Дані щодо споживання електричної енергії за 2024 рік наведено в табл. 2.

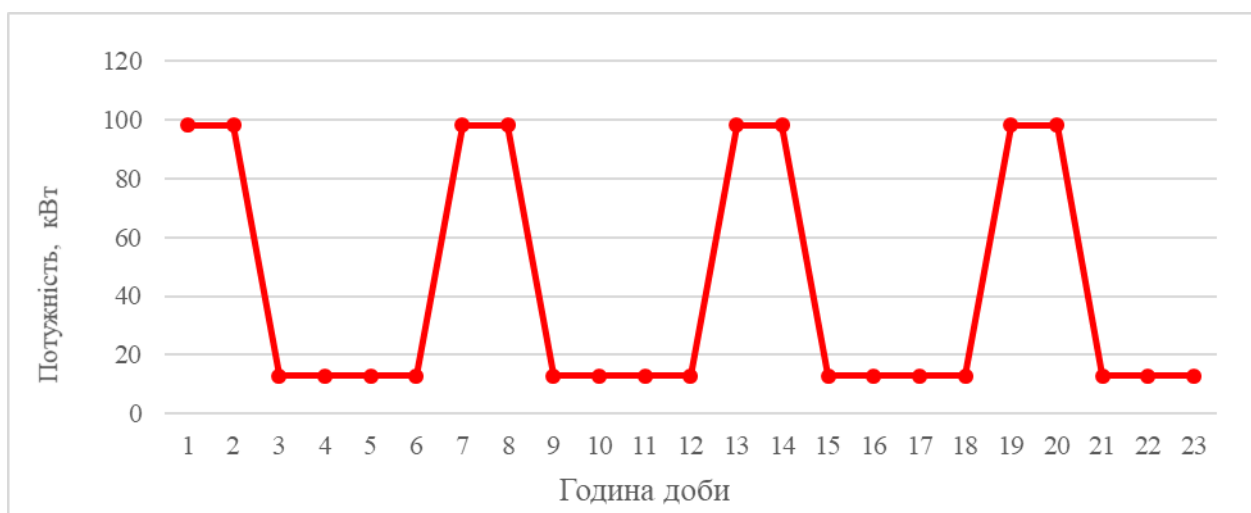


Рис. 3. Фактичний графік роботи насосів НС 2 упродовж доби

Fig. 3. The actual schedule of operation of PS 2 pumps throughout the day

Таблиця 2. Помісячне споживання електричної енергії НС 2 основного водозабору, кВт*год

Table 2. Monthly electricity consumption of PS 2 of the main water intake, kWh

Рік	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	Річне
2022	13 740	25 524	19 214	18 180	17 580	18 960	25 380	23 400	20 100	15 909	14 288	13 920	226 195

Графік, наведений на рис. 2, показує, що потужність насоса другого підйому є надлишковою, про що свідчать часті пуски / зупини впродовж доби.

Оцінка економічної доцільності використання сонячної електростанції для електрозабезпечення насосних станцій.

Розрахунок економічних показників впровадження СЕС має ґрунтуватися на технічно досяжній потужності станції. Така оцінка охоплює обсяг додаткової реконструкції мереж, можливість акумулювання надлишкової генерації ФЕМ та фактичну кількість площі (земельні ділянки або дахи) під розміщення фотоелектричних модулів.

Для досліджуваних НС було розглянуто три можливих сценарії впровадження СЕС:

1. Забезпечення роботи НС від сонячної енергії впродовж всього року.
2. Технічно досяжна потужність СЕС.
3. Економічно доцільна потужність СЕС.

Розрахунок генерації для наведених варіантів СЕС виконано за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення для моделювання роботи СЕС Skelion [8].

Встановлена потужність СЕС для забезпечення роботи насосних агрегатів від енергії Сонця має визначатися за місяцем з найнижчою генерацією – груднем. Для НС 1 добове споживання становить 635 кВт·год. Для забезпечення середньодобового споживання у грудні на такому рівні потужність ФЕМ має становити 858 кВт (650 кВт – потужність інверторів). За такої потужності річна генерація перевищить споживання в два рази, в літні місяці – майже в три рази (табл. 3). Очевидно, що така потужність буде економічно недоцільною.

Таблиця 3. Порівняння споживання електричної енергії насосами НС 1 та генерації СЕС 650 кВт

Table 3. Comparison of electrical energy consumption by PS 1 pumps and 650 kW SPP generation

	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	Річне, кВт·год
<i>За місяць, кВт·год</i>													
СЕС	43 293	40 877	76 788	126 806	122 255	103 269	96 423	133 703	93 708	104 586	24 513	20 968	987 195
НС	43 941	36 935	28 661	38 772	46 583	29 746	41 135	46 697	43 741	42 336	35 804	42 495	476 846
<i>Середня за добу, кВт·год</i>													
СЕС	1396	1459	2477	4226	3943	3442	3110	4313	3123	3373	817	676	-
НС	636	636	636	636	636	636	636	636	636	636	636	636	-

Для НС 2 добове споживання становить 460 кВт·год. Для забезпечення середньодобового споживання в грудні на такому рівні потужність ФЕМ має становити 600 кВт (450 кВт – потужність інверторів). За такої по-

тужності річна генерація перевищить споживання майже в три рази, в літні місяці – майже в чотири рази. Для цієї НС 2 така потужність також буде економічно недоцільною.

Таблиця 4. Порівняння споживання електричної енергії насосами НС 2 та генерації СЕС 450 кВт

Table 4. Comparison of electric energy consumption by PS 2 pumps and 450 kW SPP generation

	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	Річне, кВт·год
<i>За місяць, кВт·год</i>													
СЕС	27 236	37 496	56 747	81 522	89 349	71 837	72 551	98 958	63 771	64 216	24 827	14 378	702 888
НС	13 740	25 524	19 214	18 180	17 580	18 960	25 380	23 400	20 100	15 909	14 288	13 920	226 195
<i>Середня за добу, кВт·год</i>													
СЕС	878	1339	1830	2717	2882	2394	2340	3192	2125	2071	827	463	-
НС	483	670	484	564	576	613	618	628	627	547	537	460	-

Наявні вільні площі земельних ділянок НС 1 дозволяють розмістити на її території ФЕМ встановленою потужністю до 330 кВт (250 кВт – потужність інверторів).

У табл. 5 наведено середньодобова генерація СЕС 250 кВт та споживання електричної енергії насосами.

СЕС такої потужності може забезпечити мінімальну потребу насосів в електричній енергії за рахунок сонячної енергії впродовж 10 місяців – з березня до жовтня. В інші місяці генерації СЕС недостатньо.

Таблиця 5. Порівняння споживання електричної енергії насосами НС 1 та генерації СЕС 250 кВт по місяцях, кВт·год

Table 5. Comparison of electric energy consumption by pumps of PS 1 and generation of SPP 250 kW by month, kWh

	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
<i>За місяць, кВт·год</i>												
СЕС	15 342	15 059	29 207	50 335	50 847	44 227	41 809	54 576	36 424	37 730	8 805	7639
НС	43 941	36 935	28 661	38 772	46 583	29 746	41 135	46 697	43 741	42 336	35 804	42 495
<i>Середнє за добу, кВт·год</i>												
СЕС	495	538	942	1677	1640	1474	1348	1760	1214	1217	293	246
НС	636	636	636	636	636	636	636	636	636	636	636	636

СЕС такої потужності з акумулятором ємністю 100 кВт·год (від 2-х до 3-х годин автономної роботи) дозволяє покрити близько 62 % від загального споживання насосів. Надлишкова (втрачена) електроенергія становить близько 24 % від згенерованої, що негативно позначиться на показниках економічної ефективності (табл. 6).

Таблиця 6. Покриття споживання НС 1 основного водозабору за рахунок СЕС

Table 6. Covering the consumption of PS 1 of the main water intake at the expense of SPP

Потужність СЕС, кВт	Річна генерація, кВт·год	Електроенергія, кВт·год			втраченої електроенергії СЕС	Покриття споживання за рахунок СЕС
		надлишкова	накопичена в АКБ	обмежена		
250	391 999,15	124 332,94	28 486,93	95 846,00	24,5 %	62 %
200	313 606,15	72 605,11	26 575,52	46 029,59	14,7 %	60 %

Конфігурація земельної ділянки НС 2 дозволяє виконати розташування ФЕМ лише за схемою «схід-захід». За такої схеми встановлена потужність ФЕМ становитиме 150 кВт (100 кВт – потужність інверторів). У табл. 7 наведено середньодобову генерацію СЕС 100 кВт та споживання електричної енергії насосами.

Таблиця 7. Порівняння середньодобової генерації гібридної СЕС 100 кВт та споживання насосами НС 2 по місяцях, кВт·год

Table 7. Comparison of the average daily generation of a hybrid SPP of 100 kW and consumption by pumps of PS 2 by month, kWh

	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
<i>За місяць, кВт·год</i>												
СЕС	3484	6090	11 110	18 234	22 788	19 567	19 326	22 502	12 443	9993	3387	2093
НС	14 970	18 764	15 006	16912	17 847	18 382	19 149	19 455	18 799	16 964	16 099	14 250
<i>Середнє за добу, кВт·год</i>												
СЕС	112	217	358	607	735	652	623	735	415	322	113	67
НС	460	460	460	460	460	460	460	460	460	460	460	460

СЕС 100 кВт може забезпечити мінімальну потребу насосів в електричній енергії з квітня до серпня.

Така потужність СЕС з акумулятором ємністю 100 кВт·год (2 год автономної роботи) дозволяє покрити близько

48 % загального споживання насосів, при цьому надлишкова (втрачена) енергія становить близько 35 % згенерованої (табл. 8).

Таблиця 8. Покриття споживання НС 2 основного водозабору за рахунок СЕС

Table 8. Covering the consumption of PS 2 of the main water intake at the expense of SPP

Потужність СЕС, кВт	Річна генерація, кВт·год	Електроенергія, кВт·год			Частка втраченої електроенергії СЕС	Покриття споживання за рахунок СЕС
		Надлишкова	Накопичена в АКБ	Обмежена		
100	151 322,68	81 608,78	29 274,24	52 334,54	34,7 %	47,7 %

Очевидно, що кращі економічні показники матиме варіант з максимальним використанням енергії, виробленої ФЕМ, та мінімальною ємністю акумуляторної батареї.

Для досягнення максимального економічного ефекту гібридною сонячною електростанцією потужність інверторів має дорівнювати потужності навантаження або бути дещо більшою за неї. Ємність акумуляторів визначається за необхідним часом автономної роботи СЕС, зазвичай це 2–4 год автономної роботи за відсутності генерації ФЕМ.

Відповідно до цього для НС 1 встановлену потужність СЕС було зменшено до 200 кВт за інверторами (ФЕМ – 264 кВт). Така встановлена потужність у поєднанні з акумулятором 100 кВт·год дозволить покрити до 60 % споживання насосів у разі втрат надлишкової електроенергії менше 15 % (див. табл. 6).

За результатами, наведеними в табл. 6, можна зробити висновок, що потужність СЕС 200 кВт є оптимальною з погляду забезпечення максимального покриття навантаження за рахунок генерації СЕС. Подальше збільшення встановленої потужності СЕС веде до істотного зростання втрат енергії через економічну недоцільність її акумулювання.

Для НС 1 подальше зменшення встановленої потужності СЕС неможливе, оскільки потужність навантаження становить близько 100 кВт.

Для НС 2 втрати електроенергії істотно вищі, ніж для НС 1. Це пояснюється низьким базовим навантаженням споживання та відсутністю можливості накопичення води в резервуарі

Оцінка економічної доцільності будівництва сонячної станції. Для отриманих параметрів СЕС виконано оцінку економічної доцільності будівництва СЕС. Фінансово-економічний аналіз проведено відповідно до вимог [9] та на основі загальних методів інвестиційних розрахунків, адаптованих до специфіки проєктів СЕС. Зазначені методи дозволяють оцінити ефективність відповідних проєктів з точки зору як інвесторів (акціонерів), так і країни, в якій реалізується проєкт.

Окупність інвестицій забезпечується коштом економічного ефекту, одержаного від зменшення витрат на оплату електроенергії, спожитої з загальної мережі за рахунок генерації на СЕС.

Для оцінки економічної ефективності інвестицій застосовано показники як дохідності, так і витрат.

Як показник дохідності використано загальнозживані в інвестиційних розрахунках показники:

- прибуток до вирахування відсотків за кредит, податків і амортизації EBITDA (Earnings before interest, taxes, depreciation and amortization);
- чиста приведена вартість проєкту NPV (Net Present Value);
- рентабельність інвестицій ROI (Return on Investment);
- внутрішня норма рентабельності IRR (Internal Rate of Return);
- термін повернення інвестицій PB (Payback period);
- індекс рентабельності PI (Profitability Index).

Як показник витрат застосовується спеціально розроблений для електроенергетики галузевий показник – приведена вартість електроенергії LCOE (Levelized Cost of Energy) [10, 11]. Цей показник є настільки важливим і загальнозживаним для прийняття інвестиційних рішень, що дослідження його виконуються в географічному і технологічному розрізах щорічно авторитетними американськими і європейськими консалтинговими компаніями і профільними професійними об'єднаннями. Результати цих досліджень публікуються в режимі відкритого доступу.

EBITDA – аналітичний показник, який показує обсяг прибутку до вирахування відсотків за кредитами, податку на прибуток і амортизації активів. Показник корисний при порівнянні підприємств однієї галузі, що мають різну структуру капіталу, дозволяє визначити ефективність діяльності компанії незалежно від її заборгованості перед різними кредиторами і державою, а також від методу нарахування амортизації.

Чиста приведена вартість проєкту (NPV) являє собою дисконтовану вартість проєкту (поточну вартість доходів або вигоду від зроблених інвестицій). NPV – це різниця

між величиною грошового потоку, дисконтованого за прийнятної ставки дохідності, і сумою інвестицій. Розраховується шляхом дисконтування (приведення до поточної вартості, тобто на момент інвестування) очікуваних грошових потоків (як доходів, так і витрат). Чиста приведена вартість відображає прибуток інвестора (додаткову вартість інвестицій), який інвестор очікує отримати від реалізації проєкту, після того як грошові потоки окуплять його початкові інвестиційні витрати та періодичні відтоки, пов'язані з експлуатацією такого проєкту. Загалом, проєкти з позитивним значенням NPV варті реалізації.

Термін повернення інвестицій (РВ) – це рік розрахункового періоду, після якого кумулятивна (наростаюча) сума чистих грошових потоків переходить з від'ємної зони до додатної. Це період, протягом якого сума чистих доходів, дисконтованих на момент завершення інвестування, дорівнює сумі інвестицій, тобто інвестиції досягають точки беззбитковості. РВ період показує, коли інвестовані кошти можуть бути використані для нових капіталовкладень.

Індекс рентабельності (PI) – являє собою відношення суми чистих грошових потоків до розміру

вкладених інвестицій. Визначає, який дохід отримує інвестор на одну умовну грошову одиницю. Є одним із основних показників, що дозволяє оцінити перспективи інвестиційного проєкту щодо майбутньої прибутковості.

Внутрішня норма рентабельності (IRR) – це норма прибутку, за якої чиста приведена вартість проєкту NPV дорівнює нулю, або це та ставка дисконту, при якій дисконтовані прибутки від проєкту дорівнюють інвестиційним витратам. Внутрішня норма рентабельності визначає максимально прийнятну ставку дисконту, при якій можна інвестувати кошти без втрат для власника.

Приведена вартість енергії (LCOE) відображає поточну вартість всіх витрат для виробництва однієї одиниці енергії. LCOE поєднує всі види витрат і дозволяє спростити аналіз вартості енергії.

Тариф на електроенергію прийнято на рівні закупівельної вартості для НС основного водозабору станом на кінець 2023 року; він становить 4,10 грн/кВт·год.

Значення відрахувань, що було враховано при виконанні розрахунків наведено в табл. 9.

Таблиця 9. Вихідні дані для розрахунку показників ефективності

Table 9. Output data for calculating efficiency indicators

№з/п	Вихідні данні для розрахунків	Одиниця виміру	Значення
1	Норма дисконтування грошових потоків	%	4,053
2	Термін реалізації проєкту	років	25
3	Ставка податку на прибуток	%	-
4	Перший рік реалізації проєкту		2024
5	Коефіцієнт амортизації основних засобів		0,04
6	Норматив експлуатаційних витрат	% від інв/рік	1,86

Вихідні дані для розглянутих варіантів реалізації будівництва СЕС для насосних станцій наведено в табл. 10.

Величину питомих інвестицій для кожного варіанта прийнято за проєктами-аналогами та фактичними

цінами на обладнання для СЕС станом на початок 2024 року. Значення річної генерації розраховано за допомогою спеціального програмного забезпечення Skelion.

Таблиця 10. Вихідні дані для розрахунку показників ефективності для розглянутих варіантів

Table 10. Initial data for calculating efficiency indicators for the considered options

№з/п	Вихідні данні для розрахунків	Одиниця. виміру	НС 1		НС 2, СЕС 100 кВт
			СЕС 250 кВт	СЕС 200 кВт	
1	Питомі інвестиції	Дол. США/кВт	1311,482	1398,28	1840,99
2	Потужність СЕС	кВт	250	200	100
3	Річна генерація електроенергії	кВт·год/рік	296 156,2	267 576,6	98 988,14
4	Частка власних інвестицій	%	100	100	100

Результати розрахунку ефективності реалізації для кожного варіанта наведено в табл. 11. За результатами можна відзначити, що найкращі показники демонструє СЕС 200 кВт НС 1. СЕС 100 кВт НС 1 навіть незважаючи на те, що потужність СЕС максимально наближена до встановленої потужності насосів має найгірші показники. Це можна пояснити частими тривалими зупинками одного з насосів у денні години (рис. 4) та відсутністю великого резервуару чистої води, що дозволило б накопичувати воду в денні години і за рахунок цього збільшити тривалість роботи насоса. Також на ефективності проекту

негативно позначилися істотно вищі порівняно з іншими варіантами капітальні вкладення. Це пов'язано з високою вартістю акумуляторних батарей, ємність яких залишилася незмінною в усіх варіантах.

Покращити економічні показники можна за рахунок заміни насоса на більш ефективні насоси меншої встановленої потужності. Це дозволить збільшити тривалість роботи насоса без погіршення забезпеченості споживачів водою і в такий спосіб збільшити базове навантаження в денні години.

Таблиця 11. Показники ефективності реалізації розглянутих варіантів

Table 11. Indicators of effectiveness of implementation of the considered options

№з/п	Показник	Одиниця виміру	НС 1		НС 2, СЕС 100 кВт
			СЕС 250 кВт	СЕС 200 кВт	
1	Сума інвестицій	тис. дол. США	327,87	279,66	184,10
2	Сума власних інвестицій	тис. дол. США	327,87	279,66	184,10
3	Сума поточних витрат	тис. дол. США	152,46	130,04	86,99
4	Сума витрат на реалізацію проекту	тис. дол. США	480,33	409,70	271,09
5	Вироблена електроенергія	тис. кВт·год	7403,83	6689,415	2474,7
6	EBITDA	тис. дол. США	678,22	620,48	190,66
7	Собівартість електроенергії	цент США/кВт·год	6,49	6,12	10,95
8	LCOE	цент США/кВт·год	9,19	8,67	15,49
9	Чиста приведена вартість проекту (NPV)	тис. дол. США	297,31	279,69	48,78
10	Термін повернення інвестицій (PB)	років	11	10	18
11	Індекс дохідності (PI)		0,91	1,00	0,26
12	Внутрішня норма рентабельності (IRR)	%	11,45	12,13	6,4

Висновки. За результатами виконаних розрахунків встановлено, що через утворення значного надлишку електричної енергії в літні місяці використання сонячної енергії як основного джерела енергії для насосних станцій впродовж року є недоцільним.

Залежно від технічних характеристик насосної станції (об'єм резервуара чистої води, потужність, кількість та режим роботи насосів), використання ГСЕС як резервного джерела енергії дозволяє забезпечити автономну роботу насосів впродовж 2–4 год та компенсувати 47–60 % річного споживання електричної енергії. Термін окупності для таких проектів становить від 10 років.

З огляду на те, що ці проекти спрямовані на запобігання можливим гуманітарним катастрофам через припинення водопостачання населення, такий термін окупності можна вважати цілком прийнятним.

ПОСИЛАННЯ

- Збитки та втрати енергосектору України через війну перевищили \$56 млрд – KSE Institute [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://forbes.ua/news/zbitki-ta-vtrati-energosektoru-ukraini-cherez-viynu-perevishchili-56-mlrd-kse-institute-10062024-21678>
- Кармазін О. О., Петренко К. В., Іванченко І. В. Використання енергії сонця для забезпечення електричною енергією насосних станцій. Матеріали XXIV Міжнародної науково-практичної, м. Київ, 18-19 травня 2023 р., Київ, С. 200–202.
- Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України / за ред. С. О. Кудрі. Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАН України. 2020. 82 с.
- Лікарні на сонячних батареях: як громади в Україні втілюють «зелені» рішення [Електронний ресурс] // – Режим доступу:

<https://eco.rayon.in.ua/topics/624280-likarni-na-sonyachnikh-batareyakh-yak-v-ukraini-vtilyuyut-zeleni-rishennya>

5. Буратинський І. М. Термін окупності гібридної сонячної електростанції, до складу якої входить установка зберігання електроенергії з різними технічними параметрами. Відновлювана енергетика. 2023. № 3. С. 45–52. DOI: 10.36296/1819-8058.2023.3(74)42-52
6. Solar irrigation pump lowers emissions and saves energy [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://www.danfoss.com/en/service-and-support/case-stories/dds/solar-irrigation-pump-lowers-emissions-and-saves-energy/>
7. Як сонячні електростанції допомагають водоканалам працювати під час відключень електроенергії [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://greentransform.org.ua/yak-sonyachni-elektrostantsiyi-dopomagayut-vodokanalam-pratsyuvaty-pid-chas-vidklyuchen-elektroenergiyi/>
8. Solar systems design plugin for sketchup [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://skelion.com/>
9. ГКД 340.000.002-97 «Визначення економічної ефективності капітальних вкладень в енергетику. Методика. Енергосистеми і електричні мережі».
10. 2023 Levelized Cost Of Energy+ [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://www.lazard.com/research-insights/2023-levelized-cost-of-energyplus/>
11. Що таке LCOE? [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://solarity.eu/ua/blog/what-does-lcoe-mean/>
2. Karmazin O., Petrenko K., Ivanchenko I. Using the sun's energy to provide pumping stations with electrical energy. Renewable energy and energy efficiency in the XXI century materials of the XXIV international scientific and practical conference. May 18–19, 2023, Kyiv.
3. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України / за ред. С. О. Кудрі. Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАН України. 2020. 82 с.
4. Hospitals powered by solar batteries: how communities in Ukraine implement "green" solutions // <https://eco.rayon.in.ua/topics/624280-likarni-na-sonyachnikh-batareyakh-yak-v-ukraini-vtilyuyut-zeleni-rishennya>
5. Buratynsky I. The payback period of a hybrid solar power plant including an energy storage system with various technical parameters. Vidnovluvana Energetika. 2023. № 3. С. 45–52. DOI: 10.36296/1819-8058.2023.3(74)42-52
6. Solar irrigation pump lowers emissions and saves energy [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://www.danfoss.com/en/service-and-support/case-stories/dds/solar-irrigation-pump-lowers-emissions-and-saves-energy/>
7. How solar power plants help water utilities work during power outages // <https://greentransform.org.ua/yak-sonyachni-elektrostantsiyi-dopomagayut-vodokanalam-pratsyuvaty-pid-chas-vidklyuchen-elektroenergiyi/>
8. Solar systems design plugin for sketchup // <https://skelion.com/>
9. ГКД 340.000.002-97 «Determining the economic efficiency of capital investments in energy. Method. Energy systems and electrical networks».
10. 2023 Levelized Cost Of Energy+ [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://www.lazard.com/research-insights/2023-levelized-cost-of-energyplus/>
11. What is LCOE? // : <https://solarity.eu/ua/blog/what-does-lcoe-mean/>

REFERENCES

1. Damages and losses of the energy sector of Ukraine due to the war exceeded \$56 billion – KSE Institute // <https://forbes.ua/news/zbitki-ta-vtrati-energosektoru-ukraini-cherez-viynu-perevishchili-56-mlrd-kse-institute-10062024-21678>