

## ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

УДК 681.3

DOI: 10.31471/2415-3184-2023-1(27)-99-107

*І. Є. Смик, Л. М. Архипова**Івано-Франківський національний технічний  
університет нафти і газу*

### АНАЛІЗ ВПЛИВУ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ УМОВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ В ІВАНО-ФРАНКІВСЬКІЙ ОБЛАСТІ

Робота присвячена аналізу впливу метеорологічних умов на ефективність роботи сонячних панелей на території Івано-Франківської області. Розглядається питання використання сонячних панелей як одного з ключових джерел альтернативної енергії та важливості оцінки їх ефективності залежно від метеорологічних умов.

Досліджується взаємозв'язок між різними метеорологічними параметрами, такими як середньомісячна температура повітря, середньомісячна кількість опадів і середньомісячна швидкість вітру, та виробництвом сонячної електроенергії. Розраховані коефіцієнти кореляції між зазначеними параметрами та виробництвом сонячної енергії. У результаті отримано значення кореляції, на підставі яких зроблено висновки щодо впливу різних факторів на ефективність роботи сонячних панелей.

Акцентується увага на тому, що при плануванні розташування малих сонячних електростанцій важливо враховувати середню температуру повітря, оскільки існує сильна позитивна кореляція між нею та виробництвом сонячної електроенергії. Зазначається, що оптимальна температура для ефективної роботи сонячних панелей становить  $+21^{\circ}\text{C}$ .

У статті також наводяться рекомендації щодо врахування середньої швидкості вітру та середньої кількості опадів при плануванні розташування сонячних електростанцій, зокрема для туристичної галузі в Івано-Франківській області.

Отримані результати можуть бути корисні для розробки нових технологій та стратегій використання сонячної енергії в різних кліматичних умовах.

**Ключові слова:** сонячні панелі, ефективність, метеорологічні умови, альтернативна енергія, дослідження, статистичний аналіз, технології, безперебійна робота, удосконалення систем.

**Постановка проблеми.** Сонячна енергія - це енергія, отримана від Сонця у вигляді тепла та світла, яка відіграє важливу роль у керуванні кліматом і погодою на Землі, а також у підтримці життя на планеті. Технологія, що перетворює сонячну енергію в електроенергію, називається сонячною енергетикою. Цей процес може відбуватись безпосередньо з використанням фотовольтаїки або опосередковано через використання систем концентрованої сонячної енергії, де лінзи та дзеркала збирають сонячне світло з великої площі і зосереджують його в тонкий промінь, а механізм відстежує положення Сонця. Прогнозується, що до 2050 року сонячна енергетика стане основним джерелом електроенергії. Фотовольтаїка та концентрована сонячна енергія займуть відповідно 16% та 11% світового виробництва електроенергії [1, с.87].

Однак, ефективність роботи сонячних панелей залежить від метеорологічних умов, таких як опади, хмарність, температура, тощо. Це означає, що вплив метеорологічних умов на ефективність сонячних панелей має велике значення для забезпечення енергетичної безпеки та сталого розвитку.

Дослідження аналізу впливу метеорологічних умов на ефективність сонячних панелей в Івано-Франківській області є особливо актуальним, оскільки область має багату природну історію та значний потенціал для використання сонячної енергії.

Отже, проведення дослідження з аналізу впливу метеорологічних умов на ефективність сонячних панелей в Івано-Франківській області може стати важливим кроком у розвитку використання альтернативних джерел енергії в регіоні.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Серед науковців, які присвятили свої роботи цій темі, можна відзначити С. О. Кудрю, А. Р. Щокіна, Л. В. Яценка, І. М. Войтовича та

П. О. Кудрю. Зокрема, увага дослідників зосереджена на використанні сонячної енергії як одного з ключових джерел альтернативної енергії. З огляду на те, що ефективність роботи сонячних панелей залежить від метеорологічних умов, дослідження впливу цих параметрів на ефективність сонячних панелей є важливим напрямком наукових досліджень.

**Постановка завдання.** Виходячи з вище означеного аналізу проблеми та вже накопиченого науково-практичного досвіду перед нами постали наступні завдання:

- проаналізувати вплив метеорологічних умов на роботу сонячних панелей в Івано-Франківській області;

- визначити оптимальні параметри роботи сонячних панелей в залежності від метеорологічних умов;

- розробити рекомендації щодо оптимальної організації роботи сонячних панелей в залежності від метеорологічних умов з метою підвищення енергетичної ефективності та зменшення витрат на енергію.

**Виклад основного матеріалу.** Один із секторів, який значною мірою сприяє підвищенню попиту на електроенергію, є туризм. Готелі, ресторани, транспортні компанії та інші представники туристичної галузі використовують великі обсяги енергії для задоволення потреб своїх клієнтів. Це спричинює негативний вплив на довкілля, оскільки більшість електроенергії на сьогоднішній день виробляється за допомогою використання невідновлюваних природних ресурсів.

Зокрема, нами розраховано, що за даними енергетиків, в середньому на одну людину припадає приблизно 11,47 кВт електроенергії споживання за добу. Відповідно до статистичних даних, туристи відвідали Івано-Франківську область та використали приблизно наступні обсяги електроенергії (при середньому перебуванні в області протягом трьох днів): у 2017 році – 24 млн.кВт-год (2,1 млн туристів); у 2018 році – 25,23 млн.кВт-год (2,2 млн туристів); у 2019 році – 22,9 млн.кВт-год (2 млн туристів); у 2020 році – 20,64 млн.кВт-год (1,8 млн туристів); у 2021 році – 22,9 млн.кВт-год (2 млн туристів).

Сьогодні більша частина електроенергії генерується на теплових електростанціях (ТЕС), які споживають понад третину видобутого в світі палива. Тенденція першочергового використання ТЕС відображається в прогнозах на наступне десятиліття. Вплив ТЕС на навколишнє середовище змінюється в залежності від використовуваного палива.

Наразі ТЕС України використовують наступні енергоносії: енергетичне кам'яне вугілля – 53%; природний газ – 41%; мазут – 6% [6].

Під час спалювання твердого палива в атмосферу викидаються такі речовини: сірчаний та сірчистий ангідриди, газоподібні продукти згорання, легкий попіл, оксид азоту, оксиди кремнію та кальцію, а також миш'як та радіоактивні елементи у певних випадках.

Електростанція потужністю 100 МВт, що працює на вугіллі, може мати щорічні викиди в атмосферу приблизно 5 тис. т  $SO_2$  (за умови нейтралізації до 80%) та 10 тис. т  $NO_x$ . На поверхні землі в районі такої електростанції може утворитися близько 400 тис. т золи, яка містить приблизно 80 т важких металів, включаючи миш'як, свинець, кадмій, ванадій та інші, крім того теплова електростанція (ТЕС) потужністю 1 000 МВт споживає протягом року кількість кисню, еквівалентну тій, яку може виділити за аналогічний період 101 000 гектарів лісового масиву [6].

Ці дані підкреслюють важливість оптимізації та зменшення споживання електроенергії в туристичному секторі, а також актуальність впровадження відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні панелі, для забезпечення сталого розвитку туризму в Івано-Франківській області.

Сонячні панелі є важливим джерелом альтернативної енергії, але їх ефективність залежить від різних параметрів, включаючи метеорологічні умови. Отже, для розуміння процесів, що відбуваються при використанні сонячних панелей, необхідно зрозуміти основні фізичні принципи, на яких ґрунтується їх робота.

Сонячні панелі працюють за принципом перетворення сонячної енергії в електричну енергію. Для цього використовуються фотоелектричні елементи, які містять напівпровідникові матеріали, здатні генерувати електричний струм при поглинанні фотонів світла. Однак, ефективність роботи сонячних панелей може змінюватися в залежності від метеорологічних умов, таких як опади, хмарність, температура повітря та інші параметри [2].

При аналізі вироблення сонячної енергії, найбільш важливими показниками є середня температура та опади, а також швидкість вітру.

Середня температура має вплив на ефективність сонячних панелей, оскільки збільшення температури може знизити їх ефективність.

Нижче наведено таблицю з середньою температурою повітря, зафіксованою в період з 2015 по 2022 роки. Дані отримані від станції метеорологічних спостережень Карпатська селестоківна станція (м. Яремче) та виконаний базовий статистичний аналіз.

Таблиця 1

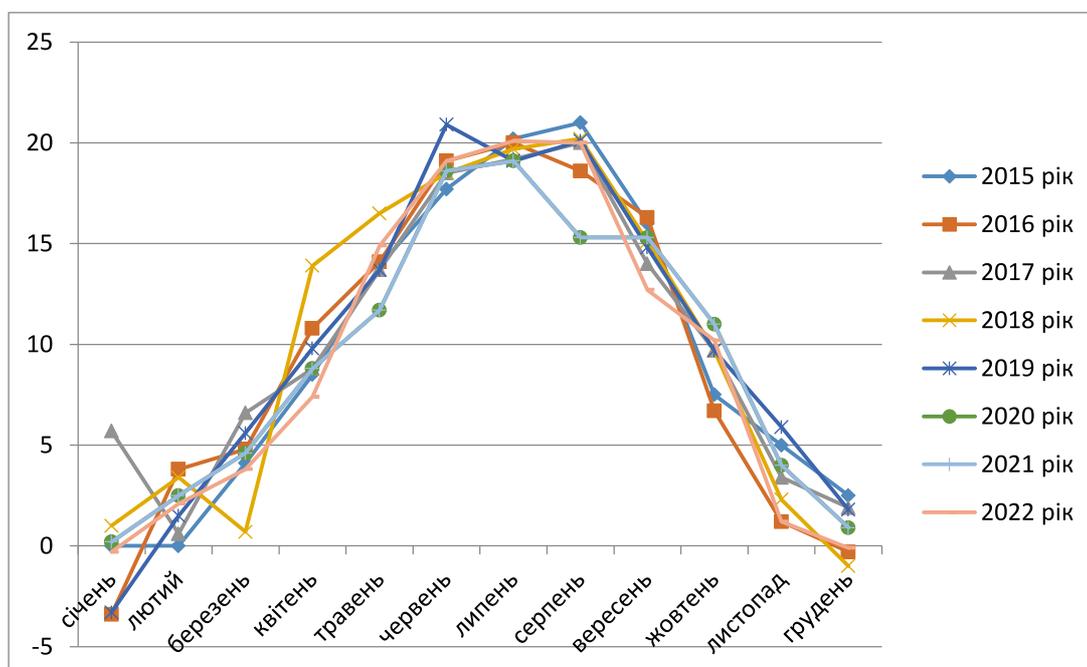
**Середня температура повітря у 2015-2022 роках по дніх Карпатської селестоківної станції, °С, [3]**

| Місяць   | 2015 рік | 2016 рік | 2017 рік | 2018 рік | 2019 рік | 2020 рік | 2021 рік | 2022 рік |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| січень   | -0       | -3.4     | -5.7     | -1.0     | -3.3     | +0.2     | +0.2     | -0.3     |
| лютий    | 0        | +3.8     | -0.6     | -3.4     | +1.5     | +2.5     | +2.5     | +2.1     |
| березень | +4.1     | +4.8     | +6.6     | -0.7     | +5.6     | +4.6     | +4.6     | +3.8     |
| квітень  | +8.5     | +10.8    | +8.8     | +13.9    | +9.8     | +8.8     | +8.8     | +7.4     |
| травень  | +13.9    | +14.1    | +13.7    | +16.5    | +13.7    | +11.7    | +11.7    | +14.9    |
| червень  | +17.7    | +19.1    | +18.5    | +18.5    | +20.9    | +18.6    | +18.6    | +19.1    |
| липень   | +20.2    | +20.0    | +19.2    | +19.7    | +19.1    | +19.1    | +19.1    | +20.1    |
| серпень  | +21.0    | +18.6    | +20.0    | +20.2    | +20.1    | +15.3    | +15.3    | +20.0    |
| вересень | +16.0    | +16.3    | +14      | +15.1    | +14.8    | +15.3    | +15.3    | +12.7    |
| жовтень  | +7.5     | +6.7     | +9.7     | +9.7     | +9.7     | +11      | +11      | +10.2    |
| листопад | +5.0     | +1.2     | +3.4     | +2.3     | +5.9     | +4.0     | +4.0     | +1.2     |
| грудень  | +2.5     | -0.3     | +1.9     | -1.0     | +1.8     | +0.9     | +0.9     | -0.1     |

Як бачимо, відзначається тенденція до зростання середньої температури у більшості місяців з кожним наступним роком. Однак, були випадки, коли температура знижувалася у певних місяцях, наприклад, в лютому 2017 року температура становила  $-0.6^{\circ}\text{C}$ , що на 4.4 градуса нижче, ніж у лютому 2016 року.

Значні коливання температури можуть впливати на ефективність сонячних панелей та виробництво сонячної енергії. Температура повітря має вплив на рівень виробництва електроенергії, оскільки тепло є фактором, який зменшує ефективність сонячних панелей. При зростанні температури панелі нагріваються і стають менш ефективними, що призводить до зменшення виробництва електроенергії.

Відобразимо зміни середньої місячної температури повітря у вигляді діаграми (рис.1).



**Рис.1. Динаміка зміни середньої місячної температури за 2015-2022 роки**

У цілому, аналіз діаграми дає змогу зробити висновок про тенденцію до зростання середньої температури повітря. За даними літературних джерел середньорічна температура повітря за останні 40 років підвищилась приблизно на  $+2^{\circ}\text{C}$ . Тож прогнозно кількість виробленої сонячної

електроенергії на Прикарпатті буде зростати за умови подальших змін клімату та глобального підвищення температури [7,8].

Для опадів спостерігається зворотня тенденція (табл.2). Їх кількість зменшується і збільшується нерівномірність розподілу всередині року [7,8].

Таблиця 2

## Середня кількість опадів 2015-2022 роках, мм [3]

| Місяць   | 2015 рік | 2016 рік | 2017 рік | 2018 рік | 2019 рік | 2020 рік | 2021 рік | 2022 рік |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| січень   | 30.6     | 27.2     | 9        | 36.6     | 36.3     | 13.5     | 39.4 м   | 24.6     |
| лютий    | 21.7     | 23.1     | 24.5     | 45.8     | 14.6     | 59.7     | 42.1     | 11.5     |
| березень | 50.8     | 36.7     | 46.0     | 52.7     | 21.8     | 50.5     | 68.7     | 0        |
| квітень  | 38.1     | 69.0     | 31.7     | 20.0     | 25.9     | 12.7     | 40.4     | 0        |
| травень  | 80.9     | 98.6     | 71.9     | 43.6     | 235.3    | 124.5    | 92.2     | 17.7     |
| червень  | 61.6     | 98.2     | 76.4     | 140.1    | 54.1     | 237.4    | 94.6     | 78.9     |
| липень   | 37.3     | 59.8     | 83.3     | 95.2     | 90.1     | 21.9     | 153.0    | 50.6     |
| серпень  | 8.4      | 37.7     | 51.0     | 29.2     | 16.6     | 114      | 54.1     | 63.8     |
| вересень | 49.4     | 34.2     | 174.2    | 43.2     | 47.1     | 114      | 27.1     | 180.7    |
| жовтень  | 35.9     | 125.9    | 52.4     | 22.7     | 33.0     | 89.3     | 11.4     | 19.3     |
| листопад | 35.9     | 55.2     | 43.5     | 37.3     | 20.8     | 1        | 17.1     | 0        |
| грудень  | 8.2      | 23.3     | 49.5     | 71.8     | 33.5     | 24       | 92.8     | 0        |

Загалом, відзначається значна зміна кількості опадів у кожен окремий рік. За загальним розрахунком, найбільша кількість опадів у 2015-2022 роках була зафіксована у травні з медіаною 80.9 мм, а найменша кількість опадів у січні 2022 року з медіаною 0 мм. За період з 2015 по 2022 роки середня кількість опадів за місяць складає від 8,2 мм до 235,3 мм.

Значні коливання кількості опадів можуть впливати на ефективність сонячних панелей та виробництво сонячної енергії. У літературних джерелах [9,10] знаходимо підтвердження того, що існує залежність виробництва електроенергії від величини хмарності. Оскільки опади пов'язані з хмарністю, логічно було б висунути гіпотезу, що у разі випадіння великої кількості опадів, виробництво електроенергії може знижуватися, а сонячні панелі будуть менш ефективними.

Третій показник, який був нами обраний - швидкість вітру (табл.3). Як і попередній, цей параметр впливає на розподіл хмарності, як наслідок може вплинути на кількість сонячної радіації, яка потрапляє на сонячні панелі.

Таблиця 3

## Середня швидкість вітру у 2015-2022 роках, м/с [3]

| Місяць   | 2015 рік | 2016 рік | 2017 рік | 2018 рік | 2019 рік | 2020 рік | 2021 рік | 2022 рік |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| січень   | 3.0      | 2.3      | 2.6      | 2.5      | 2.6      | 2.3      | 2.1      | 4.0      |
| лютий    | 1.9      | 3.1      | 3.0      | 2.1      | 3.3      | 3        | 3.1      | 3.1      |
| березень | 2.4      | 2.8      | 2.9      | 2.2      | 3.5      | 2.4      | 2.6      | 2.7      |
| квітень  | 3.8      | 2.9      | 3.2      | 2.8      | 3.3      | 2.6      | 2.7      | 2.8      |
| травень  | 2.6      | 2.2      | 2.0      | 2.3      | 2.8      | 3.3      | 3.0      | 2.6      |
| червень  | 2.2      | 2.2      | 2.6      | 2.2      | 2.2      | 2.4      | 2.3      | 2.3      |
| липень   | 2.0      | 2.6      | 2.0      | 2.5      | 2.3      | 1.6      | 2.0      | 2.6      |
| серпень  | 1.8      | 2.2      | 2.1      | 1.7      | 1.8      | 1.6      | 1.6      | 1.7      |
| вересень | 2.4      | 2.0      | 2.2      | 2.2      | 2.3      | 1.6      | 2.5      | 2.2      |
| жовтень  | 2.6      | 3.2      | 3.0      | 2.2      | 1.5      | 1.6      | 2.2      | 2.0      |
| листопад | 2.9      | 2.3      | 2.1      | 2.2      | 3.0      | 17.5     | 1.9      | 1.7      |
| грудень  | 2.2      | 3.5      | 3.0      | 2.6      | 2.4      | 3.1      | 2.6      | 2.1      |

Середні значення коливаються від 1,5 до 4 м/с в залежності від місяця та року. Найвища середня швидкість вітру спостерігалася в січні 2022 року (4 м/с), тоді як найнижча - в липні 2020 року (1,6 м/с). Загалом, середня багаторічна швидкість вітру на Прикарпатті коливається в межах 2-3 м/с, на висоті вимірювання?. Такі значення обмежують використання промислових вітрових електростанцій й вимагають більш детальних досліджень ефективності комбінованих комплексів з відновлюваних джерел енергії у туристичному секторі Карпатського регіону [9,10].

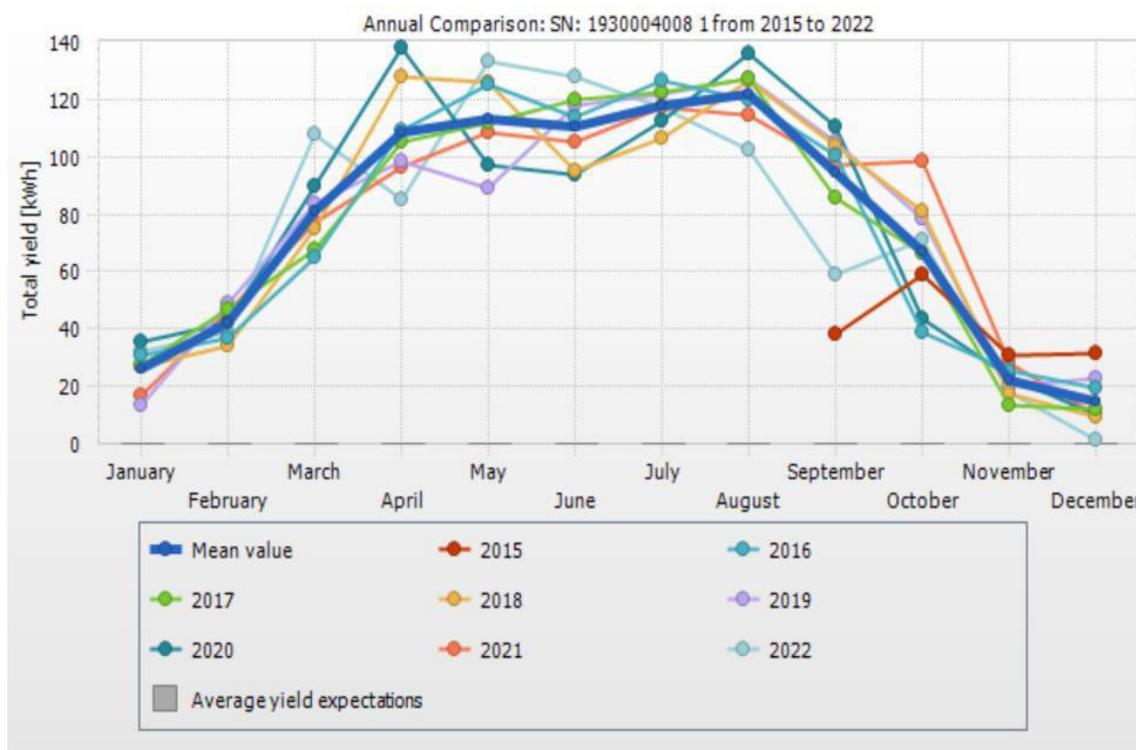
Проаналізуємо показники вироблення сонячної енергії на прикладі СЕС в м. Тлумач потужністю 3 кВт, яка була встановлена за грантові кошти на даху бюджетної установи. Її показники роботи доступні в онлайн режимі (табл.4).

Таблиця 4

**Помісячне виробництво сонячної електроенергії за 2015-2022 роки, тис.кВт·год [5]**

| Рік  | місяць |      |      |       |       |        |       |        |       |       |       |       | Всього |
|------|--------|------|------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|
|      | 01     | 02   | 03   | 04    | 05    | 06     | 07    | 08     | 09    | 10    | 11    | 12    |        |
| 2015 | н/д    | н/д  | н/д  | н/д   | н/д   | н/д    | н/д   | н/д    | 37.89 | 59.19 | 30.48 | 31.78 | 159.35 |
| 2016 | 30.7   | 38   | 64.8 | 109.1 | 125.3 | 114.0  | 126.0 | 120.21 | 100.4 | 38.58 | 25.49 | 19.24 | 911.76 |
| 2017 | 27.4   | 47.2 | 67.5 | 105.1 | 111.8 | 119.57 | 122.9 | 127.51 | 85.84 | 66.33 | 13.07 | 11.98 | 906.27 |
| 2018 | 26.9   | 34.3 | 75.1 | 128.0 | 126.1 | 95.03  | 106.4 | 126.32 | 103.7 | 81.20 | 17.22 | 9.42  | 929.54 |
| 2019 | 13.1   | 49.1 | 83.8 | 98.69 | 88.84 | 117.83 | 121.9 | 127.43 | 104.7 | 78.19 | 20.08 | 22.89 | 926.65 |
| 2020 | 35.4   | 41.9 | 89.9 | 138.1 | 97.17 | 94.00  | 112.7 | 136.19 | 110.5 | 43.49 | 23.40 | 9.74  | 932.47 |
| 2021 | 16.9   | 46.5 | 76.9 | 96.28 | 108.2 | 105.20 | 117.4 | 114.65 | 97.08 | 98.58 | 28.12 | 10.32 | 916.27 |
| 2022 | 31.9   | 38.6 | 108  | 84.78 | 133.3 | 127.89 | 117.4 | 102.78 | 58.82 | 71.08 | 18.20 | 1.60  | 894.16 |

Відобразимо результати у вигляді діаграми на рис. 2.



**Рис.2. Графік вироблення сонячної енергії [5]**

Загальне річне виробництво «сонячної» електроенергії збільшувалося з 2015 року та досягло максимального значення у 2020 році - 932,47 тис. кВт·год за рік.

Помісячні значення варіюються залежно від пори року, а отже, знаходяться в залежності від комплексу метеорологічних параметрів. Найбільші значення виробництва сонячної електроенергії зафіксовані у квітні, травні та червні, що може пояснюватися більш ясною та теплою погодою в ці місяці. У зимовий період значення знижуються, що пояснюється більшою хмарністю та зменшенням тривалості дня [15].

Також можна зазначити, що найнижчі значення виробництва сонячної електроенергії спостерігаються в листопаді та грудні, що пов'язано зі зменшенням кількості годин сонячного світла в ці місяці.

Порівняємо ці значення з показниками погоди за той же період. Наприклад, у 2016 році, коли було досягнуто виробництва сонячної електроенергії в 911,76 тис. кВт·год, середня температура повітря у січні була -4,4 °С, а в липні - 21,1 градусів Цельсія. Кількість опадів у ці місяці становила 30 мм та 102 мм відповідно.

У 2020 році, коли було зафіксовано максимальний вихід виробництва сонячної енергії, середня температура повітря у січні була -3,6 градусів Цельсія, а в червні - 20,1 градусів Цельсія. Кількість опадів у ці місяці становила 28 мм та 103 мм відповідно.

Проведемо розрахунок кореляції між середньою температурою повітря, середньою кількістю опадів, середньою швидкістю вітру та загальним виробництвом сонячної електроенергії за місяцями для 2015-2022 років. Для цього вираховуємо середнє місячне значення для кожного параметра осереднене за вісім років (табл.5).

Таблиця 5.

## Середнє значення для кожного параметра за кожний місяць протягом 2015-2018 років

| Місяць   | Середня температура, °С | Середня кількість опадів, мм | Середня швидкість вітру, м/с | Середня сонячна енергія, тис.кВт·год |
|----------|-------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|
| Січень   | -1.16                   | 27.61                        | 2.81                         | 25.73                                |
| Лютий    | 1.75                    | 31.62                        | 2.69                         | 42.66                                |
| Березень | 4.39                    | 44.57                        | 2.60                         | 82.35                                |
| Квітень  | 9.60                    | 32.20                        | 3.02                         | 98.60                                |
| Травень  | 13.69                   | 109.66                       | 2.60                         | 108.16                               |
| Червень  | 18.56                   | 102.53                       | 2.25                         | 103.63                               |
| Липень   | 19.62                   | 73.98                        | 2.16                         | 111.49                               |
| Серпень  | 18.66                   | 58.32                        | 1.81                         | 97.87                                |
| Вересень | 15.34                   | 83.72                        | 2.24                         | 82.07                                |
| Жовтень  | 9.16                    | 48.78                        | 2.34                         | 58.66                                |
| Листопад | 3.61                    | 27.48                        | 2.48                         | 27.40                                |
| Грудень  | 0.91                    | 32.69                        | 2.72                         | 11.50                                |

Для того, щоб оцінити взаємозалежності між середньою температурою, середньою кількістю опадів, середньою швидкістю вітру та загальним виробництвом сонячної електроенергії, ми розраховували коефіцієнти кореляції. Коефіцієнт кореляції Пірсона має значення від -1 до 1, де -1 означає сильну негативну кореляцію, 1 означає сильну позитивну кореляцію, а 0 означає відсутність кореляції.

Отже, розрахована кореляція між середньою температурою повітря та сонячною енергією – 0.80, між середньою кількістю опадів та сонячною енергією – -0.18, між середньою швидкістю вітру та сонячною енергією – -0.55.

З отриманих результатів можна зробити такі висновки:

1) Існує сильна позитивна кореляція між середньою температурою повітря та виробництвом сонячної енергії, але тільки до певної критичної температури. Це свідчить про те, що зі збільшенням температури повітря до оптимального рівня, збільшується кількість виробленої сонячної енергії. Однак після досягнення цієї точки, ефективність виробництва енергії знижується через збільшення опору фотоелементів внаслідок їх перегріву.

2) Є слабка негативна кореляція між середньою кількістю опадів та виробництвом сонячної енергії. Хоча опади тісно пов'язані із хмарністю, їх кількість і, відповідно, тривалість практично не мають впливу на виробництво електроенергії сонячними панелями.

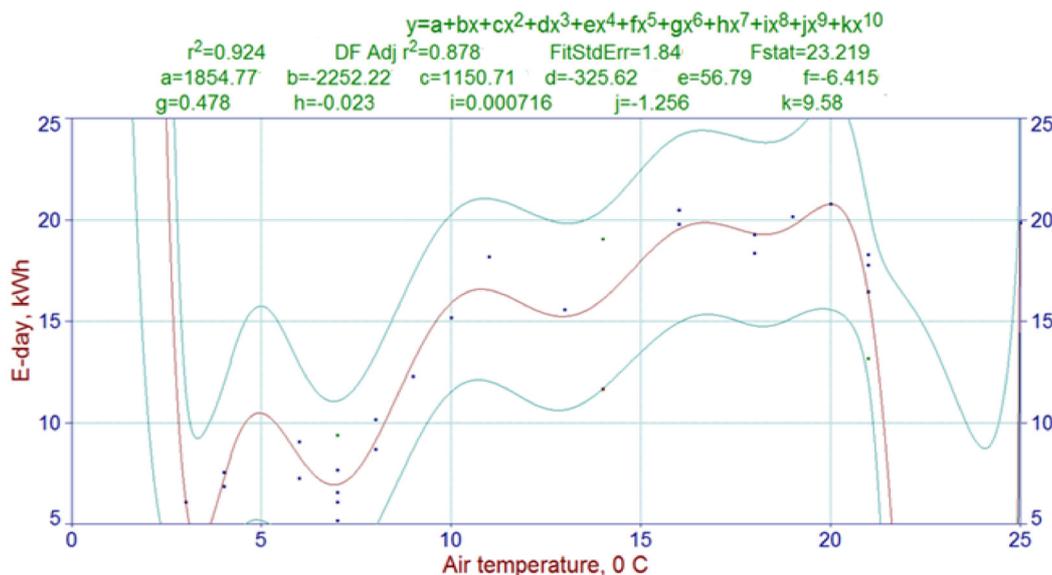
3) Є помірна негативна кореляція між середньою швидкістю вітру та виробництвом сонячної енергії, що може свідчити про те, що зі збільшенням швидкості вітру може спостерігатись зменшення виробленої сонячної енергії. Це може бути пов'язано з тим, що висока швидкість вітру може призводити до погіршення погодних умов, таких як хмарність або опади, підіймати в повітря пил і сміття, які в свою чергу впливають на ефективність сонячних панелей.

З урахуванням результатів кореляційного аналізу, можна сказати, що середня температура повітря має найбільший вплив на виробництво сонячної енергії, тоді як вплив опадів і швидкості вітру є незначним. Тож проведемо регресійний аналіз для залежності температури та вироблення електроенергії сонячними панелями (рис. 3).

Функціональна залежність була встановлена за допомогою програмного забезпечення TableCurve 2D. Програма використовує основні критерії статистики: сума квадратів середнього, сума квадратів помилок (залишків), ступінь свободи, обчислений залежно від кількості параметрів моделі, стандартна помилка, коефіцієнт детермінації ( $r^2$ ), коефіцієнт детермінації з поправкою на ступінь свободи ( $DF\ r^2$ ) та F-статистика (критерій Фішера).

Залежність відображена у вигляді многочлена 10-го ступеня, оскільки вона найкраще описувала дані, існуючи на тлі інших можливих моделей. Це було підтверджено за допомогою статистичного аналізу, включаючи критерій Фішера та коефіцієнт детермінації.

Значення коефіцієнта детермінації оцінювали за допомогою квантильних таблиць F-розподілу та таблиць значень коефіцієнтів. Критичні значення критерію Фішера були визначені відповідно до стандартних таблиць. Гіпотеза (наявність тісної залежності) була відхилена, якщо значення, знайдене в таблиці ( $F_{\text{statt}}$ ), було більше, ніж розраховане ( $F_{\text{statm}}$ ), і було прийнято як та, що підтвердилося, якщо  $F_{\text{statt}} < F_{\text{statm}}$ . У нашому випадках (рис. 3) гіпотеза була підтверджена за умови, що рівень значущості був прийнятий на рівні 1%.



**Рис. 3 - Графік залежності отримання електроенергії фотоелектричними панелями від температури повітря для м. Тлумач**

**Висновки.** Отримана функціональна залежність, за результатами регресійного аналізу, дає можливість прогнозувати ефективність роботи малих сонячних електростанцій в конкретному населеному пункті. Це дозволить у подальшому розрахувати доцільність встановлення малих сонячних електростанцій, їх ефективність та окупність, зробити вибір на користь відновлюваних джерел енергії та збереження навколишнього середовища.

Сонячна енергетика могла б частково вирішити енергетичні проблеми туристичної галузі в Карпатському регіоні, особливо по енергопостачанню віддалених неелектрифікованих садиб, а в умовах нестабільного електропостачання, відключення електроенергії такі установки забезпечували б безперебійне електропостачання.

Таким чином, під час планування розташування сонячних електростанцій слід враховувати показники середньої температури повітря для оптимального розташування та ефективності роботи сонячних панелей. З отриманих даних можна зробити висновок, що збільшення кількості виробленої сонячної енергії корелює з підвищенням середньої температури повітря, але тільки до +21°C. Після того панелі перегріваються і рівень виробництва електроенергії знижується.

#### Література

- 1 Виниченко К. Р. Використання енергії сонця в сучасних кліматичних умовах URL: <http://lib.ndu.edu.ua:8080/dspace/bitstream/123456789/2340/1/%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B5%20%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D1%96%D1%81%D1%81%D1%8F.%202022%D1%80.pdf#page=99>
- 2 Сонячні батареї: принцип роботи URL: <https://sunsayenergy.com/technology/sonyachni-batareyi-princip-roboti>
- 3 Статистика погоди. Кліматичні дані за роками та місяцями URL: <https://meteopost.com/weather/climate/>
- 4 Освітлення міста URL: [https://1ua.com.ua/tlumach/ua/solar\\_panels](https://1ua.com.ua/tlumach/ua/solar_panels)

- 5 Sunny Portal URL: <https://www.sunnyportal.com/Templates/Start.aspx?ReturnUrl=%2fTemplates%2fNoticePage.aspx>
- 6 Вплив електростанцій на довкілля URL: <https://msd.in.ua/vpliv-elektrostantsij-na-dovkillya/>
- 7 Струк Т.В., Яремко О.Є., Корчемлюк М.В., Архипова Л.М. Тенденції глобального потепління на Прикарпатті. Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування: науково-технічний журнал/засн.ІФНТУНГ. №1(15)- Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. - С. 212-220
- 8 Лагойда М.М., Яремко О.Є., Архипова Л.М. Тенденції часового розподілу кліматичних показників на території Івано-Франківської області. Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування: науково-технічний журнал/засн.ІФНТУНГ. №1(19)- Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2019. - С. 34-42 DOI: 10.31471/2415-3184-2019-1(19)-34-42.
- 9 Mandryk O, Moskalchuk N, Arkhypova L, Prykhodko M and Pobigun O 2020 Prospects of environmentally safe use of renewable energy sources in the sustainable tourism development of the Carpathian region of Ukraine, E3S Web Conf. 166 04005
- 10 Arkhypova, L.M., Mandryk, O.M., Moskalchuk, N.M., Prykhodko, M.M., Radlovska K.O. Renewable energy resources in the system of sustainable development of Carpathian region of Ukraine Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1781(1), 012010
- 11 Глушко , О., & Степенко , С. . Параметри, характеристики і фактори, що впливають на ефективність та надійність роботи фотоелектричних перетворювачів у складі електроенергетичних систем . Технічні науки та технології, (1(23), 2021, 249–264 URL: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-1\(23\)-249-264](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-1(23)-249-264)
- 12 Присяжнюк Л. І. Використання повного факторного експерименту для моделювання генерації електроенергії сонячними батареями. Технологія та конструювання в електронній апаратурі, 2022, № 4–6, с. 32–38 URL: <http://dx.doi.org/10.15222/>
- 13 Q. -T. Phan, Y. -K. Wu, Q. -D. Phan and H. -Y. Lo, "A Novel Forecasting Model for Solar Power Generation by a Deep Learning Framework With Data Preprocessing and Postprocessing," in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 59, no. 1, pp. 220-231, Jan.-Feb. 2023
- 14 A. Prystupa, V. Kazymyr, A. Zabašta, A. Revko, S. Stepenko and K. Novyk, "Autonomous Power Supply Development for Hydrometeorological Monitoring Station," 2022 IEEE 7th International Energy Conference (ENERGYCON), Riga, Latvia, 2022, pp. 1-6
- 15 Mandryk O, Moskalchuk N, Arkhypova L, Pryhodko M and Pobigun O 2020 Research quantitative indicators of the potential of solar energy in the Carpathian region of Ukraine, IOP Conf. Ser: Mater. Sci. Eng. 749 012033

*I. Smyk, L. Arkhypova*  
*Ivano-Frankivsk National*  
*Technical University of Oil and Gas*

## **ANALYSIS OF INFLUENCE OF METEOROLOGICAL CONDITIONS ON THE EFFICIENCY OF SOLAR PANELS IN IVANO-FRANKIVSK REGION**

The article is devoted to analysing the influence of meteorological conditions on the efficiency of solar panels in Ivano-Frankivsk region. The issue of using solar panels as one of the key sources of alternative energy and the importance of evaluating their effectiveness depending on meteorological conditions were considered.

The relationship between various meteorological parameters, such as average air temperature, average precipitation, and average wind speed, and the production of solar electricity were investigated. Using the Pearson method, the correlation coefficients between the specified parameters and solar energy production were determined. As a result, the correlation values were obtained, on the basis of which conclusions were drawn regarding the influence of various factors on the efficiency of solar panels.

It is emphasized that when planning the location of small solar power plants, it is important to take into account the average air temperature, since there is a strong positive correlation between it and the production of solar electricity. It is noted that the optimal temperature for the efficient operation of solar panels is +21°C.

The article also provides recommendations on taking into account the average wind speed and average precipitation when planning the location of solar power plants, in particular for the tourism industry in Ivano-Frankivsk region.

The obtained results can be useful for the development of new technologies and strategies for the use of solar energy in different climatic conditions.

**Keywords:** solar panels, efficiency, meteorological conditions, alternative energy, research, statistical analysis, technology, uninterrupted operation, system improvement.

### References

1 Vinichenko K. R. Vykorystannya enerhiyi sontsya u suchasnykh klimatychnykh umovakh URL: <http://lib.ndu.edu.ua:8080/dspace/bitstream/123456789/2340/1/%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B5%20%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D1%96%D1%81%D1%81%D1%8F.%202022%D1%80.pdf#page=99>

2 Sonyachni batareyi: pryntsyyp roboty URL: <https://sunsayenergy.com/technology/sonyachni-batareyi-princip-roboti>

3 Statystyka pohody. Klimatychni dani za rokamy ta misyatsyamy URL: <https://meteopost.com/weather/climate/>

4 Osvitleniya mista URL: [https://1ua.com.ua/tlumach/ua/solar\\_panels](https://1ua.com.ua/tlumach/ua/solar_panels)

5 Sunny Portal URL: <https://www.sunnyportal.com/Templates/Start.aspx?ReturnUrl=%2fTemplates%2fNoticePage.aspx>

6 Vplyv elektrostanciy na dovkillya URL: <https://msd.in.ua/vplyv-elektrostancij-na-dovkillya/>

7 Struk T.V., Yaremko O.YE., Korchemlyuk M.V., Arkhypova L.M. Tendentsiyi hlobal'noho poteplinnya na Prykarpatti. Ekolohichna bezpeka ta zbalansovane resursokorystuvannya: naukovo-tekhnichnyy zhurnal/zasn.IFNTUNH. №1(15)- Ivano-Frankivsk: IFNTUNH, 2017. - S. 212-220

8 Lahoyda M.M., Yaremko O.YE., Arkhypova L.M. Tendentsiyi chasovoho rozpodilu klimatychnykh pokaznykiv na terytoriyi Ivano-Frankivs'koyi oblasti. Ekolohichna bezpeka ta zbalansovane resursokorystuvannya: naukovo-tekhnichnyy zhurnal/zasn.IFNTUNH. №1(19)- Ivano-Frankivsk: IFNTUNH, 2019. - S. 34-42 DOI: 10.31471/2415-3184-2019-1(19)-34-42.

9 Mandryk O, Moskalchuk N, Arkhypova L, Prykhodko M and Pobigun O 2020 Prospects of environmentally safe use of renewable energy sources in the sustainable tourism development of the Carpathian region of Ukraine, E3S Web Conf. 166 04005

10 Arkhypova, L.M., Mandryk, O.M., Moskalchuk, N.M., Prykhodko, M.M., Radlovska K.O. Renewable energy resources in the system of sustainable development of Carpathian region of Ukraine Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1781(1), 012010

11 Hlushko, O., & Stepenko, S. . Parametry, kharakterystyky ta faktory, shcho vplyvayut' na efektyvnist' ta nadiynist' roboty fotoelektrychnykh peretvoryuvachiv u skladi elektroenerhetychnykh system . Tekhnichni nauky ta tekhnolohiyi, (1(23), 2021, 249–264 URL: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-1\(23\)-249-264](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-1(23)-249-264)

12 Prisyazhnyuk L. I. Vykorystannya povnoho faktornoho eksperymentu dlya modelyuvannya heneratsiyi elektroenerhiyi sonyachnyimi batareyamy. Tekhnolohiya ta konstruyuvannya v elektronniy aparaturi, 2022, № 4–6, s. 32–38 URL: [http://dx.doi.org/10.15222/Q. -T. Phan, Y.-K. Wu, Q. -D. Phan and H.-Y. Lo, "A Novel Forecasting Model for Solar Power Generation by a Deep Learning Framework With Data Preprocessing and Postprocessing," in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 59, no. 1, pp. 220-231, Jan.-Feb. 2023](http://dx.doi.org/10.15222/Q. -T. Phan, Y.-K. Wu, Q. -D. Phan and H.-Y. Lo, )

13 A. Prystupa, V. Kazymyr, A. Zabašta, A. Revko, S. Stepenko and K. Novyk, "Autonomous Power Supply Development for Hydrometeorological Monitoring Station," 2022 IEEE 7th International Energy Conference (ENERGYCON), Riga, Latvia , 2022, pp. 1-6

14 Mandryk O, Moskalchuk N, Arkhypova L, Pryhodko M and Pobigun O 2020 Research quantitative indicators of the potential of solar energy in the Carpathian region of Ukraine, IOP Conf. Ser: Mater. Sci. Eng. 749 012033

*Надійшла до редакції 02 травня 2023 р.*