

## ЕНЕРГЕТИКА ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 658.264

## Ефект енергоаудиту від застосування САПР-технологій в інноваційних системах сонячного енергозабезпечення

Г. В. Лужанська<sup>1</sup>✉, В. І. Шевчук<sup>2</sup>, Д. О. Шилов<sup>3</sup>, В. В. Кандєєва<sup>4</sup>, О. Л. Фуркаленко<sup>5</sup><sup>1-5</sup>Національний університет «Одеська політехніка», просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна✉ e-mail: <sup>1</sup>luzhanska@op.edu.uaORCID: <sup>1</sup><http://orcid.org/0000-0002-3784-5926>; <sup>2</sup><https://orcid.org/0009-0005-6537-1704>; <sup>3</sup><https://orcid.org/0009-0006-0067-009X>; <sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0002-8707-0700>; <sup>5</sup><https://orcid.org/0009-0000-2171-4502>

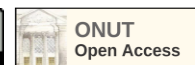
З розвитком науково-технічного прогресу та постійним удосконаленням інноваційних технологій кількість і застосування енергозберігаючих технологій зростає. Одним із основних напрямів заходів з енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності є проведення енергетичного аудиту енергетичних об'єктів, який включає розробку інноваційних технологій на базі альтернативних джерел енергії. Останнім часом виникають труднощі із безперебійним забезпеченням об'єктів електричною енергією. Для житлово-комунального сектору споживачами електроенергії є, головним чином, побутові прилади, необхідні для комфортного проживання та життєзабезпечення. Сонячні електростанції надають можливість стати незалежними від центральної енергомережі. Використання сонячної енергії гарантує автономність навіть за умов відключення електроенергії. Одеська область має винятковий потенціал для розвитку сонячної енергетики завдяки своєму географічному розташуванню. Розробка сонячних установок є складним і багатогранним процесом. САПР-технології постійно розвиваються у цьому напрямі. Програмне забезпечення для моделювання сонячної енергії відіграє життєво важливу роль у дослідженні та моделюванні фотоелектричних сонячних систем. Для розрахунку сонячних панелей і дослідження енергоефективності роботи систем SolarEdge застосовувалася САПР-технологія SolarEdge Designer. Ця розробка дозволяє досліджувати потенціал і продуктивність СЕС, розміри компонентів системи, таких як масиви сонячних панелей, інвертори, контролери заряду та акумуляторні батареї. Моделюючи різні сценарії та досліджуючи надходження сонячної енергії на земну поверхню, можна оптимізувати виробництво енергії системою та забезпечити її ефективність. У ході виконаного дослідження з використанням комп'ютерного моделювання, САПР-технологій і реалізації в програмі математичних моделей SolarEdge Designer були виявлені негативні фактори, що призводять до втрат генерації електроенергії всередині системи. Це дозволило не лише отримати точні результати, а й провести мінімізацію втрат. Завдяки проведеним дослідженням ці втрати зведено до мінімуму, що дало змогу досягти найефективнішого результату роботи СЕС.

**Ключові слова:** Енергоаудит; САПР-технології; Енергозабезпечення; Альтернативні джерела енергії; Сонячна енергетика; Фотоелектричні сонячні панелі; Сонячні електростанції

doi: <https://doi.org/10.15673/ret.v61i3.3273>

© 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

Обмеженість і складність видобутку природних копалин, а саме паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР)

у всьому світі позначила необхідність формування нових підходів до їх раціонального використання.

Доцільність раціонального використання ПЕР зумовлена такими факторами:

- підвищення якості життя людей;
- зменшення рівня забруднення навколишнього середовища та виснаження природних ресурсів;
- економія фінансових ресурсів шляхом упровадження ефективних інноваційних технологій;
- підвищення ефективності використання трудових ресурсів і формування інноваційних напрямів у наукових дослідженнях.

У зв'язку з цим необхідність раціонального використання енергетичних ресурсів, які застосовуються людством повсюдно, призвела до появи енергозбереження та енергозберігаючих технологій. З розвитком науково-технічного прогресу й постійним розвитком інноваційних технологій кількість і застосування енергозберігаючих технологій збільшується.

В Україні розвиток і розробка інноваційних технологій є одним із основних напрямів Енергетичної стратегії, у якій одним із ключових регламентується застосування альтернативних джерел енергії за відповідного їх обґрунтування [1]. Економія навіть на 1% паливно-енергетичних ресурсів забезпечує їх максимальне збереження в масштабі промислового та комунального господарства. Розвиток альтернативної енергетики в Україні відіграє важливу роль у підвищенні енергетичної незалежності.

## 2. Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

Одним із основних напрямів заходів з енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності є проведення енергетичного аудиту [2, 3] енергетичних об'єктів, який включає розробку інноваційних технологій на основі альтернативних джерел енергії.

Для підвищення ефективності роботи енергетичних систем, обладнання та економії енергоресурсів під час проведення енергетичного аудиту необхідні такі заходи:

- модернізація й заміна морально застарілого та фізично зношеного енергоспоживального й технологічного обладнання на більш економічне та менш енергоємне;
- розробка й упровадження інноваційних енергозберігаючих технологій і енерготехнологічних комплексів безвідходних технологій, що не забруднюють навколишнє середовище;
- упровадження автоматичних засобів та автоматизованих систем управління й контролю;

- оптимізація режимів технологічного обладнання, вибір найбільш економічних енергоносіїв;
- розробка заходів щодо максимального зменшення втрат під час передавання різних енергоресурсів;
- створення дієвої системи щоденного суворого обліку та контролю витрачання палива, теплоти й електроенергії.

Під час енергетичного аудиту також оцінюється енергетичний потенціал за впровадження обладнання на основі альтернативної енергії в конкретній місцевості. Необхідно враховувати інфраструктурні передумови, місцеві та конструктивні фактори, зокрема [4-6]:

- рівень забезпечення енергоресурсами;
- структуру системи енергопостачання та енерговикористання конкретного об'єкту;
- вимоги до якісних показників електричної та теплової енергії;
- тип та параметри енергонавантаження;
- вимоги до погодинного графіка енергопостачання;
- економічні та екологічні факторию.

Сонячна енергетика – одне із найперспективніших і найдинамічніших відновлюваних джерел енергії (ВДЕ).

Географія України забезпечує великий потенціал для розвитку ринку сонячної енергетики. Можливість використання сонячного випромінювання зростає з північного заходу (1070 кВт/м<sup>2</sup>) на південний схід (1440 кВт/м<sup>2</sup>) із найбільшим потенціалом у південних областях.

За даними [4, 5] для обласних центрів України було розраховано середньорічні значення сумарної сонячної радіації та побудовано карту розподілу для території України (рис.1).

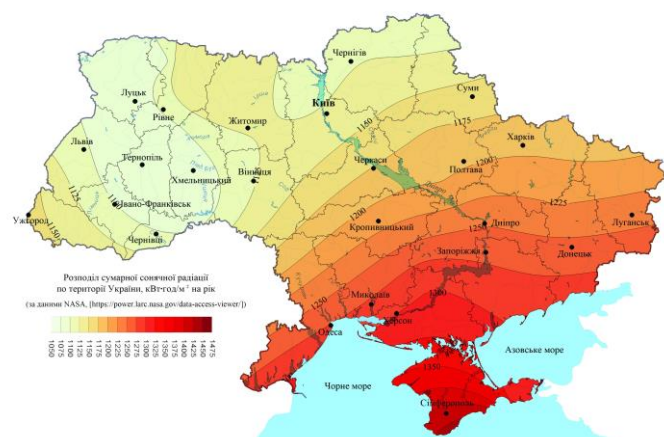


Рисунок 1 – Розподіл сонячної радіації на Україні

Сонячна енергетика дедалі більше впроваджується в різні галузі економіки та використовується різними споживачами, включаючи житловий сектор. У низці країн, наприклад у США, на частку енергозабезпечення житлових будівель припадає вже понад 20% усіх встановлених у країні сонячних панелей. Під час виробництва електроенергії за допомогою сонячних електростанцій в атмосферу не викидаються парникові гази. Оскільки Сонце виробляє більше енергії, ніж нам будь-коли знадобиться, електроенергія, отримана від сонячної енергії, є дуже важливим джерелом під час переходу на екологічно чисте виробництво.

Останнім часом виникають складнощі у безпечній та надійній забезпеченні об'єктів електричною енергією. Для житлово-комунального сектора споживачами електричної енергії є в основному побутові прилади, необхідні для комфортного проживання та життєзабезпечення. Сонячні електростанції дають можливість стати незалежними від центральної енергомережі. Використання сонячної енергії гарантує автономність, навіть в умовах вимкнення електроенергії.

Період найефективнішого використання сонячних батарей у південних областях України становить 7 місяців (квітень–жовтень), у північних – 6 місяців (квітень–вересень) [7, 8]. Фотоелектричне обладнання може працювати протягом усього року.

Тому саме для південних регіонів із метою постійного енергопостачання, згідно [4], рис.2, доцільно використовувати сучасні сонячні електростанції.

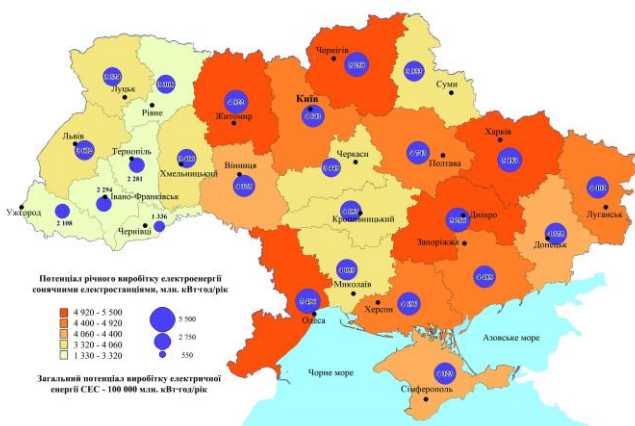


Рисунок 2 – Потенціал СЕС

Наразі для заміни традиційного електроживлення від централізованих джерел по лініях електропередач розвивається застосування сонячних батарей.

Сонячні батареї не потребують палива й здатні

працювати на внутрішніх ресурсах, у них відсутні проміжні фази перетворення отриманої енергії, вони практично не бояться механічного зношування, не створюють шкідливих викидів у довкілля й абсолютно безпечні. Обслуговування полягає у видаленні пилу та снігу з їхньої поверхні.

Монтаж фотоелектричних модулів здійснюється на спеціальних конструкціях, які забезпечують їх оптимальну орієнтацію на Сонце та надійне кріплення до різних типів поверхонь на місці встановлення: наземні фундаменти, дахи, а також вертикальні поверхні. Такі конструкції орієнтують на південь із незначними відхиленнями за азимутом (рис.3), а також встановлюють із фіксованим або змінним кутом нахилу [9-11].

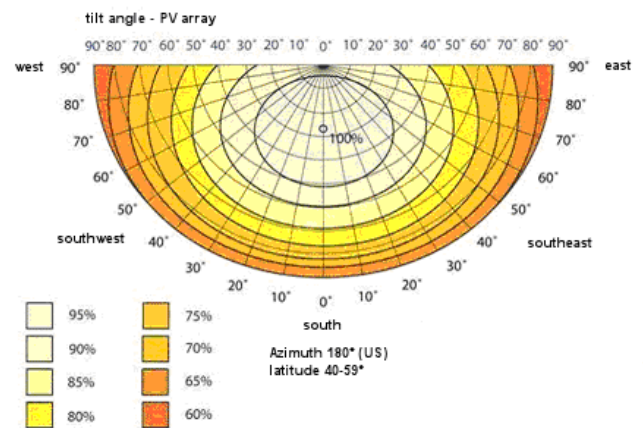


Рисунок 3 – Відхилення по сонячному азимуту

На похилих дахах, орієнтованих на південь за азимутом і з кутом нахилу, близьким до оптимального, монтаж сонячних панелей здійснюється на алюмінієвих профілях, закріплених на опорних елементах у/на покрівлі.

Одеська область має винятковий потенціал для розвитку сонячної енергетики завдяки своєму географічному розташуванню [12]. Регіон отримує в середньому 2200–2300 сонячних годин на рік, що створює ідеальні умови для генерації екологічно чистої енергії.

Основною метою дослідження є аналіз ефективності застосування сонячних панелей для приватного будинку рекреаційного типу, розташованого у прибережному районі Одеської області.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі завдання:

- проаналізувати ефективність застосування сучасного програмного забезпечення САПР-технологій під час розробки СЕС;
- за допомогою комп'ютерного моделювання

визначити енергоефективність роботи сонячних батарей в умовах постійного енергопостачання.

$$\delta = -23,44 \cos \left[ \frac{360}{365} (N + 10) \right], \quad (2)$$

### 3. Матеріали та методи досліджень

Розглянемо застосування сонячних панелей та ефективність їхньої роботи на прикладі приватного будинку, розташованого в Одеській області у рекреаційній прибережній зоні. Дослідження СЕС виконаємо за допомогою САПР-технологій.

Розробка сонячних установок є складним і багатогранним процесом. САПР-технології постійно розвиваються в цьому напрямку [13, 14]. Програмне забезпечення для моделювання сонячної енергії відіграє життєво важливу роль у дослідженні та моделюванні фотоелектричних сонячних систем.

Такі розробки дозволяють аналізувати результати як у вигляді графіків, так і у вигляді таблиць, відображаючи найрізноманітніші показники, наприклад, залежність від кута нахилу та азимуту встановлення панелей, добовий погодинний графік генерації електроенергії, річний обсяг виробництва електроенергії.

Інструменти для моделювання сонячних електростанцій — це система математичних рівнянь, які дозволяють розрахувати вхідну та вихідну потужність для встановлених фотоелектричних компонентів.

Більшість сонячних панелей здатні перетворювати енергію не лише прямого сонячного випромінювання, що падає на панель, а й відбитою його частини. Іншими словами, сонячні панелі можуть працювати від прямого та дифузного випромінювання.

Коефіцієнт альbedo характеризує здатність поверхні відбивати сонячне світло. Це число виражається у безрозмірній величині та може набувати значень від 0 до 1. Альbedo потрібно враховувати, якщо сонячні панелі мають нахил відносно землі більший за 0°. Для кута нахилу, рівного 0°, коефіцієнт альbedo близький до нуля. За формулою (1) можна визначити величину альbedo:

$$A = \frac{1 - \cos \alpha}{2}, \quad (1)$$

де  $\alpha$  – кут нахилу площини відносно горизонталі.

Висота Сонця над горизонтом залежить від схилення Сонця у даний момент часу та від географічної широти місця спостереження. Схилення Сонця можна визначити за формулою:

де  $N$  – кількість днів, відрахованих від 1 січня.

Висота Сонця над горизонтом у Північній півкулі визначається за виразом:

$$h = 90 - Lat + \delta, \quad (3)$$

де  $Lat$  – географічна широта.

Довжина області затінення визначається за виразом

$$G = \frac{L}{\cos \alpha} = KL, \quad (4)$$

де  $L$  – довжина сонячної батареї;  $K = 1/\cos(\alpha)$ ;  $G$  – довжина області затінення.

Отже, загальний потік енергії, який приносить сонячна радіація на довільно орієнтовану у просторі нахилу поверхню на широті  $L$ , дорівнює:

$$S = S_{np} + S_{розс} \quad (5)$$

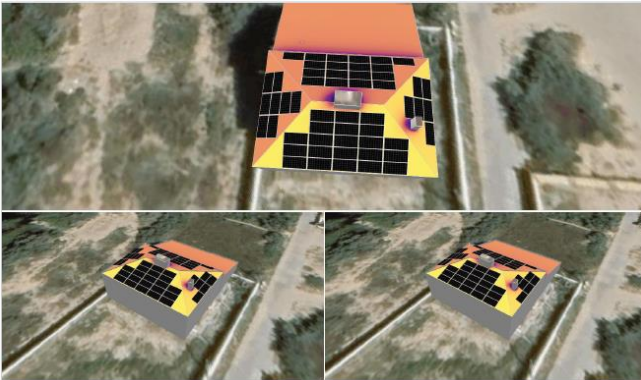
Для розрахунку сонячних панелей та дослідження енергоефективності роботи систем SolarEdge було використано САПР-технологію SolarEdge Designer. Ця розробка дає можливість вивчати потенціал і продуктивність СЕС, визначати розміри компонентів системи, таких як масиви сонячних панелей, інвертори, контролери заряду й акумуляторні батареї. Програмне забезпечення допомагає підібрати оптимальну конфігурацію фотоелектричної системи з урахуванням таких чинників, як втрати від затінення та вплив різних орієнтацій і кутів нахилу. Моделюючи різні сценарії та досліджуючи надходження сонячної енергії на поверхню землі, можна оптимізувати виробіток енергії системою та забезпечити її ефективність.

### 4. Результати досліджень

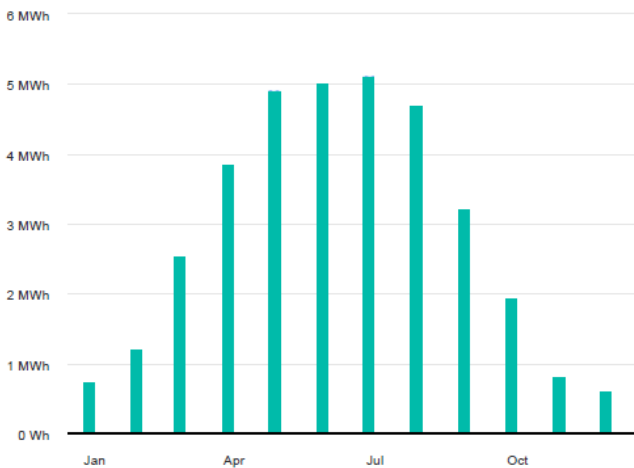
Змоделюємо місце розташування сонячних панелей на похилій покрівлі будівлі (рис.4).

Змоделюємо сонячну потужність протягом року для досліджуваного об'єкта (рис.5). При цьому враховуються різні фактори, що впливають на роботу системи:

- географічне розташування;
- погодні умови;
- час доби.



**Рисунок 4** – Моделювання установки сонячних панелей на кровлі житлового будинку



**Рисунок 5** – Сонячна потужність на досліджуваному об'єкті

#### PV MODULES

# Module	Model	Peak power	Racking type	Orientation	Azimuth	Tilt
18	JA Solar, 595 (user-defined)	10.7 kWp			35°	17°
21	JA Solar, 595 (user-defined)	12.5 kWp			215°	17°
6	JA Solar, 595 (user-defined)	3.6 kWp			125°	20°
8	JA Solar, 595 (user-defined)	4.8 kWp			305°	20°

**Рисунок 7** – Залежність продуктивності сонячних батарей від азимуту

Затінення сонячних батарей суттєво знижує їхню працездатність, проведено аналіз впливу втрат затінення на сонячні фотоелектричні системи. Виявлено потенційні проблеми із затіненням,

Максимальна ефективність, як і було зазначено вище, досягається саме в літні місяці.

В результаті виконаного комп'ютерного моделювання, проведено підбір сонячних панелей, визначено ключові показники ефективності роботи (рис.6).

Month	Production (kWh)		Clipped Energy (kWh)	
	To Home (kWh)	To Grid (kWh)	To Home (kWh)	To Grid (kWh)
Jan	739	-	739	-
Feb	1,220	-	1,220	-
Mar	2,537	-	2,537	-
Apr	3,857	-	3,857	1
May	4,902	-	4,902	12
Jun	5,007	-	5,007	15
Jul	5,110	-	5,110	9
Aug	4,696	-	4,696	3
Sep	3,228	-	3,228	-
Oct	1,933	-	1,933	-
Nov	821	-	821	-
Dec	625	-	625	-

**Рисунок 6** – Ключові показники роботи СЕС

Крім того, на ефективність роботи електричних модулів впливає азимут. Дослідження показали, що зі збільшенням азимуту продуктивність сонячних батарей збільшується (рис.7).

Дослідження роботи СЕС за допомогою моделювання сонячної енергії дозволяє оптимізувати роботу фотоелектричних систем, оцінювати системні втрати та проводити аналіз витрат та продуктивності сонячних батарей.

проведено оптимізацію компанування системи з метою отримання максимальної віддачі енергії. Результати дослідження приватного будинку представлені у вигляді діаграми (рис.8).

## SYSTEM LOSS DIAGRAM



Рисунок 8 – Оптимізація роботи сонячних батарей

Виконуючи аналіз на рис 8 наочно видно, що загальні втрати незначно впливають на продуктивність СЕС, і сонячні панелі повністю покривають потреби в електрозабезпеченні.

Виявлені в ході проведеного дослідження енергоефективні параметри досліджуваної СЕС представлені в табл.1.

## 5.Висновки

Під час проведення енергоаудиту системи енергозабезпечення було показано, що найбільш перспективним і економічно доцільним є використання сонячної енергетики з установкою сонячної електростанції для приватного будинку в рекреаційній прибережній зоні Одеської області.

Таблиця 1 –Ефективність роботи СЕС

№	Параметр	Значення
1	Встановлена потужність постійного струму	31,54 кВт/пік
2	Максимальна досягнута потужність змінного струму	25,00 кВт
3	Річне виробництво сонячної енергії	34,67 МВт/год
4	Річне скорочення викидів CO <sub>2</sub>	13,59 т
5	Максимальна досягнута потужність постійного струму	28,27 кВт
6	Перевищення номінальних характеристик постійного/змінного струму	113 %
7	Максимальна активна потужність змінного струму	25,00 кВт
8	Коефіцієнт корисної дії (ККД)	87 %
9	Річне питоме виробництво	1100 кВт/год/кВт/пік

Ця технологія дає змогу зробити об'єкт енергетично незалежним із постійним енергопостачанням.

У ході виконаного дослідження з використанням комп'ютерного моделювання, САПР-технологій і реалізації математичних моделей у програмі SolarEdge Designer були виявлені негативні фактори, що призводять до втрат генерації електроенергії як на рівні панелей, так і всередині системи. Це дало можливість не лише отримати точні результати, а й провести мінімізацію втрат. Завдяки проведеним дослідженням ці втрати

зведені до мінімуму, що дозволило досягти найвищої ефективності роботи СЕС.

## Особистий внесок авторів CRediТ

**Лужанська Г.В.:** запропоновано конфігурацію ГСЕ. **Шевчук В.І.:** розроблено методику щодо визначення оптимальних параметрів та режимів навантаження; **Шилов Д.О.:** моделювання роботи СЕС. **Кандєєва В.В.:** аналіз літературних джерел; **Фуркаленко О.Л.:** аналіз результатів досліджень.

## Література

1. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2050 року. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 21.04.2023 № 373-р.
2. **В.А. Маляренко, І.А. Немировський.** Енергозбереження та енергетичний аудит: навчальний посіб. – 2-е вид., перероб. і доп. – Харків: НТУ «ХПШ», 2010. – 344 с.
3. **О. А. Пахолок, Т. Ф. Шимків.** Визначення проблем та особливостей використання відновлюваних джерел енергії, виявлених в результаті проведення енергетичного аудиту будівель у регіонах України // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. – 2016. – Вип. 5. – С. 358-365
4. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України / за заг. ред. **С.О. Кудрі.** – Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2020. – 82 с.
5. POWER Data Access Viewer. Prediction Of Worldwide Energy Resource. URL: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (дата звернення 26.08.25).
6. Відновлювані джерела енергії / за заг. ред. **С.О. Кудрі.** – Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. – 392 с.
7. **В. М. Желих, О. В. Омельчук, С. П. Шаповал, І. І. Венгрин.** Енергетичний потенціал сонячної радіації на території України // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Теорія і практика будівництва. – 2015. – №823. – С. 117-121.
8. **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.
9. **Е. Акпінар, Г. Г. Катирциоглу, М. Дас** Effects of solar tracking on different types of solar panels; experimental study for thermal and photovoltaic types // International Journal of Hydrogen Energy. – 2025. – Vol. 144. – P. 611-620.
10. **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.
11. **К. Moradi, М. А. Ebadian, С.-Х. Lin.** A review of PV/T technologies: Effects of control parameters // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2013. – Vol. 64. – P. 483-500
12. **Климчук, О., Лужанська, Г., Жайворон, О., Грищенко, С., Каверін, А.** Аналіз ефективності застосування різних типів сонячних систем для сезонних споруд санаторного та рекреаційного типу // Холодильна техніка та технологія. – 2024. – Т. 60(4). – С. 309-316.
13. **О. В. Андропова, В. В. Крак, Н. Л. Дон.** Модельовання роботи фотоелектричних панелей з використанням середовища MATLAB/ SIMULINK // Вісник Херсонського національного технічного університету. – 2021. – № 3. – С. 11-19.
14. **Slabinoga М. О., Klochko, N. V., Vynnychuk, А. G., Sapa, S. P.** Розроблення програмного забезпечення для дослідження зміни потужності сонячних панелей від кута падіння променів // Методи та прилади контролю якості. – 2018. – № 2(41). – С. 113–119.

Отримана в редакції 26.08.2025, прийнята до друку 29.08.2025

## Effect of energy audit from the application of CAD technologies in innovative solar energy supply systems

**Ganna Luzhanska<sup>1✉</sup>, Volodymyr Shevchuk<sup>2</sup>, Denis Shylov<sup>3</sup>, Vira Kandieieva<sup>4</sup>, Oleksandr Furkalenko<sup>5</sup>**

<sup>1-5</sup>National University "Odesa Polytechnic", 1 Shevchenko Ave., Odesa, 65044, Ukraine

✉ e-mail: <sup>1</sup>luzhanska@op.edu.ua

ORCID: <sup>1</sup><http://orcid.org/0000-0002-3784-5926>; <sup>2</sup><https://orcid.org/0009-0005-6537-1704>; <sup>3</sup><https://orcid.org/0009-0006-0067-009X>; <sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0002-8707-0700>; <sup>5</sup><https://orcid.org/0009-0000-2171-4502>

*With the development of scientific and technological progress and the constant improvement of innovative technologies, the number and application of energy-saving technologies is increasing. One of the main areas of energy saving and energy efficiency improvement measures is the energy audit of energy facilities, which includes the development of innovative technologies based on alternative energy sources. Recently, difficulties have arisen with the uninterrupted supply of facilities with electricity. For the housing and communal services sector, electricity consumers are mainly household appliances necessary for comfortable living and life support. Solar power plants provide an opportunity to become independent from*

the central power grid. The use of solar energy guarantees autonomy even in the event of a power outage. Odesa region has exceptional potential for the development of solar energy due to its geographical location. The development of solar installations is a complex and multifaceted process. CAD technologies are constantly developing in this direction. Solar energy modeling software plays a vital role in the research and modeling of photovoltaic solar systems. SolarEdge Designer CAD technology was used to calculate solar panels and study the energy efficiency of SolarEdge systems. This development allows you to study the potential and performance of solar power plants, the dimensions of system components, such as solar panel arrays, inverters, charge controllers and batteries. By modeling various scenarios and studying the arrival of solar energy to the earth's surface, you can optimize the energy production of the system and ensure its efficiency. During the study conducted using computer modeling, CAD technologies and the implementation of mathematical models in the SolarEdge Designer program, negative factors were identified that lead to losses in electricity generation within the system. This allowed not only to obtain accurate results, but also to minimize losses. Thanks to the research conducted, these losses were minimized, which made it possible to achieve the most effective result of solar power plants.

**Keywords:** Energy audit; CAD technologies; Energy supply; Alternative energy sources; Solar energy; Photovoltaic solar panels; Solar power plants.

## References

1. On approval of the Energy Strategy of Ukraine for the period until 2050. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 04/21/2023 No. 373-p.
2. **Malyarenko, V.A., Nemirovsky, I.A.** (2010) Energy conservation and energy audit: a textbook. 2nd ed., revised and supplemented. *Kharkiv: NTU "KhPI"*, 344.
3. **Pakholiuk, O. A., Shymkiv, T. F.** (2016) Identification of problems and features of the use of renewable energy sources identified as a result of an energy audit of buildings in the regions of Ukraine. *Modern technologies and calculation methods in construction*, 5, 358-365.
4. (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.
5. POWER Data Access Viewer. Prediction Of Worldwide Energy Resource. Retrieved 26 August 2025 from <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>.
6. (2020) Renewable energy sources / ed. **S.O. Kudria**. *Kyiv: Institute of Renewable Energy of the National University of Ukraine*, 392.
7. **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.
8. **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.
9. **Akpinar, E., Katircioglu, G. G., Das, M.** (2025) Effects of solar tracking on different types of solar panels; experimental study for thermal and photovoltaic types. *International Journal of Hydrogen Energy*, 144, 611-620.
10. **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.
11. **Moradi, K., Ebadian, M. A., Lin, C.-X.** (2013) A review of PV/T technologies: Effects of control parameters. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 64, 483-500.
12. **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.
13. **Andronova, O. V., Krak, V. V., Don N. L.** (2021) Modeling the operation of photovoltaic panels using the MATLAB/ SIMULINK environment. *Bulletin of the Kherson National Technical University*, 3, 11-19.
14. **Slabinoga, M. O., Klochko, N. V., Vynnychuk, A. G., Sapa, S. P.** (2018) Development of software for studying the change in the power of solar panels depending on the angle of incidence of rays. *Methods and quality control devices*, 2(41), 113-119.

Received 26 August 2025

Approved 29 August 2025

Available in Internet 30 September 2025