

ВПЛИВ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛІННЯ ТА ДЕГРАДАЦІЇ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ НА ВИРОБІТОК СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ У ЗАПОРІЗЬКІЙ ОБЛАСТІ

Отримано 13 жов. 2023 р.; рекомендовано до публікації 20 груд. 2023 р.
Доступно онлайн 30 груд. 2023 р.

О. С. Дьяченко¹, Т. С. Кудря²

Автор для кореспонденції: Тетяна Кудря,
e-mail: renewable@ukr.net

¹ Доктор філософії
<https://orcid.org/0009-0003-4651-5253>

² Науковий співробітник
<https://orcid.org/0000-0003-4252-2969>

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

У роботі представлено результати аналітичних досліджень щодо аналізу впливу глобального потепління та деградації сонячних модулів на виробництво електроенергії з сонячних електростанцій в Україні на довгострокову перспективу. Для досягнення цієї мети ми використовуємо фактичні дані, отримані від сонячної електростанції, розташованої в Запорізькій області, протягом семи років. Глобальне потепління стало актуальною та нагальною проблемою на світовій арені. Збільшення концентрації парникових газів, таких як вуглекислий газ, має значний вплив на зміни клімату. Важливо зауважити, що продуктивність сонячних батарей прямо залежить від метеорологічних умов у конкретному регіоні, зокрема інсоляції, температури та вологості в атмосфері [1]. Це порушує питання про те, як саме зміна клімату впливає на виробництво сонячної енергії. У цій статті ми представимо аналіз реального впливу кліматичних змін на прикладі Запорізької області та порівняємо швидкість цих змін з деградацією сонячних панелей. Одним з найчутливіших аспектів сучасних змін клімату є підвищення температури та вологості, що, ймовірно, призведе до зниження продуктивності всіх типів фотовольтаїчних технологій [2]. З іншого боку, ми також спостерігаємо збільшення інсоляції (Вт/м^2), яке супроводжується підвищенням температури й негативно впливає на ефективність роботи фотовольтаїчних сонячних панелей. Для проведення розрахунків ми використовували фактичні дані з виробництва енергії, інсоляції та температури сонячної електростанції в Запорізькій області за період з 2015 по 2022 рік. Дані про деградацію сонячних модулів були взяті з паспортних даних від виробника. Зроблено висновок, що глобальне потепління та деградація сонячних модулів протягом короткострокового періоду (10 років) призводять до складних та багатограних змін у роботі сонячних електростанцій, включаючи як позитивні, так і негативні аспекти. Мають перспективу подальші дослідження щодо математичного моделювання процесів деградації сонячних модулів у довгостроковому періоді використання з урахуванням факторів, притаманних глобальному потеплінню.

Ключові слова: «зелена» енергетика, сонячна інсоляція, зміна клімату, деградація фотовольтаїчних панелей, сонячна інсоляція

THE INFLUENCE OF GLOBAL WARMING AND SOLAR PANEL DEGRADATION ON THE PRODUCTION OF SOLAR POWER STATIONS IN ZAPORIZHIA REGION

Received Nov. 13, 2023; accepted Dec. 20, 2023
Available online Dec. 30, 2023

О. Diachenko¹, T. Kudria²

Author for correspondence: Tetiana Kudria,
e-mail: renewable@ukr.net

¹ PhD.
<https://orcid.org/0009-0003-4651-5253>

² Researcher.
<https://orcid.org/0000-0003-4252-2969>

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

The work presents the results of analytical research on the analysis of the impact of global warming and solar module degradation on the production of electricity from solar power stations in Ukraine in the long-term perspective. To achieve this goal, we use actual data obtained from a solar power station located in Zaporizhzhia Region over seven years. Global warming has become a relevant

and pressing issue on the world stage. The increase in greenhouse gas concentrations, such as carbon dioxide, has a significant impact on climate change. It is important to note that the performance of solar panels is directly dependent on meteorological conditions in a specific region, including insolation, temperature, and atmospheric humidity [1]. This raises questions about how exactly climate change affects solar energy production. In this article, we will present an analysis of the real impact of climate change using the example of Zaporizhzhia Region and compare the rate of these changes with solar panel degradation. One of the most sensitive aspects of contemporary climate change is the increase in temperature and humidity, which is likely to lead to a decrease in the productivity of all types of photovoltaic technologies [2]. On the other hand, we also observe an increase in insolation (W/m^2), accompanied by rising temperatures, which negatively impacts the efficiency of photovoltaic solar panels. To conduct calculations, we used actual data on energy production, insolation, and temperature from a solar power station in Zaporizhzhia Region for the period from 2015 to 2022. Data on solar module degradation were based on manufacturer specifications. It is concluded that global warming and solar module degradation over a short-term period (10 years) lead to complex and multifaceted changes in the operation of solar power stations, including both positive and negative aspects. Further research is needed on the mathematical modeling of solar module degradation processes over the long-term period of use, taking into account factors inherent in global warming.

Keywords: green energy, solar insolation, climate change, photovoltaic panel degradation, solar insolation

Перелік використаних позначень та скорочень

ЕС – сонячна електростанція

PV – фотоелектричні модулі

poly-Si – полікристалічний кремній

mono-Si – монокристалічний кремній

mono-PERT – пасивований задній емітер з повною дифузією

HJT – гетероперехід

LCOE – оптимальна продуктивність сонячних станцій з мінімальною собівартістю енергії

ROI – максимальний вихід інвестицій

Вступ. Сонячна енергія як екологічно чисте джерело енергії відіграє важливу роль у зменшенні глобального викиду вуглецю та пом'якшенні негативних наслідків зміни клімату. Протягом останнього десятиліття попит на сонячну енергію стрімко зростає. Фотоелектричні (PV) модулі, безумовно, є найважливішим компонентом сонячної енергетичної системи. На сьогодні на ринку доступні різні технології PV-модулів, включаючи полікристалічний кремній (poly-Si), монокристалічний кремній (mono-Si), тонкоплівкові та mono-PERC модулі. Проте тривають постійні дослідження та розробки з метою підвищення ефективності різних технологій, якот моно-PERT (пасивований задній емітер з повною дифузією), гетероперехід (HJT), квантові точки та інші. Для забезпечення оптимальної продуктивності сонячних станцій з мінімальною собівартістю енергії (LCOE) та максимальним виходом інвестицій (ROI) має вирішальне значення справність фотоелектричного модуля та його регулярні перевірки через визначені інтервали часу. З іншого боку, виробництво фотоелектричної енергії залежить від сонячної радіації, яка своєю чергою піддається модуляції аерозолями та хмарами.

Також важливою є температура повітря: холодніші умови зазвичай поліпшують продуктивність фотоелектричних елементів, тоді як вищі температури її знижують. Крім того, швидкість приземного вітру також впливає на процес – струмінь повітря зазвичай

охолоджує фотоелектричний модуль. Усі ці параметри (хмари, аерозолі, температура та вітер) змінюються, що призводить до зміни клімату. Щодо глобального потепління, то можна з упевненістю стверджувати, що воно негативно вплине на продуктивність фотоелектричних елементів. Це пояснюється тим, що високі температури погіршують роботу фотовольтаїчних засобів, зменшуючи їх ефективність, а отже, виробництво електроенергії. Цей ефект особливо помітний щодо кремнієвих сонячних панелей, які є найпоширенішою технологією.

Останніми роками питанням підвищення ефективності сонячних колекторів присвячена велика кількість досліджень. Перспективи застосування сонячних колекторів в Україні та у світі досліджені в роботах [3, 4]. Аналіз ефективності використання сонячного колектора наведено в роботі [5]. Також проведено оцінку впливу погодних умов на ефективність роботи геліосистеми [6, 7]. Автором [8] зроблено порівняльний аналіз сонячних колекторів різної конструкції.

Мета й ціль цієї роботи полягає в аналізі впливу глобального потепління та деградації сонячних модулів на продуктивність сонячних електростанцій в Україні на основі фактичних даних (середньоквартальні значення інсоляції, генерації та деградації), отриманих від сонячної станції, розташованої в Запорізькій області.

Виклад основного матеріалу

Глобальне потепління є тривалим змінюванням кліматичних параметрів на Землі, що суттєво впливає на продуктивність сонячних електростанцій. Цей процес пов'язаний з численними змінами в кліматі, зокрема підвищенням середніх температур, зміною вологості в атмосфері та збільшенням інсоляції. Усі ці фактори можуть впливати на роботу СЕС і вимагають більш докладного аналізу. Одним із ключових аспектів, які впливають на продуктивність СЕС, є підвищення температури. Підвищення температури сонячних панелей веде до зниження ефективності фотовольтаїчних елементів, що призводить до зменшення виробництва енергії. Цей ефект особливо помітний в регіонах з високими температурами, де тепловий стрес може суттєво знизити продуктивність панелей.

Ще одним фактором, пов'язаним з глобальним потеплінням, є зміна інсоляції. Збільшення інсоляції (кількості сонячної радіації, що досягає поверхні Землі) також може впливати на продуктивність СЕС. На перший погляд, збільшення інсоляції може здатися позитивним фактором, але при цьому підвищується температура сонячних панелей, що може компенсувати переваги більш високої інсоляції.

У таблиці наведено фактичні дані щодо інсоляції, генерації та деградації сонячних модулів. Як видно, інсоляція з роками зростає, що, безперечно, пов'язано з глобальним потеплінням. Однак варто зауважити, що продуктивність сонячної станції також зростає, незважаючи на збільшення робочої температури сонячних модулів. Цей ефект можна пояснити вищою якістю сонячної інсоляції та особливим мікрокліматом регіону.

Сонячні електростанції є важливою складовою енергетичної інфраструктури та відіграють ключову роль у виробництві чистої та сталої електроенергії. Проте в них, як технологічних системах, з часом відбувається деградація сонячних модулів, що може суттєво вплинути на їх продуктивність.

Деградація сонячних модулів – це процес поступової втрати продуктивності фотовольтаїчних елементів, який відбувається під впливом різних факторів. Один з найважливіших факторів деградації – це тривалий вплив довкілля, зокрема кліматичних умов. Глобальне потепління, пов'язане зі зміною клімату, може мати безпосередній вплив на тривалу ефективність сонячних модулів.

Один із ключових аспектів, пов'язаних із глобальним потеплінням, полягає в підвищенні середньої температури повітря та навколишнього середовища. Збільшення температури може спричиняти термічний стрес у сонячних модулях, що своєю чергою може призвести до погіршення їх продуктивності. Зазвичай цей ефект проявляється у вигляді зменшення виходу енергії з сонячних панелей зі зростанням температури. Крім того, глобальне потепління може впливати на загальний мікроклімат та атмосферні умови, що також може позначитися на роботі сонячних модулів. Зміни в вологості повітря, концентрації аерозолів та інші аспекти метеорологічних умов можуть впливати на інсоляцію, а також

на рівень забруднення поверхні сонячних панелей, що також може зробити свій внесок у деградацію. Дослідники розраховували, що з кожним градусом підвищення глобальної температури сонячні модулі можуть втратити приблизно 0,45 % потужності [9].

На основі наведених у таблиці даних було побудовано консолідовану діаграму залежності середніх щоквартальних значень інсоляції, генерації та деградації панелей з відповідними лініями тренду (рисунки).

Таблиця. Середні щоквартальні значення інсоляції, генерації та деградації панелей сонячної станції з 2015 по 2022 рік.

Table. Quarterly Average Values of Insolation, Generation, and Solar Panel Degradation from 2015 to 2022

Рік	Квартал	<W>, Вт/м²	<P>, Вт*г/м²	η, %
2015	1	87,13	9,23	95,94
	2	178,61	26,55	95,78
	3	169,79	24,89	95,61
	4	66,30	9,97	95,44
2016	1	80,15	11,70	95,28
	2	172,79	25,17	95,11
	3	189,38	28,19	94,94
	4	86,84	12,95	94,78
2017	1	78,31	11,49	94,61
	2	163,32	23,97	94,44
	3	200,21	29,51	94,28
	4	89,37	12,95	94,11
2018	1	73,77	10,87	93,94
	2	172,63	25,08	93,78
	3	183,78	26,73	93,61
	4	67,14	9,96	93,44
2019	1	79,26	11,41	93,28
	2	178,48	26,25	93,11
	3	194,99	28,50	92,94
	4	59,10	8,61	92,78
2020	1	64,54	9,47	92,61
	2	201,18	29,04	92,44
	3	180,79	26,16	92,28
	4	78,26	11,50	92,11
2021	1	85,41	12,44	91,94
	2	188,46	27,20	91,78
	3	190,53	27,75	91,61
	4	80,77	11,59	91,44
2022	1	97,28	14,12	91,28
	2	189,95	27,75	91,11
	3	194,65	28,46	90,94
	4	72,88	10,58	90,78

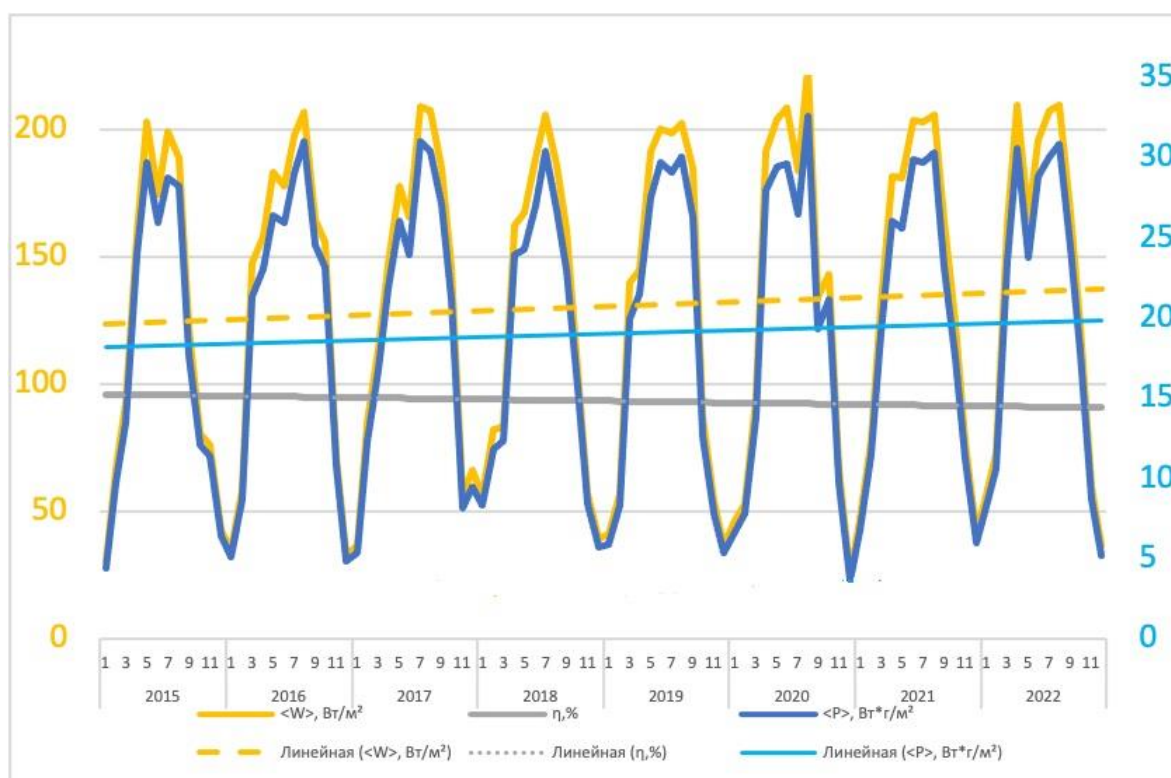


Рисунок. Графіки залежності середніх щоквартальних значень інсоляції, генерації та деградації панелей з відповідними лініями тренду

Figure. Graphs depicting the dependence of quarterly average values of insolation, generation, and panel degradation with respective trend lines

Висновки

Глобальне потепління та деградація сонячних модулів призводять до складних та багатограних змін у роботі сонячних електростанцій як з позитивними, так і негативними аспектами. А енергетичні системи, що базуються на нульовому викиді вуглецю, можуть допомогти зберегти зростання глобальної температури нижче 1,5 градусів за Цельсієм і, отже, уникнути кліматичної катастрофи.

Аналіз отриманих даних показує, що протягом коротко-строгового періоду (10 років) вплив глобального потепління мав позитивний наслідок: збільшилася сонячна інсоляція, що сприяло підвищенню продуктивності сонячної станції. Спостерігається повне усунення процесів, пов'язаних з деградацією сонячних модулів протягом розглянутого періоду. Цей ефект є характерним для конкретних кліматичних умов.

Мають перспективу подальші дослідження щодо математичного моделювання процесів деградації сонячних модулів на довгостроковому періоді використання з урахуванням факторів, притаманних глобальному потеплінню.

ПОСИЛАННЯ

1. European Commission. Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee, the Committee of the Regions, and the European Investment Bank A Clean Planet for all A European strategic long-term. 2018.
2. International Energy Agency, IEA. Global Energy Review 2021. Glob Energy Rev 2020 2021:1–36.
3. Матях С., Суржик Т., Рєзцов В., Іванчук В. Напрями та перспективи розвитку сонячної теплоенергетики. Відновлювана енергетика, 2021. № 3 (66). С. 33–44. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2021.3\(66\).33-44](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2021.3(66).33-44)
4. Гламаздін П., Кіреєв Е. Перспективи використання досвіду Ізраїлю в сонячному гарячому водопостачанні в Україні. Енергоефективність в будівництві та архітектурі. 2019. № 13. С. 69–78. <https://doi.org/10.32347/2310-0516.2019.13.69-78>
5. Бунько В. Я., Христенко Г. М. Дослідження ефективності роботи геліоколектора. Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2021. № 2. С. 55–60. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.2-2/09>
6. Чорна В. О., Мельник О. Є., Омельченко О. В., Некрасов А. В., Федь М. Г. Дослідження впливу погодних умов на ефективність роботи фотоелектричної установки. Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки, 2018. № 29 (68). С. 119–124.
7. Зур'ян О. В. Ефективність роботи пристрою для нагрівання води в системі гарячого водопостачання

будівлі з використанням енергії сонячного випромінювання в зимовий період. Альтернативні джерела енергії. 2010 № 3-4. С. 22–26.

8. Єсіпов О. В. Порівняльний аналіз сонячних колекторів. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції ННІ механотроніки і систем менеджменту. Збірка тез. 2020. С. 70–72.
<https://www.pv-magazine.com/2019/08/16/global-warming-will-hit-solar-panel-performance/>

REFERENCES

1. European Commission. Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee, the Committee of the Regions, and the European Investment Bank A Clean Planet for all A European strategic long-ter. 2018.
2. International Energy Agency, IEA. Global Energy Review 2021. Glob Energy Rev 2020 2021:1–36.
<https://www.pv-magazine.com/2019/08/16/global-warming-will-hit-solar-panel-performance/>
3. Matyakh, S., Surzhyk, T., Rieztsov, V., & Ivanchuk, V. Directions and prospects for the development of solar thermal energy. Vidnovliuvana Energetyka, 2021. № 3 (66). Pp. 33–44. [https://doi.org/10.36296/1819-805-8.2021.3\(66\).33-44](https://doi.org/10.36296/1819-805-8.2021.3(66).33-44)
4. Glamazdin P, Kireev E. Prospects of using Israel's experience in solar hot water supply in Ukraine. Energy efficiency in construction and architecture. 2019. No. 13. Pp. 69–78. <https://doi.org/10.32347/2310-051-6.2019.13.69-78>
5. Bunko V. Ya., Khristenko H. M. Study of solar collector efficiency. Academic notes of TNU named after V. I. Vernadskyi. Series: Technical sciences. 2021. No. 2. Pp. 55–60. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.2-2/09>
6. Chorna V. O., Melnyk O. Ye., Omelchenko O. V., Nekrasov A. V., Fed M. G. Study of the influence of weather conditions on the efficiency of photovoltaic installation. Academic notes of TNU named after V. I. Vernadskyi. Series: Technical Sciences. 2018. No. 29 (68). Pp. 119–124.
7. Zuryan O. V. Efficiency of the device for heating water in the hot water supply system of the building using the energy of solar radiation in the winter period // Alternative energy sources. 2010. №. 3-4. Pp. 22–26.
8. Yesipov O. V. Comparative analysis of solar collectors. Materials of the All-Ukrainian Scientific and Practical Conference of the National Institute of Mechatronics and Management Systems. Collection of theses. 2020. P. 70–72.
<https://www.pv-magazine.com/2019/08/16/global-warming-will-hit-solar-panel-performance/>