ЕНЕРГЕТИКА ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 658.264

Дослідження інноваційних сонячних установок півдня України за допомогою комп'ютерного моделювання

Г. В. Лужанська[1]✉, І. В. Климчук[2], Д.О. Шилов[3], Д. С. Ігнатенко[4], О. С. Тарасюк[5]
[1-5]Національний університет «Одеська політехніка», просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна
✉ e-mail: [1]luzhanska@op.edu.ua
ORCID: [1]http://orcid.org/0000-0002-3784-5926; [2]https://orcid.org/0009-0004-5682-6677; [3]https://orcid.org/0009-0006-0067-009X; [4]https://orcid.org/0009-0005-9587-9285; [5]https://orcid.org/0009-0004-6552-6932

Сонячні електростанції грають першорядну роль економіки багатьох країн. Вся територія України є придатною для розташування сонячних установок. При цьому найсприятливішими для цього є південні регіони. Сьогодні актуальними є розробки на основі сонячної енергії для безперебійного енергозабезпечення об'єктів, особливо в умовах нестабільного енергопостачання. Лідируючу роль займають сонячні фотоелектричні станції. В умовах нестабільного енергопостачання застосовуються різні типи сонячних електростанцій: автономна – повна незалежність від мереж, обов'язкова наявність великого банку АКБ, мережна – працює лише за наявності зовнішньої мережі, не має акумуляторів для автономії, гібридна – двоспрямована взаємодія з мережею, пріоритетне використання сонячної енергії. Особливу цікавість викликають гібридні сонячні станції. Вони поєднують у собі мережну та автономну станції, можуть як накопичувати енергію в акумуляторних батареях, і продавати надлишки державі, здійснювати заряд акумуляторних батарей як від мережі, так і від сонячних панелей. Дослідження ефективності роботи проводилося за допомогою комп'ютерного моделювання, а також використовували елементи візуалізації. Визначено середньодобову генерацію електроенергії гібридної сонячної електростанції приватного будинку, розташованого в південному регіоні. Важливим критерієм для дослідження роботи гібридних сонячних станцій є незначне зниження їх продуктивності через деградацію. Це неминучий процес, який означає вироблення меншого розміру електричної енергії за тієї ж кількості сонячного світла. В результаті отриманої візуалізації видно, що в перші роки експлуатації станції її продуктивність падає на частки відсотка, далі щорічна деградація становить менше 0,4%, що свідчить про ефективність гібридної сонячної електростанції. Гібридна сонячна електростанція окупається в короткий термін, час повернення вкладених інвестицій становить 2 роки, після чого йде отримання чистого доходу від реалізації установки, що дозволяє зробити об'єкт енергонезалежним.
Ключові слова: *Альтернативні джерела енергії; Сонячний потенціал; Гібридні сонячні електростанції; Фотоелектричні модулі; Енергозабезпечення; Енергонезалежність.*

doi: https://doi.org/10.15673/ret.v61i4.3332

© The Author(s) 2025. This article is an open access publication
This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY)
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

1. Вступ

Енергетична ситуація в усьому світі характеризується обмеженими запасами природного газу і нафти при їхньому споживанні і відчутному зростанні цін. Крім того, збільшення викидів CO_2 призводить до негативних змін клімату. Для цього необхідно збільшення ефективності роботи систем енергопостачання та розширення використання відновлюваних джерел енергії.

У зв'язку з цим у останні десятиліття у світі панує тренд відмови від традиційних джерел енергії

та переходу до альтернативних [1, 2].

Характерною прикметою сучасної енергетики України є рух у напрямку розвитку екологічно чистої енергетики на основі нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії. Суттєвої економії енергії та скорочення викидів можна досягти за рахунок використання енергії сонця.

2. Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

Сонячні електростанції широко поширені, відіграють першорядну роль економіки багатьох країн. Слід зазначити, що останніми роками Україна справді зробила якісний стрибок у розвитку альтернативних видів енергетики, зокрема сонячної.

Сонячна енергетика є відносно новою галуззю в Україні. При цьому темпи її розвитку є надзвичайно високими, у порівнянні з іншими секторами вітчизняної економіки. Так, за підсумками 2021 року на сонячну енергетику в Україні припало понад 5% загального виробництва електроенергії.

Вся територія нашої держави є придатною для розташування сонячних установок. При цьому найбільш сприятливими для цього є південні регіони України [7].

За кліматичними умовами Україна належить до територій із середньою інтенсивністю сонячної радіації, рівень якої становить близько 1200 кВт·год/м^2. Кількість сонячної енергії, що надходить на одиницю площі протягом року, розподілена нерівномірно і становить від 1000 до 1350 кВт·год/м^2 [3]. Територію України, відповідно до рівня інтенсивності сонячного випромінювання, можна умовно поділити на чотири зони: Західну, Центральну, Південно-Східну та Південну (рис 1).

Рисунок 1 *– Потенціал сонячного випромінювання в Україні*

За словами німецького експерта Я. Кнаака: «Найкраща для сонячної електростанції ділянка в Німеччині – це найгірша за рівнем сонячного випромінювання ділянка в Україні».

Рівень інсоляції в Україні розподілений нерівномірно, при цьому не можна говорити про те, що він залежить від широти. Свій вплив чинять Карпатські гори – в західних областях рівень інсоляції нижче, ніж на такий же широті на сході (рис 2). Інший приклад – рівень інсоляції в Дніпрі нижче, ніж у розташованого на північ від нього Києва [4, 5]. В цілому рівень інсоляції в Україні коливається від 1150 кВт·год/м кв. в рік (західний регіон) до 1550 (Причорноморський регіон, зокрема – Ізмаїл і південна частина Одеської області).

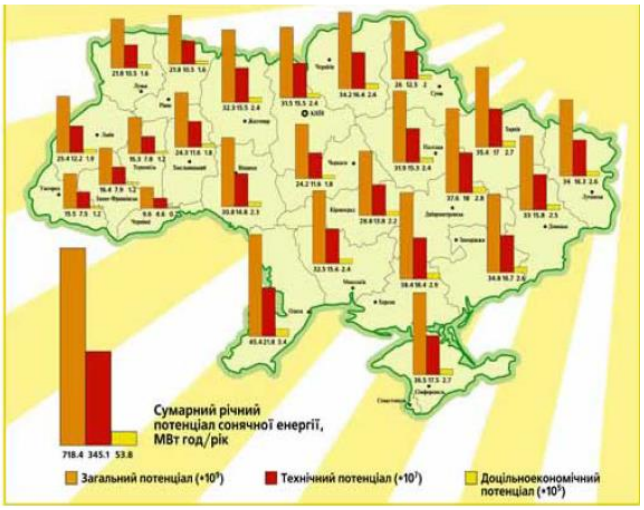

Рисунок 2 *– Використання потенціала (загальний, технічний, доцільноєкономічний) сонячної активності*

В існуючих умовах нестабільного енергопостачання особливою актуальністю є дослідження з метою проведення аналізу ефективності застосування гібридних сонячних електростанцій для енергозабезпечення приватного будинку, розташованого на півдні України в місті Одесі.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні завдання:

– проаналізувати роботу різних типів сонячних електростанцій;

– за допомогою комп'ютерного моделювання дослідити роботу гібридної сонячної електростанції, проаналізувати процес деградації.

Сонячний радіаційний режим території України загалом сприятливий для практичного використання сонячної енергії. У середньосезонні місяці року в Україні пряма сонячна радіація знаходиться у прямій залежності від температурного режиму пори року, досягаючи піку у липні [2,5,6]. Пік

надходження розсіяної сонячної радіації спостерігається у квітні. У клімато-метеорологічних умовах Одеської області розсіяна сонячна радіація робить значніший внесок у загальний надходження сонячної радіації на поверхню Землі, особливо у весняний та літній періоди (рис 3).

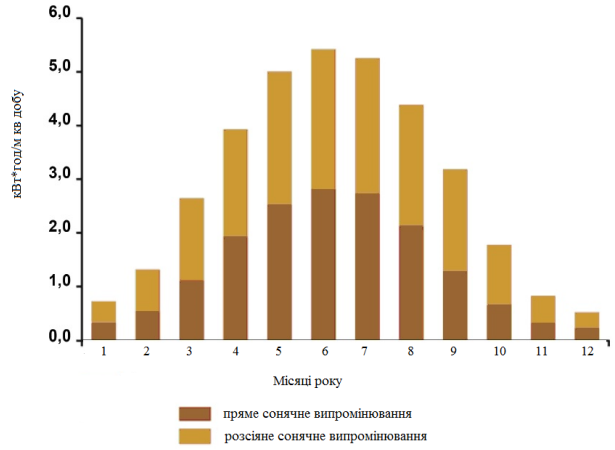

Рисунок 3 *– Середньорічні значення сонячної інсоляції*

Сума прямої і розсіяної сонячної радіації називається сумарною сонячною радіацією [5]:

$$A = S + D, \qquad (1)$$

де I – сумарна сонячна радіація; S – пряма сонячна радіація ; D – розсіяна сонячна радіація.

Інтенсивність сонячної радіації залежить від [3]:

1. Добових і річних змін. Інтенсивність сонячної радіації, що досягає земної поверхні, схильна до циклічних змін, обумовленим обертанням Землі навколо своєї осі (добові зміни – зміна дня і ночі), а також обертанням Землі навколо Сонця, що через постійний кут нахилу земної осі до площини екватора викликає її річне зміна (зміна літнього і зимового періодів);

2. Прозорості атмосфери. Інтенсивність сонячної радіації залежить від прозорості атмосфери, на що впливає місцеве забруднення (пил, промислові викиди). При цьому прозорість атмосфери у великих промислових містах на 20-30% нижче, ніж в сільській місцевості;

3. Хмарність. Інтенсивність сонячної радіації на земній поверхні схильна до сильного впливу хмарності, тобто при суцільній хмарності пряма сонячна радіація не може проникнути крізь її товщу. В результаті на земну поверхню надходить тільки розсіяна сонячна радіація. При цьому її інтенсивність становить лише 10-15% від інтенсивності сумарної сонячної радіації при безхмарному небі. При абсолютно безхмарному небі частка прямої сонячної радіації в сумарній зростає до 80-85%.

Сонячна енергетика – це галузь, що швидко розвивається, в якій постійно з'являються нові технології та інновації.

На сьогоднішній день актуальними є розробки на основі сонячної енергії для безперебійного енергозабезпечення об'єктів, особливо в умовах нестабільного енергопостачання. Лідируючу роль займають сонячні фотоелектричні станції [7-11].

Дані електростанції набули найбільшого поширення. Вони поєднують у собі безліч переваг:

- доступні для використання практично в будь-якому регіоні (з різним терміном окупності);
- розмір може змінюватись в залежності від призначення (від енергозабезпечення приватного будинку до промислового об'єкта);
- відносно низька вартість;
- простота установки (практично на будь-якій поверхні);
- великий потенціал у подальшому збільшенні потужності.

Однак, при дослідженні ефективності роботи сонячних електростанцій, необхідно брати до уваги фактори, що впливають на енергетичні показники обладнання:

- характеристика електричних параметрів сонячного елемента;
- перетворення екологічних міркувань на робочі температури сонячних елементів;
- розрахунок вихідної потужності.

Основний елемент сонячної електростанції – фотоелектрична батарея, що складається з елементів, модулів, масивів (рис 4).

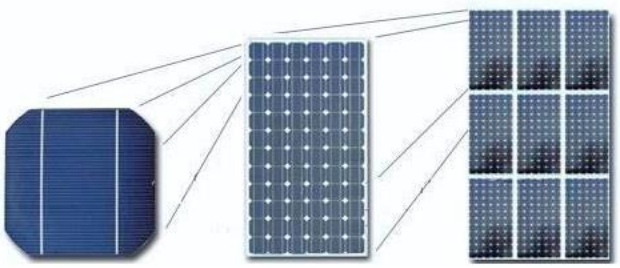

Рисунок 4 *– Блоки сонячної електрики: а) елемент; б) модуль; в) масив*

Існує кілька видів сонячних електростанцій: мережева, автономна та гібридна [8].

У мережевих сонячних електростанціях не пе-

редбачені акумуляторні батареї, вони підключаються до загальної електромережі і призначені для заміщення електроенергії з мережі електроенергією від сонця у реальному часі, а також для скидання зайвої електроенергії від сонця в мережу.

Автономна станція на сонячній батареї проектується для об'єктів повністю відрізаних від магістральних мереж. Її завдання гарантувати безперебійне живлення всіх приєднаних приладів виключно за рахунок накопиченої енергії. Такі станції на сонячних батареях гостро потребують ємних акумуляторів, здатних підтримувати роботу в похмурі дні та вночі. Ці станції найдоцільніше застосовувати там, де немає центральної електричної мережі.

Особливу цікавість викликають гібридні сонячні станції. Вони поєднують у собі мережну та автономну станції, можуть як накопичувати енергію в акумуляторних батареях, так і продавати надлишки державі, здійснювати заряд акумуляторних батарей як від мережі, так і від сонячних панелей (рис. 5).

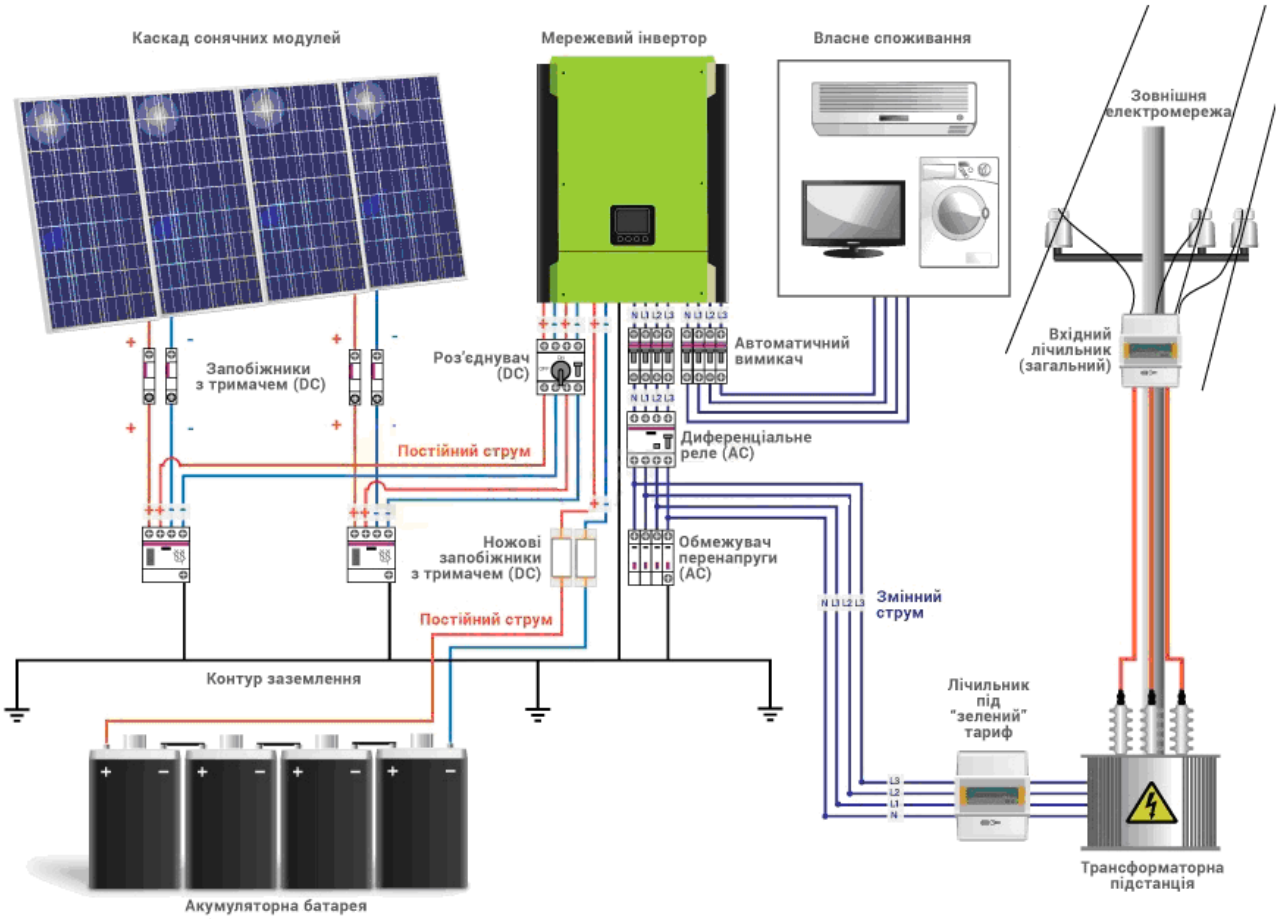

Рисунок 5 *– Схема гібридної сонячної станції*

3. Результати досліджень

Виконаємо дослідження роботи гібридної сонячної станції для приватного будинку загальною необхідною розрахунковою потужністю 27 кВт за допомогою спеціалізованих комп'ютерних програм для розрахунку сонячних установок. З метою підвищення ефективності даної системи встановимо сонячні батареї на плоскій покрівлі будівлі та виконаємо розрахунок, використовуючи візуалізацію та моделювання [12, 13].

Комп'ютерний аналіз показав, що найбільша результативність досягається при встановленні сонячних батарей під кутом 15° до горизонту при встановленні 62 фотомодулів за системою схід-захід (рис 6).

Внаслідок географічного розташування об'єкти півдня України мають великий енергетичний сонячний потенціал з вироблення електроенергії. Дослідження середньодобової генерації сонячної гібридної станції для 1 кВт представлені на рис 7.

Характерним елементом таких систем є гібридний інвентор, який може працювати за відсутності мережі, як автономні станції. Гібридні інвертори в залежності від моделі дозволяють автоматично запускати бензо/дизель генератори, якщо акумуля-

тори розряджені і немає можливості взяти енергію від мережі за аварійної ситуації на лінії, при цьому, при необхідності, налаштовуються на пріоритетне джерело живлення.

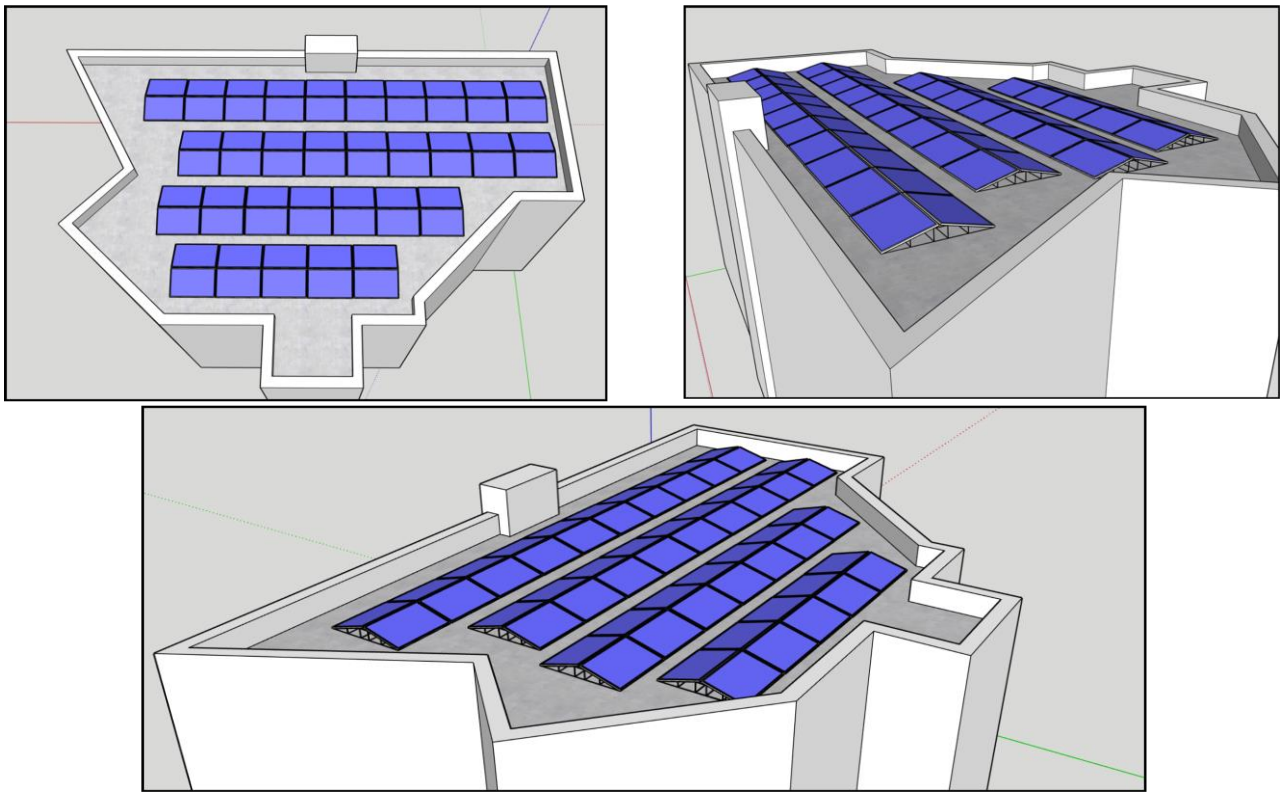

Рисунок 6 *– Комп'ютерне моделювання розташування сонячних панелей на покрівлі будинку*

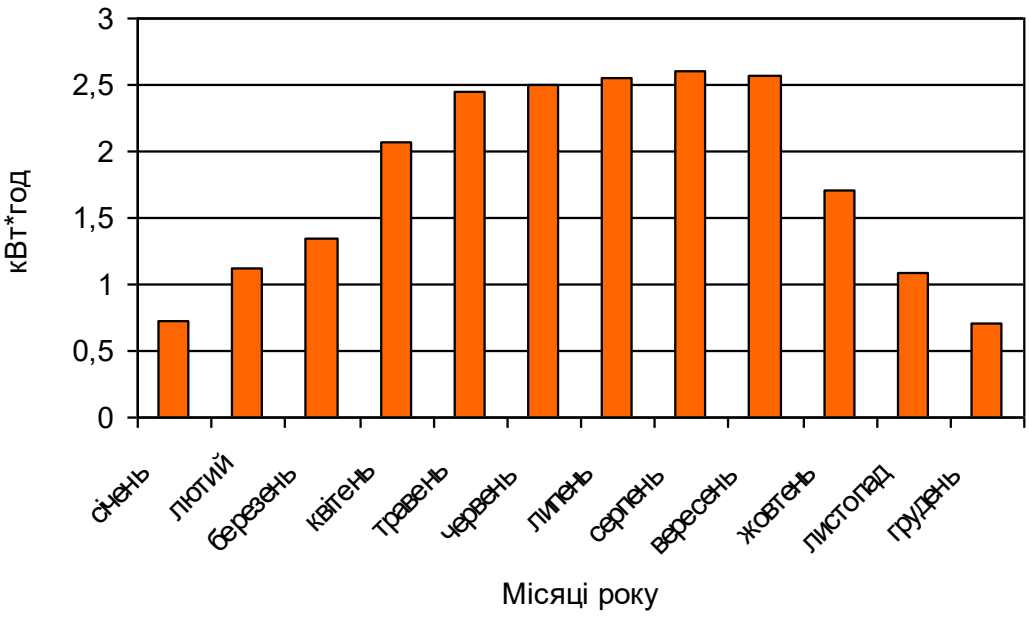

Рисунок 7 *– Середньодобове вироблення електричної енергії протягом року гібридної сонячної електростанції 1 кВт*

Заряд АКБ від сонячних батарей в гібридній сонячній станції здійснюється за допомогою контролера заряду, він може бути вбудованим в гібридний інвертор, так і окремим блоком.

Система з окремими контролерами заряду не може здійснювати живлення будинку, минаючи акумуляторні батареї безпосередньо від сонячних панелей. У цьому випадку спочатку заряджаються

акумуляторні батареї, від яких постійний струм надходить на гібридний інвертор, а далі відбувається перетворення постійного струму в змінний, який необхідний для живлення електроприладів.

Для захисту від короткого замикання та перенапруг система комплектується захисною автоматикою, яка розташовується в розподільних щитках. Туди входять запобіжники та обмежувачі перенапруги, роз'єднувачі, ставиться додатковий захист на акумуляторний блок від короткого замикання, перевантаження та зворотних струмів.

Система кріплення сонячних панелей забезпечує надійну фіксацію панелей.

Варіація роботи гібридної сонячної електростанції налаштовується залежно від поставленого завдання. Як правило, алгоритм наступний:

1. Якщо день і міська мережа присутня, АКБ заряджені, масиву сонячних панелей достатньо щоб навантажувати, вся енергія береться від панелей.

2. Якщо сонячної енергії не вистачає, інвертор переходить на живлення навантажень від мережі. Або живлення навантажень походить від панелей та мережі одночасно. Якщо ніч, все живлення походить тільки від міської мережі.

3. Якщо вимикається мережа і при цьому день, навантаження живиться від сонячних панелей. Якщо сонячної енергії мало, інвертор переходить на живлення навантажень від акумуляторних батарей. Або живлення навантажень походить від сонячних панелей та АКБ одночасно.

4. Якщо вимикається мережа і при цьому ніч, все навантаження живиться від акумуляторних батарей до появи мережі або настання світлого часу доби для появи генерації.

Варіанти роботи гібридної сонячної електростанції представлені на рис. 8-9.

Рисунок 8 *– Робота гібридної сонячної електростанції спільно з електромережею*

Рисунок 9 *– Автономна робота гібридної сонячної електростанції*

В результаті порівняння різних варіантів обладнання, за допомогою САПР технологій, були визначені енергоефективні марки обладнання сонячної електростанції: гібридний трифазний інвертор Deye SUN-50K-SG01HP3-EU WiFi та акумуляторна батарея, яка буде виконана на базі 10-ми акумуляторів Deye BOS, кожна, а також розроблено їхнє місце встановлення на покрівлі з урахуванням зовнішніх огорож та падіння сонячних променів (рис 10).

Важливим критерієм для дослідження роботи гібридних сонячних станцій є незначне зниження їх продуктивності через деградацію. Це неминучий процес, який означає вироблення меншого обсягу електричної енергії за тієї ж кількості сонячного світла. Проаналізуємо причини, що викликає зниження продуктивності, основні результати аналізу наведено у таблиці 1.

а) б) в)

Рисунок 10 *– Основне обладнання та його розміщення: а) гібридний трифазний інвертор; б) акумуляторна батарея; в) схема розташування обладнання під сонячну станцію*

Таблиця 1 *– Фактори деградації*

Фактори деградації	Опис
Кліматичні умови	Спекотний клімат, сильні вітри та високі навантаження від тяжкості снігу негативно позначаються на цілісності та ефективності модулів
Механічні ушкодження	Навіть незначні механічні пошкодження можуть призвести до утворення мікротріщин, порушити антивідбивне покриття, що викликає перегрів модулів під впливом ультрафіолету
Забруднення	Бруд та пил перешкоджають отриманню фотоелементами сонячного світла, що призводить до втрати ефективності їх роботи
Потенційно-індукована деградація	Різниця напруги між сонячними елементами і рамою може призвести до витоків струму, що погіршує роботу панелей

У середньому швидкість деградації становить 1% на рік. З плином років темпи зниження стабілізуються, що призводить до поступового, але послідовного зниження ефективності. Враховуючи основні фактори деградації на об'єкті, що досліджується, визначимо даний показник і здійснимо візуалізацію падіння ефективності роботи гібридної сонячної електростанції з часом експлуатації даної установки (рис. 11).

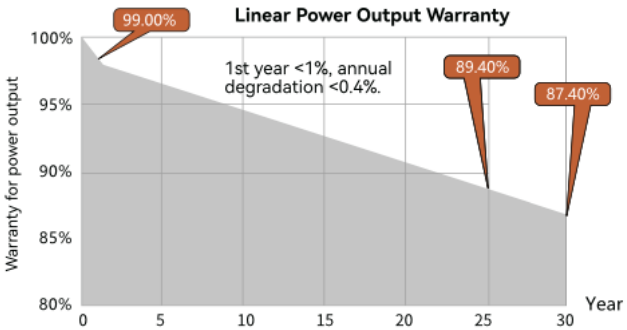

Рисунок 11 *– Вплив швидкості деградації на продуктивність гібридної сонячної електростанції*

В результаті отриманої візуалізації нагляд видно, що в перші роки експлуатації станції її продуктивність падає на частки відсотка, далі щорічна деградація становить менше 0,4%, що говорить про ефективність роботи гібридної сонячної електростанції.

Виконаємо аналіз окупності досліджуваної станції, дослідження представимо у вигляді графічної залежності (рис 12).

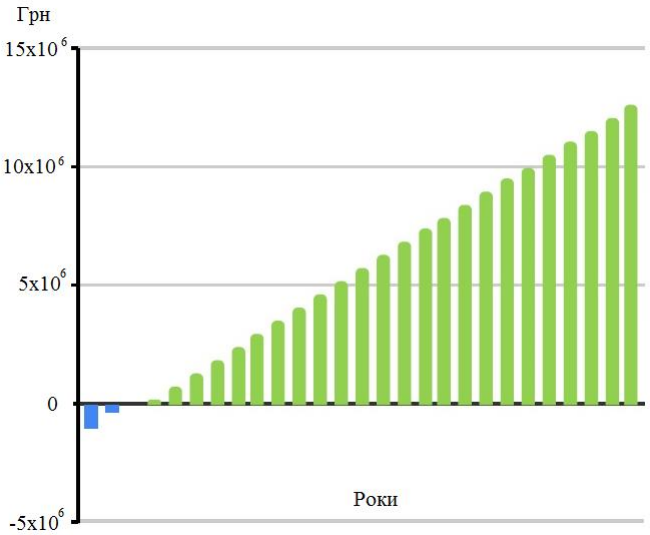

Рисунок 12 *– Окупність гібридної сонячної електростанції*

З отриманого графіка видно, що гібридна сонячна електростанції окупається у швидкий термін, час повертання вкладених інвестицій становить 2 роки, після цього йде отримання чистого доходу від реалізації установки, що дозволяє зробити об'єкт, що розглядається, енергонезалежним.

Проаналізуємо екологічність роботи сонячної системи (табл.2).

***Таблиця 2** – Екологічність роботи гібридної сонячної електростанції*

№	Показник		Значення
1	Збереження	дерев	3597 шт/рік
2		палива	38057 л/рік
3	Щорічне зниження викидів	CO_2	27т/рік
4		NO_x, SO_x	264 кг/рік
5	Електромобіль може проїхати		544 км/рік

Електроенергія, що виробляється сонячними фотомодуля, абсолютно не шкодить навколишньому середовищу і ніяким чином йому не шкодить. Викиди при виробництві і транспортуванні сонячних модулів мізерно малі в порівнянні з тим, якої шкоди екології планети завдає видобуток традиційного викопного палива.

4. Висновки

За своїм географічним розташуванням південні області дуже привабливі у розвиток сонячної енергетики, особливо Одеський регіон. В умовах нестабільного енергопостачання застосовуються різні типи сонячних електростанцій:

- автономна – повна незалежність від мереж, обов'язкова наявність великого банку АКБ;
- мережна – працює тільки за наявності зовнішньої мережі, не має акумуляторів для автономії;
- гібридна – двоспрямована взаємодія з мережею, пріоритетне використання сонячної енергії.

Виконаний аналіз із застосуванням комп'ютерної візуалізації показав, що найбільшої ефективності досягається при роботі гібриною сонячної електростанції за рахунок її технічних показників та обладнання, що застосовується: робота за відсутності електроенергії в мережі, гнучке налаштування пріоритетів джерел живлення, можливість живлення від мережі при недостатній сонячній енергії.

На роботу установки впливають фактори деградації, такі як кліматичні умови, механічні пошкодження, забруднення, потенційно індукована деградація. У ході дослідження отримано графічну залежність падіння продуктивності від часу експлуатації. Показник деградації гібридної сонячної електростації становить щорічно менше 0,4%, що значно менше за стандартні показники в 1%.

Особистий внесок авторів CRediT

Лужанська Г.В.: розробка методики, постановка наукової проблеми. **Климчук І.В.:** постановка завдань; **Шилов Д.О.:** аналіз отриманих результатів. **Ігнатенко Д.С.:** аналіз літературних джерел; **Тарасюк О.С.:** збір статистичних даних.

Література

1. Відновлювані джерела енергії / За заг. ред. **С.О. Кудрі**. – Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2020. – 392 с

2. **Лужанська Г.В., Сергеєв М.І., Чумаченко А.М.., Климчук І.О., Михайленко М.С.** Потенціал сонячної енергетики в Україні // Proceedings of the XXIII International Scientific and Practical Conference "World ways and methods of improving outdated theories and trends" (June 11 – 14, 2024) Zagreb, Croatia. International Science Group. – 2024. – P. 368-370.

3. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України / за заг. ред. **С.О. Кудрі**. – Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2020. – 82 с

4. **Желих В. М., Омельчук О. В., Шаповал С. П., Венгрин І. І.** Енергетичний потенціал сонячної радіації на території України // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Теорія і практика будівництва. – 2015. – № 823. – С. 117-121.

5. **Возняк О.Т., Янів М.Є.** Енергетичний потенціал сонячної енергетики та перспективи його використання в Україні // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». –2010. – № 664. – С. 7-10.

6. **Климчук О.А., Лужанська Г.В., Жайворон О.С., Грищенко С.І., Каверін А.Ю.** Аналіз ефективності

застосування різних типів сонячних систем для сезонних споруд санаторного та рекреаційного типу // Холодильна техніка і технології. – 2024. – Т 60(4). – С. 309-316.
7. **Денисюк В. Ю., Оленіч В. С.** Автономні гібридні системи енергопостачання з використанням відновлювальних джерел енергії // Перспективні технології та прилади. – 2015. – №7.– С. 29-33.
8. **Зайцев Р. В., Хрипунов Г. С., Кіріченко М. В., Меріуц А. В.** Комбіновані фотоенергетичні системи. – Харків: ФОП Бровін О. В., 2020. – 323 с.
9. **Дорошенко О. В., Глауберман М. А., Лепіх Я. І., Балабан А. П.** Сонячні системи на основі термічних і фотоелектричних перетворювачів сонячної енергії // Сенсорна електроніка і мікросистемні технології. – 2020. – № 3. – С. 40–50.
10. **Лежнюк П. Д., Кравчук С. В., Котилко І. В.** Фотоелектричні станції як елемент енергоефективного електропостачання // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2019. – № 2. – С. 100-106.
11. **Андронова О. В., Курак В. В.** Оптимізація розміщення приймачів сонячної енергії рядами для кліматичних умов півдня України // Відновлювана енергетика. – 2020. – № 2. – С. 45–53.
12. **Пундєв В. О., Шевчук В. І., Хілько В. А., Мухуб Б.** Особливості проектування фотоелектричних станцій, що розміщуються на дахах та стінах будівель // Відновлювана енергетика. – 2017. – № 3. – С. 41-47.
13. **Лужанська Г.В., Шевчук В.І., Шилов Д.О., Кандєєва В.В., Фуркаленко О.Л.** Ефект енергоаудиту від застосування САПР-технологій в інноваційних системах сонячного енергозабезпечення // // Холодильна техніка і технології. – 2025. – Т 61(3). – С. 259-266.

Отримана в редакції 28.10.2025, прийнята до друку 28.11.2025

Research of innovative solar installations in southern Ukraine using computer modeling

Ganna Luzhanska[1]✉, Ivan Klymchuk [2], Denis Shylov[3], Dmytro Ihnatenko[4], Oleksandr Tarasiuk[5]
[1-5]National University "Odesa Polytechnic", 1 Shevchenko Ave., Odesa, 65044, Ukraine
✉ e-mail: [1]luzhanska@op.edu.ua
ORCID: [1]http://orcid.org/0000-0002-3784-5926; [2]https://orcid.org/0009-0004-5682-6677; [3]https://orcid.org/0009-0006-0067-009X; [4]https://orcid.org/0009-0005-9587-9285; [5]https://orcid.org/0009-0004-6552-6932

Solar power installations play a primary role in the economy of many countries. The entire territory of Ukraine is suitable for the location of solar installations. At the same time, the southern regions are the most favorable for this. Today, developments based on solar energy for uninterrupted power supply of facilities are relevant, especially in conditions of unstable power supply. Solar photovoltaic installations play a leading role. In conditions of unstable power supply, different types of solar power installations are used: autonomous - complete independence from networks, the presence of a large battery bank is mandatory, network - works only in the presence of an external network, does not have batteries for autonomy, hybrid - bidirectional interaction with the network, priority use of solar energy. Hybrid solar installations are of particular interest. They combine a network and autonomous station, can both accumulate energy in batteries and sell surpluses to the state, charge batteries both from the network and from solar panels. The study of the efficiency of the work was carried out using computer modeling, and visualization elements were also used. The average daily electricity generation of a hybrid solar power installation of a private house located in the southern region was determined. An important criterion for studying the operation of hybrid solar installations is a slight decrease in their productivity due to degradation. This is an inevitable process that means the production of a smaller amount of electrical energy with the same amount of sunlight. As a result of the visualization obtained, it is seen that in the first years of operation of the installation its productivity drops by fractions of a percent, then the annual degradation is less than 0.4%, which indicates the efficiency of the hybrid solar power installation. The hybrid solar power installation pays off in a short time, the return on investment is 2 years, after which net income is received from the sale of the installation, which allows the facility to become energy independent.

Keywords: *Alternative energy sources; Solar potential; Hybrid solar power installations; Photovoltaic modules; Energy supply; Energy independence*

References

1. (2020) Renewable energy sources / ed. **S.O. Kudria**. *Kyiv: Institute of Renewable Energy of the National University of Ukraine, 392.*

2. **Luzhanska, G.V., Sergeev, M.I., Chumachenko, A.M., Klymchuk, I.O., Mykhailenko, M.S.** (2024) Potential of solar energy in Ukraine. *Proceedings of the XXIII International Scientific and Practical Conference "World ways and methods of improving outdated theories and trends" (June 11-14, 2024) Zagreb, Croatia. International Science Group, 368-370.*

3. (2020) Atlas of the energy potential of renewable energy sources of Ukraine / edited by **S.O. Kudria**. *Kyiv: Institute of Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine, 82.*

4. **Zhelykh, V. M., Omelchuk, O. V., Shapoval, S. P., Vengrin, I. I.** (2015) Energy potential of solar radiation on the territory of Ukraine. *Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic". Theory and practice of construction, 823, 117-121.*

5. **Voznyak, O.T., Yaniv, M.E.** (2010) Energy potential of solar energy and prospects for its use in Ukraine. *Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic", 664, 7-10.*

6. **Klymchuk, O., Luzhanska, G., Zhayvoron, O., Hryshchenko, S., Kaverin, A.** (2024) Analysis of the effectiveness of using different types of solar systems for seasonal sanatorium and recreational buildings. *Refrigeration engineering and technology, 60(4), 309-316.*

7. **Denisyuk, V. Yu., Olenich, V. S.** (2015) Autonomous hybrid power supply systems using renewable energy sources. *Promising technologies and devices, 7, 29-33.*

8. **Zaitsev, R. V., Khrypunov, G. S., Kirichenko, M. V., Meriuts, A. V.** (2020) Combined photovoltaic systems. *Kharkiv: FOP Brovin O. V., 323*.

9. **Doroshenko, O. V., Glauberman, M. A., Lepikh, Ya. I., Balaban, A. P.** (2020) Solar systems based on thermal and photovoltaic solar energy converters. *Sensor electronics and microsystem technologies, 3, 40-50.*

10. **Lezhnyuk, P. D., Kravchuk, S. V., Kotylko, I. V.** (2019) Photovoltaic stations as an element of energy-efficient power supply. *Optical-electronic information and energy technologies, 2, 100-106.*

11. **Andronova, O. V., Kurak, V. V.** (2020) Optimization of placement of solar energy receivers in rows for climatic conditions of southern Ukraine. *Renewable energy, 2, 45-53.*

12. **Pundiev, V. O., Shevchuk, V. I., Khilko, V. A., Mukhub, B.** (2017) Peculiarities of designing photovoltaic stations placed on the roofs and walls of buildings. *Renewable Energy, 3, 41-47.*

13. **Luzhanska, G. V., Shevchuk, V. I., Shilov, D. O., Kandeeva, V. V., Furkalenko, O. L.** (2025) The effect of energy audit from the use of CAD technologies in innovative solar energy supply systems. *Refrigeration Engineering and Technologies, 61(3), 259-266.*

Received 28 October 2025
Approved 28 November 2025
Available in Internet 30 December 2025