

ЕКОЛОГІЧНІ ОБМЕЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ У КАРПАТСЬКОМУ РЕГІОНІ

Редько А. І., Адаменко Я. О.

Івано-Франківській національний технічний університет нафти і газу

Анотація. Метою роботи є дослідження екологічних обмежень використання сонячної енергії у Карпатському регіоні України. Визначено основні обмеження, які впливають на ареал розміщення сонячних електростанцій, що розглядаються під час стратегічного екологічного аналізу та обґрунтовуються в розрахунковий спосіб у процесі процедури дослідження впливу на довкілля. Під час досліджень отримав подальший розвиток регресійний аналіз залежності кількості виробленої електроенергії експериментальною сонячною електростанцією в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу від метеорологічних параметрів за допомогою статистичного оброблення спостережень. Отримані значимі закономірності можна буде застосувати для обґрунтування екологічних обмежень під час використання сонячної енергії для м. Івано-Франківська.

Ключові слова: екологічні обмеження, відновлювані джерела енергії, метеорологічні параметри.

Вступ

Для енергетичної безпеки України на сьогоднішній день вкрай необхідним є пошук можливих резервів, частина з яких зосереджена у відновлюваних джерелах енергії (ВДЕ). Потреби ринку в Карпатському регіоні вимагають сталого розвитку об'єднаних територіальних громад із високим рівнем екологічної безпеки підприємництва [1]. До цієї схеми і належить ВДЕ. Останнім часом в Україні на державному рівні прийнято ряд заходів щодо стимулювання впровадження ВДЕ. У зв'язку із військовою агресією з 2022 по 2024 рік втрачено гігавати встановлених потужностей теплових електростанцій, зокрема Бурштинської ТЕС в Івано-Франківській області. Тож в майбутні десятиліття масштаби впровадження електрогенерувальних потужностей, що використовують ВДЕ, безсумнівно збільшуватимуться. Однак впровадження ВДЕ в екологічно чутливому Карпатському регіоні має відповідати вимогам екологічної безпеки та сталого розвитку регіону [2].

Аналіз публікацій

Екологічні наслідки використання відновлюваних джерел енергії вивчалися закордонними дослідниками [3, 4, 5].

Науковці ІФНТУНГ понад двадцять років досліджують питання сталого збалансованого розвитку та техногенної-екологічної безпеки Карпатського регіону, зокрема територій розташування об'єктів ВДЕ, вони мають пріоритетну більшість наукових доробок, публікацій та винаходів у цій галузі [6, 7, 8]. Найвагомішими результатами роботи у 2015–2017 роках фундаментального дослі-

дження «Методологія екологічно безпечного використання відновлюваних джерел енергії у сталому туристично-рекреаційному розвитку Карпатського регіону» стало розроблення науково обґрунтованої методології екологічно безпечного використання ВДЕ у Карпатському регіоні з огляду на сталий збалансований туристично-рекреаційний розвиток регіону, зокрема фундаментальні дослідження для впровадження найкращих технологій використання сонячної, вітрової та енергії малих рік, обґрунтування технічно досяжного, економічно доцільного, екологічно безпечного потенціалу відновлюваних джерел енергії на досліджуваній території, моделювання й прогноз розвитку екологічних процесів, наукове обґрунтування способів досягнення збалансованого розвитку [9, 10]. Наукові доробки вітчизняних і світових вчених містять патентування способу відлякування птахів від вітрових турбін вітроелектростанцій; акустичного пристрою для відлякування риби від турбін гідроелектростанцій; способу покращення очистки стічних вод за допомогою вітродвигуна; розробки плоского сонячного колектору [11, 12]. Крім того, удосконалена методологія бального оцінювання впливів на навколишнє середовище об'єктів ВДЕ; розроблена методика визначення гранично-допустимих норм техногенного навантаження від ВДЕ; визначено технологічні екологічно безпечні пріоритети для кожного виду відновлюваної енергетики, розроблені технічні сценарії розвитку окремих напрямів ВДЕ для кожної адміністративної області в межах Карпатського регіону; створений комплект ГІС-карт потенціалу ВДЕ тощо [13,

14, 15]. Однак вивчення екологічних обмежень впровадження генеруючих потужностей із сонячної енергії, зокрема із залежностями виробітку електричної енергії від метеорологічних параметрів, для місцевих умов Прикарпаття є недостатньо дослідженим.

Мета та постановка завдання

Метою роботи є дослідження екологічних обмежень використання сонячної енергії в Карпатському регіоні України. Для досягнення мети було поставлено завдання пошуку залежності кількості виробленої електроенергії експериментальною сонячною електростанцією від метеорологічних параметрів за допомогою статистичного оброблення отриманих результатів.

Виклад основного матеріалу

Під час використання відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячної, так сам, як і під час використання традиційних енергетичних ресурсів, існують певні екологічні ризики. Тому напередодні встановлення еле-

ментів забезпечення енергетичних потреб населення, застосовуючи відновлювані джерела енергії, варто дослідити всі переваги та недоліки з огляду на територіальні та ресурсні особливості й екологічні обмеження.

Можна визначити основні обмеження, які впливають на ареал розміщення сонячних електростанцій, що досліджуються під час стратегічного екологічного аналізу [16] та обґрунтовуються розрахунковим способом у процесі процедури аналізу впливу на довкілля [17].

Об'єкти, що здійснюють вплив під час реалізації сценарію розвитку відновлюваних джерел енергії, необхідно розглядати в контексті таких категорій: вплив на клімат та якість атмосферного повітря; вплив на поверхневі та підземні води; вплив на геологію, ґрунти та землекористування; вплив на ландшафти та біорізноманіття; вплив на суспільні та соціально-економічні аспекти; вплив на культурну спадщину.

Розглянемо детальніше вплив на соціально-економічні аспекти (табл. 1).

Таблиця 1 – Об'єкти впливу та екологічні аспекти

Об'єкт впливу	Екологічні аспекти ймовірних впливів
	сонячні електростанції
Демографія	Можливі етнічні дискусії щодо розташування. Можливе переселення або переміщення господарської діяльності
Здоров'я	Можливі впливи від шуму та пилу на стадії будівництва
Туризм та екологічне дозвілля	Візуальні ефекти та вплив на доступ до земельних ресурсів для рекреаційних зон на рекреаційні заходи зокрема піший туризм, екотуризм, рибацтво та мисливство. Покращення інфраструктури та зацікавленість у відновлюваній енергії можуть сприяти екотуризму.
Об'єкти ЮНЕСКО	Втрата або пошкодження ресурсу внаслідок будівництва. Візуальне вторгнення в культурний ландшафт.
Зайнятість	Збільшення зайнятості населення у сільській місцевості на стадії встановлення та обслуговування
Енергетична безпека громад	Забезпечує тривале низькозатратне джерело енергії, що допоможе стабілізувати витрати на енергію.
Економіка	Втрата земельних площ для облаштування СЕС. Ці землі – потенційно ресурсні зони для видобутку мінералів, ведення сільського господарства та розташування об'єкта промисловості.
Енергопостачання	Потенційне покращення надійності енергопостачання.
Інфраструктура	Візуальні ефекти, що впливають на вартість майна. Впливи на особливості дорожнього руху на стадії будівництва. Можливе ушкодження інфраструктури внаслідок перевезення масштабного обладнання та матеріалів.
Зареєстровані об'єкти культурної спадщини	Втрата або пошкодження ресурсу внаслідок будівництва. Візуальне вторгнення в культурний ландшафт.
Невідомі чи незареєстровані об'єкти культурної спадщини	Втрата або пошкодження ресурсу внаслідок будівництва. Візуальне вторгнення в культурний ландшафт.
Нематеріальна культурна спадщина	Втрата, часткова втрата, зміни або порушення ресурсу.

Як і у випадку з техногенним впливом на природне середовище, він не може бути односторонньо негативним. Наприклад, облаштування об'єктів відновлюваної енергетики промислового масштабу на туристично привабливій території Карпатського регіону призведе до ускладнень щодо візуальних ефектів для екологічного дозвілля та можливого впливу на доступ до земельних ресурсів для рекреаційних територій, зокрема на піший туризм, екотуризм, рибальство та мисливство. З іншого боку, покращення інфраструктури території та зацікавленість у відновлюваній енергії ОТГ можуть сприяти розвитку промислового туризму. Таким чином, з огляду на зазначені критерії ризику під час впровадження сонячної енергетики можна значно скоротити ймовірність його реалізації, збільшити енергетичну й економічну вигоду за мінімальних впливів на рівень екологічної безпеки. Для проектів СЕС головним екологічним обмеженням є питання оренди землі. На 1 МВт необхідно орендувати приблизно 2,5 га землі. У Карпатському регіоні ділянки під СЕС мають не мають містити землі сільськогосподарського призначення, рекреаційно-туристичного використання, буферні зони природно-заповідних територій. Важливою умовою є можливість приєднання СЕС до електричних мереж. За значних затрат на приєднання (більше ніж 15% від вартості СЕС) може бути прийнято рішення про нерентабельність проекту.

Експериментальна складова нашого дослідження була спрямована на визначення залежності виробництва електроенергії дослідною СЕС ІФНТУНГ, потужністю 3 кВт, що розташована на виставковому центрі від метеорологічних параметрів.

Отримані щомісячні результати щодо кількості виробленої електричної енергії СЕС ІФНТУНГ за 2023 р. (рис. 1).

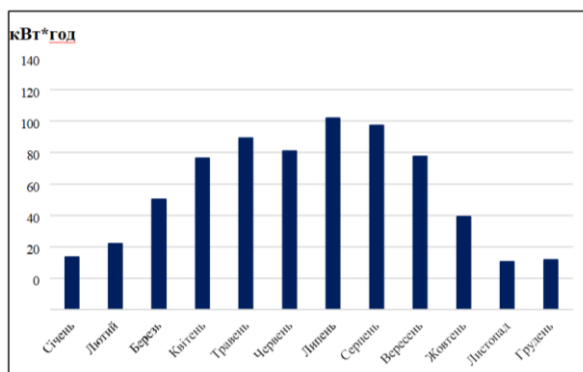


Рис. 1. Кількість згенерованої електричної енергії в 2023 році

Кількість середньомісячних метеорологічних параметрів у 2023 році (табл. 2) вибрані з архіву електронного ресурсу <https://weatherandclimate.com> [18].

Для побудови регресійних моделей та визначення параметрів детермінації використуємо вбудовані статистичні можливості програмного забезпечення Excel.

Таблиця 2 – Середньомісячні значення метеорологічних параметрів у 2023 р. (метеостанція м. Івано-Франківськ)

Місяць року	Температура повітря, t_p , °C	Відносна вологість повітря, φ_p , %	Швидкість вітру, V_p , м/с	Кількість опадів, H , мм
січень	-0,58	81,56	3,34	19,47
лютий	0,32	80,33	2,37	10,02
березень	5,34	75,81	2,94	31,7
квітень	9,61	65,26	3,53	26,69
травень	15,9	75,39	2,65	65,47
червень	19,71	71,67	2,41	49,7
липень	22,96	75,49	2,48	35,61
серпень	24,58	67,85	2,37	24,5
вересень	16,37	83,75	2,84	15,47
жовтень	8,84	79,43	3,16	15,65
листопад	5,72	80,47	3,17	39,85
грудень	1,81	81,55	2,62	5,51

Модель лінійної регресії – це статистична модель, яка використовується для вивчення взаємозв'язку між залежною змінною й однією або декількома незалежними змінними [10]. У моделі лінійної регресії зазначено, що цей взаємозв'язок є лінійним, тобто може бути записаний рівнянням прямої лінії.

Отримані рівняння лінійної регресії залежності виробництва сонячної електроенергії від температури повітря – рівняння $y = a + bx$, до яких додані розраховані за формулами коефіцієнти (рис. 2).

Коефіцієнт детермінації (R^2) – чисельно демонструє, яка частина варіації залежної змінної пояснена моделлю; визначає, наскільки отримані спостереження підтверджують модель (табл. 3).

Отже, для умов м. Івано-Франківська з імовірністю 91 % збільшення виробництва електроенергії сонячними електростанціями залежатиме від температури повітря з верхньою граничною умовою $+25^\circ\text{C}$.

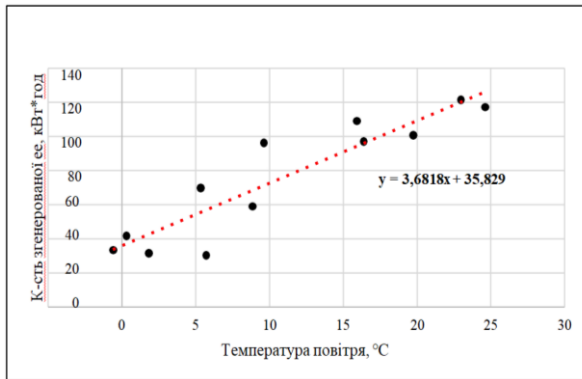


Рис. 2. Модель лінійної регресії залежності виробництва сонячної електроенергії від температури повітря для м. Івано-Франківська

Таблиця 3 – Регресійна статистика для рис. 2

Назва показника	Значення
Множинний R (коэф. кореляції)	0,9189847
R^2 (коэф. детермінації)	0,8445329
Нормований R -квадрат	0,8289862
Стандартна похибка	14,607806

Залежність виробництва електричної енергії від відносної вологості не є лінійною, тому для неї було використано поліноміальну модель другого ступеня (квадратичну функцію) (рис. 3, табл. 4).

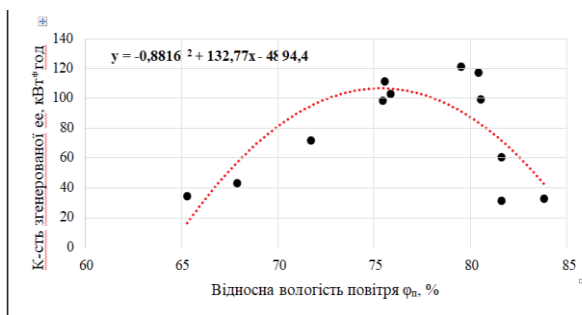


Рис. 3. Залежність виробництва сонячної електроенергії від відносної вологості повітря для м. Івано-Франківська

Таблиця 4 – Регресійна статистика для рис. 3

Назва показника	Значення
Множинний R (коэф. кореляції)	0,776369331
R^2 (коэф. детермінації)	0,602749339
Нормований R -квадрат	0,514471414
Стандартна похибка	24,61369177

Тож для умов м. Івано-Франківська з імовірністю 77 % виробництво електроенергії сонячними електростанціями збільшується за умов підвищення відносної вологості до 75 % (це показник середньорічної відносної

вологості повітря для м. Івано-Франківська) і зменшується із подальшим підвищенням вологості від 75 до 100 % через підвищення хмарності за таких погодних умов.

Для отримання залежності виробництва електричної енергії СЕС ІФНТУНГ від швидкості вітру також була використана поліноміальна регресійна модель другого ступеня (рис. 4, табл. 5)

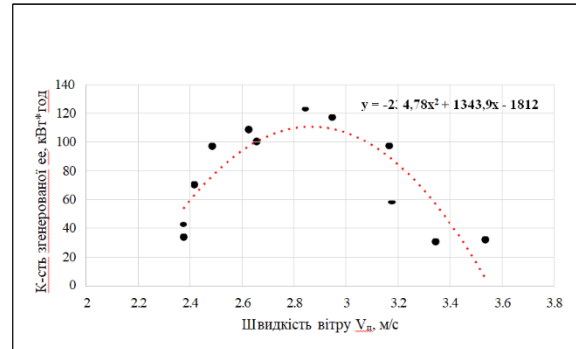


Рис. 4. Залежність виробництва сонячної електричної енергії від швидкості вітру для м. Івано-Франківська

Тож для умов м. Івано-Франківська з імовірністю 86 % виробництво електроенергії сонячними електростанціями збільшується за умов слабого вітру або майже безвітряної погоди зі значенням швидкості вітру до 2,9 м/с (це показник середньорічної швидкості вітру для м. Івано-Франківська) і зменшується з подальшим збільшенням швидкості вітру через підвищення хмарності за таких погодних умов.

Таблиця 5 – Регресійна статистика для рис. 4

Назва показника	Значення
Множинний R (коэф. кореляції)	0,85736020
R^2 (коэф. детермінації)	0,73506650
Нормований R -квадрат	0,67619239
Стандартна похибка	20,1007786

Серед метеорологічних показників, які є природними обмеженнями виробництва електроенергії сонячними електростанціями, кількість опадів є найбільш нестабільним параметром з різкими змінами протягом року. Залежність виробництва сонячної електричної енергії від кількості опадів не є суттєвою, спроби наблизити прогнозовані значення до фактичних за допомогою регресійної поліноміальної моделі третього ступеня не дали результату.

Висновки

Результатом проведених досліджень є обґрунтування екологічних обмежень використання сонячної енергії в Карпатському регіоні України.

Визначено основні обмеження, які впливають на ареал розміщення сонячних електростанцій, які досліджуються в процесі здійснення стратегічного екологічного аналізу та обґрунтовуються розрахунковим способом під час процедури визначення рівня впливу на довкілля. Для проєктів СЕС є головним екологічним обмеженням використання земельних площ. У Карпатському регіоні ділянки для СЕС мають оминати землі сільськогосподарського призначення, рекреаційно-туристичного використання, буферні зони природно-заповідних територій. Важливим технічним обмеженням є спроможність приєднання СЕС до електричних мереж.

У процесі досліджень вирішено завдання пошуку залежності кількості виробленої електроенергії експериментальною сонячною електростанцією в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу від метеорологічних параметрів за допомогою статистичного оброблення результатів спостережень.

Визначено, що температура повітря найбільше впливає на виробництво електричної енергії з коефіцієнтом кореляції 0,919. Пряма лінійна залежність вказує на приріст генерації потужностей зі збільшенням температури повітря до +25°C. Відносна вологість має досить значний вплив на генерацію енергії сонця. Отриманий коефіцієнт кореляції 0,776 визначає тісний зв'язок між двома типами даних. У разі збільшення вологості до 76 % збільшується виробництво електроенергії сонячними фотоелектричними панелями та зменшується із подальшим підвищенням вологості від 75 до 100% через збільшення хмарності за таких погодних умов.

Швидкість вітру також має сильний кореляційний зв'язок з виробництвом електроенергії на сонячній електростанції. Виробництво електроенергії збільшується за умов слабого вітру або майже безвітряної погоди зі значенням швидкості вітру до 2,9 м/с і зменшується із подальшим зростанням його швидкості.

Останній параметром розглядалися значення місячної кількості опадів у регіоні. Регресійний аналіз довів, що зв'язок між виробництвом електроенергії та кількістю опадів є модерованим, проте він не є суттє-

вим.

Отже, обґрунтування екологічних обмежень під час використання сонячної енергії одержало подальший розвиток.

Література

1. Renewable energy sources for sustainable tourism in the Carpathian region / O. M. Mandryk et al. (2016). IOP Publishing. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 144. (2016). 012007. International Conference on Innovative Ideas in Science (IIS2015)12–13, Baia Mare, Romania. Volume 144. August 2016. International databases Web of science <http://iopscience.iop.org/issue/1757-899X/144/1>.
2. Induction of the Carpathian Region Environmental Safety Level Change using the Alternative Sources of Energy / O. M. Mandryk et al. (2016). Scientific Bulletin of North University Center of Baia Mare / Series D – Mining, Mineral Processing, Non-ferrous Metallurgy, Geology and Environmental Engineering – Volume XXX № 1. Pp.65–70.
3. Techno-economic assessment and sustainability impact of hybrid energy systems in Gilgit-Baltistan Pakistan / M. Ali et al. (2021). *Energy Reports*. 7. 2546–2562. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.04.036>
4. A new hybrid solar photovoltaic/ phosphoric acid fuel cell and energy storage system; energy and exergy performance / S. Cheng. et al. (2021). *International Journal of Hydrogen Energy*. 46. 8048–8066. <https://doi.org/10.1016/j.IJHYDENE.2020.11.282>
5. Sustainability survey promoting solutions to real-world problems I. D'Adamo. et al. (2022). *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/SU141912244>
6. Стратегічна оцінка використання відновлюваних джерел енергії у сталому туристично-рекреаційному розвитку Карпатського регіону: колективна монографія / Л. М. Архипова та ін. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2016. 323 с.
7. Arkhypova L. M., Adamenko Y. O., Mandryk O. M. (2015). Resource possibility use of solar energy for sustainable Development of the Carpathian region of Ukraine. Scientific Bulletin of North University Center of Baia Mare. Series D – Mining, Mineral Processing, Non-ferrous Metallurgy, Geology and Environmental Engineering – Volume XXIX № 1. Pp. 53–64.
8. Мандрик О. М. Аналіз використання потенціалу вітрової і сонячної енергії в Карпатському регіоні. Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. 2016. №1(13). С. 158–166.
9. Адаменко Я. О., Архипова Л. М., Москальчук Н. М. Методика екологічної оцінки вико-

- ристання відновлюваних джерел енергії. Екологічна безпека. 2015. №2 (20). С. 37–42.
10. Prospects of environmentally safe use of renewable energy sources in the sustainable tourism development of the Carpathian region of Ukraine / / O. M. Mandryk (2020). E3S Web Conference. P. 7.
 11. Renewable energy in the 21st century / M. K. G. Deshmukh et al. (2023). A review. Materials Today Proceedings. 80. 1756–1759. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2021.05.501>.
 12. Simulation of eco-friendly and affordable energy production via solid oxide fuel cell integrated with biomass gasification plant using various gasification agents / J. Hosseinpour et al. (2020). Renewable Energy, 145, 757–771. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2019.06.033>.
 13. Prioritization of renewable solar energy to prevent energy insecurity: an integrated role / R. Iram et al. (2020). <https://doi.org/10.1142/S021759082043002X>.
 14. Editorial: Sustainable planning and lifecycle thinking of energy infrastructure / N. M. Kumar et al. (2023). Frontiers in Energy Research, 11, 1196826. <https://doi.org/10.3389/FENRG.2023.1196826/BIBTEX>
 15. Методологія екологічно безпечного використання відновлюваних джерел енергії у сталому туристично-рекреаційному розвитку Карпатського регіону: колективна монографія / Л. М. Архипова та ін. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2018. 298 с.
 16. Про стратегічну екологічну оцінку: Закон України. Відомості Верховної Ради (ВВР). 2018. № 16. ст. 138. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2354-19#Text>
 17. Про оцінку впливу на довкілля: Закон України. Відомості Верховної Ради (ВВР). 2017. № 29. ст.315. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text>
 18. Погода. Електронний ресурс <https://weatherandclimate.com>.

References

1. Mandryk, O. M., Arkhypova, L. M., Pobigun, O. V., Maniuk, O. R. (2016) Renewable energy sources for sustainable tourism in the Carpathian region. IOP Publishing. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 144. (2016). 012007. International Conference on Innovative Ideas in Science (IIS2015)12–13, Baia Mare, Romania. Volume 144. August 2016. International databases Web of science <http://iopscience.iop.org/issue/1757-899X/144/1>.
2. Mandruk, O. M. Adamenko, Y. O., Arkhypova, L. M., Maniuk, O. R. (2016). Induction of the Carpathian Region Environmental Safety Level Change using the Alternative Sources of Energy. Scientific Bulletin of North University Center of Baia Mare / Series D – Mining, Mineral Processing, Non-ferrous Metallurgy, Geology and Environmental Engineering – Volume XXX № 1. P.65–70.
3. Ali, M., Wazir, R., Imran, K., Ullah, K., Janjua, A. K., Ulasyar, A. et al. (2021). Techno-economic assessment and sustainability impact of hybrid energy systems in Gilgit-Baltistan Pakistan. *Energy Reports*. 7. 2546–2562. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.04.036>.
4. Cheng, S., Zhao, G., Gao, M., Shi, Y., Huang, M., & Marefati, M. (2021). A new hybrid solar photovoltaic/ phosphoric acid fuel cell and energy storage system; energy and exergy performance. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46. 8048–8066. <https://doi.org/10.1016/J.IJHYDENE.2020.11.282>
5. D’Adamo, I., Ioppolo, G., Shen, Y., & Rosen, M. A. (2022). Sustainability survey promoting solutions to real-world problems. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/SU141912244>.
6. Стратегічна оцінка використання відновлюваних джерел енергії у сталому туристично-рекреаційному розвитку Карпатського регіону (2016) Колективна монографія за ред. Л. М. Архипової /O. M. Mandryk, L. M. Arkhypova, Ya. O. Adamenko, M. M. Prykhod’ko, O. M. Adamenko, O. V. Pobihun, O. R. Manyuk, N. M. Moskal’chuk, Yu. I. Murava, Yu. D. Mykhaylyuk. Ivano-Frankivsk: IFNTUNH, 323 s.
7. Arkhypova, L. M. Adamenko, Y. O., Mandruk, O. M. (2015). Resource possibility use of solar energy for sustainable Development of the Carpathian region of Ukraine. Scientific Bulletin of North University Center of Baia Mare / Series D – Mining, Mineral Processing, Non-ferrous Metallurgy, Geology and Environmental Engineering – Volume XXIX № 1. Pp. 53–64.
8. Mandryk, O. M. (2016) Analiz vykorystannya potentsialu vitrovoyi ta sonyachnoyi enerhiyi v Karpats’komu rehioni. *Ekolohichna bezpeka ta zbalansovane resursokorystuvannya*. №1(13). S. 158–166.
9. Adamenko, YA. O., Arkhypova, L. M., Moskal’chuk, N. M. (2015) *Metodyka ekologichnoyi otsinky vykorystannya vidnovlyuvanykh dzherel enerhiyi*. *Ekolohichna bezpeka*. № 2 (20). S. 37–42.
10. Mandryk, O., Moskalchuk, N., Arkhypova, L., Prykhodko, M., 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 Conference. P. 7.
11. Deshmukh, M. K. G., Sameeroddin, M., Abdul, D., & Abdul, S. M. (2023). Renewable energy in the 21st century: A review. Materials Today Proceedings. 80. 1756–1759. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2021.05.501>

12. Hosseinpour, J., Chitsaz, A., Liu, L., & Gao, Y. (2020). Simulation of eco-friendly and affordable energy production via solid oxide fuel cell integrated with biomass gasification plant using various gasification agents. *Renewable Energy*, 145, 757–771.
<https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2019.06.033>
13. Iram, R., Anser, M. K., Awan, R. U., Ali, A., Abbas, Q., Chaudhry, I. S. (2020). Prioritization of renewable solar energy to prevent energy insecurity: An integrated role.
<https://doi.org/10.1142/S021759082043002X>
14. Kumar, N. M., D'Adamo, I., Hait, S., Priya, A., Kichou, S., & Gastaldi, M. (2023). Editorial: Sustainable planning and lifecycle thinking of energy infrastructure. *Frontiers in Energy Research*, 11, 1196826. <https://doi.org/10.3389/FENRG.2023.1196826/BIBTEX>.
15. Metodolohiya ekolohichno bezpechnoho vykorystannya vidnovlyuvanykh dzherel enerhiyi u stalomu turystychno-rekreatsynomu rozvytku Karpats'koho rehionu. (2018): kolektyvna monohrafiya/ za red. L. M. Arkhpyovoyi [O. M. Mandryk, L. M. Arkhpyova, M. M. Prykhod'ko, Ya. O. Adamenko, O. V. Pobihun, N. M. Moskal'chuk, S. V. Kachala]. Ivano-Frankivsk: IFNTUNH, 298 s.
16. Zakon Ukrainy Pro stratehichnu ekolohichnu otsinku (Vidomosti Verkhovnoyi Rady (VVR), 2018, № 16, st. 138) <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2354-19#Text>
17. Zakon Ukrainy Pro otsinku vplyvu na dovkillia (Vidomosti Verkhovnoyi Rady (VVR), 2017, № 29, st.315) <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text>
18. Pohoda. Elektronnyy resurs <https://weatherandclimate.com>

Редько Андрій Іванович, аспірант кафедри екології, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
andrii.redko-a10122@nung.edu.ua
тел. +38 097-867-76-77

Адаменко Ярослав Олегович, докт. тех. наук, проф., завідувач кафедри екології, yaroslav.adamenko@nung.edu.ua
тел. +38 050-188-28-49,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15, 76019, м. Івано-Франківськ, Україна.

Environmental Limitations of the Use of Solar Energy in the Carpathian Region

Abstract. *The purpose of the work is to study the environmental limitations of using solar energy in the*

*Carpathian region of Ukraine. **Problem.** A number of main restrictions affecting the location of solar power plants are highlighted, which are analyzed in the process of carrying out a strategic environmental assessment and are substantiated by calculation in the process of the environmental impact assessment procedure. For solar power plant projects, the main environmental limitation is the use of land areas. In the Carpathian region, plots under solar power plants must bypass agricultural land, recreational and touristic use, buffer zones of nature reserves. An important technical limitation is the ability to connect solar power plants to electrical networks. **Methodology.** In the course of the research, the regression analysis of the dependence of the amount of electricity produced by the experimental solar power plant at the Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas on meteorological parameters was further developed using statistical processing of a series of observations. **Results. Originality.** It was determined that the air temperature has the greatest influence on the production of electrical energy with a correlation coefficient of 0.919. A direct linear relationship indicates an increase in power generation with an increase in air temperature up to +250C. Relative humidity has a fairly significant effect on the generation of solar energy. The resulting correlation coefficient of 0.776 indicates a close relationship between the two data series. When the humidity increases to 76%, the production of electricity by solar photovoltaic panels increases and decreases with a further increase in humidity from 75 to 100 %, which is associated with an increase in cloudiness under such weather conditions. Wind speed also has a strong correlation with solar power generation. Electricity production increases in conditions of low wind or almost windless weather with a wind speed value of up to 2.9 m/s and decreases with a further increase in wind speed. **Practical value.** The obtained significant regularities will be of practical importance for the justification of environmental restrictions when using solar energy for the conditions of the city of Ivano-Frankivsk.*

Keywords: *environmental restrictions, renewable energy sources, meteorological parameters.*

Redko Andrii, Ph.D. student, Ecology Department, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, andrii.redko-a10122@nung.edu.ua
tel. +38 097-867-76-77

Adamenko Yaroslav, Doct. of Science, Professor, Head of the Ecology Department, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
yaroslav.adamenko@nung.edu.ua,
+38 050-188-28-49.