



ЗАПОРОЖЕЦЬ

Артур Олександрович —
доктор технічних наук,
заступник директора
з науково-організаційної роботи
Інституту загальної енергетики
НАН України

ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНА СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ ПОТЕНЦІАЛУ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ОСНОВІ РЕТРОСПЕКТИВНИХ СУПУТНИКОВИХ ДАНИХ

**За матеріалами наукового повідомлення на
засіданні Президії НАН України 8 липня 2026 р.**

У доповіді представлено інформаційно-аналітичну систему GreenPower-Atlas, призначену для оцінювання потенціалу відновлюваних джерел енергії на основі ретроспективних супутникових даних NASA POWER. Система забезпечує збирання, опрацювання, візуалізацію та статистичний аналіз метеорологічних параметрів, оцінювання вітрового і сонячного потенціалу, моделювання гібридних енергетичних комплексів із системами накопичення енергії та аналіз рівня інтеграції ВДЕ в Україні. Проведено верифікацію вихідних даних, досліджено статистичні закономірності розподілу швидкості вітру та запропоновано нові підходи до оцінювання розвитку відновлюваної енергетики на регіональному рівні.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, інформаційно-аналітична система, супутникові дані, NASA POWER, вітрова енергетика, сонячна енергетика, системи накопичення енергії.

Розвиток відновлюваної енергетики потребує використання сучасних інформаційно-аналітичних систем, здатних забезпечувати комплексне оцінювання природно-кліматичного потенціалу територій, моделювання режимів роботи об'єктів генерації та підтримку прийняття рішень щодо їх оптимального розміщення. Особливої актуальності такі системи набувають в умовах активного впровадження цифрових технологій у сфері енергетичного планування [1].

Підтвердженням важливості цього напрямку є запуск у тестовому режимі інформаційної платформи для визначення територій, перспективних для розміщення об'єктів зеленої генерації, про що 5 червня 2026 р. повідомило Міністерство енергетики України. Незважаючи на практичну цінність цієї розробки,

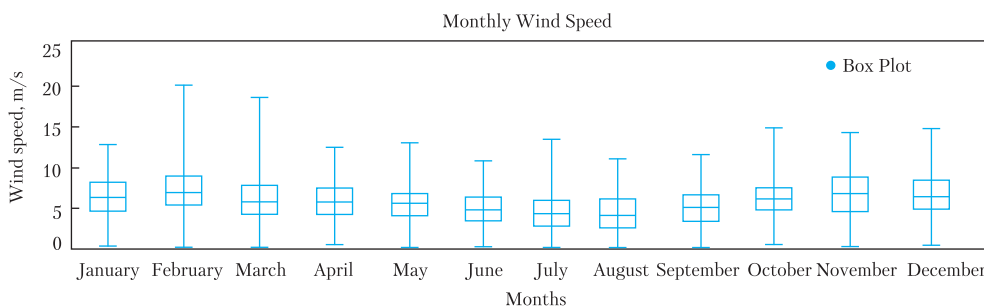


Рис. 1. Приклад реалізації діаграм розмаху в інформаційно-аналітичній системі GreenPowerAtlas

аналіз її функціональних можливостей засвідчив низку обмежень, серед яких — недостатня швидкодія, використання переважно статичних даних, відсутність підтримки систем накопичення енергії, засобів техніко-економічного аналізу та розвинених інструментів опрацювання даних.

Зазначені недоліки зумовили необхідність створення сучасної інформаційно-аналітичної системи, орієнтованої на комплексне оцінювання потенціалу відновлюваних джерел енергії на основі ретроспективних супутникових даних, виконання статистичного аналізу, прогнозування режимів роботи енергетичних об'єктів та моделювання функціонування гібридних енергетичних комплексів [2].

Поштовхом до створення інформаційно-аналітичної системи GreenPowerAtlas* став грант НАН України дослідницьким лабораторіям/групам молодих вчених НАН України на 2024—2025 рр. (0124U002308).

В основу програмного комплексу покладено ретроспективні супутникові дані NASA (проект The POWER). На сьогодні сформовано базу метеорологічних даних обсягом понад 20 ГБ, що містить інформацію за більш як 20 параметрами, зокрема швидкістю вітру, температурою повітря, атмосферним тиском, відносною вологістю, сонячною інсоляцією, рівнем хмарності та іншими характеристиками навколишнього середовища.

Візуалізацію просторово-часових змін метеорологічних параметрів реалізовано із застосуванням програмного комплексу Light-

ningChart, що забезпечує відображення погодинних змін характеристик над територією України та підтримує інтерактивний аналіз отриманих даних.

Для оцінювання достовірності використаних метеорологічних даних проведено їх порівняння з інформацією системи OpenMeteo та фактичними даними, отриманими у співпраці з компанією Scates. Незважаючи на нижчу просторову роздільну здатність, дані NASA продемонстрували вищу відповідність результатам реальних вимірювань, що підтверджує доцільність їх використання для оцінювання потенціалу відновлюваних джерел енергії [3, 4].

У розробленій інформаційно-аналітичній системі GreenPowerAtlas реалізовано низку статистичних модулів, призначених для аналізу метеорологічних даних та оцінювання потенціалу відновлюваних джерел енергії. Одним із таких модулів є інструментарій побудови діаграм розмаху (boxplot), який дає змогу визначати основні статистичні характеристики розподілу швидкості вітру (рис. 1). Розроблений програмний комплекс не обмежується помісячною візуалізацією даних, його можна адаптувати для аналізу інформації з добовою або тижневою часовою роздільною здатністю [5, 6].

Отримані ретроспективні метеорологічні дані було використано для дослідження можливостей прогнозування вітрового потенціалу на основі відомих статистичних розподілів. Для аналізу застосовували дискретизований гамма-розподіл, негативний біноміальний розподіл, дискретизований логнормальний розподіл, розподіл Пуассона та розподіл Вейбулла, які порівнювали з емпіричним розподілом

* GreenPowerAtlas. <http://greenpoweratlas.com/>

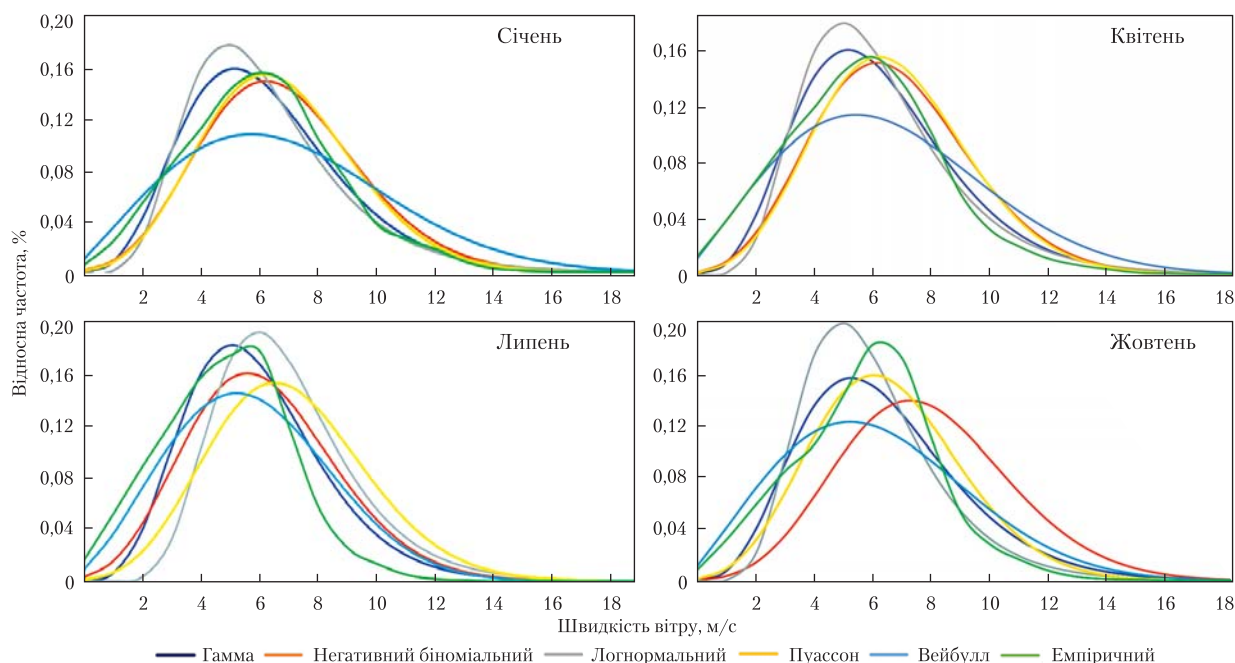


Рис. 2. Порівняння розподілів швидкостей вітру для Черкаської області за період 2021—2024 рр.

швидкості вітру. Для кожної точки спостереження було сформовано усереднені частотні розподіли швидкостей вітру та проведено оцінювання їх відповідності зазначеним статистичним моделям. Як критерії оцінювання було застосовано коефіцієнт детермінації, коефіцієнт кореляції та критерій Фішера. Результати дослідження (на прикладі Черкаської області) показали, що для досліджуваного регіону найкращу апроксимацію емпіричних даних забезпечує дискретизований гамма-розподіл (рис. 2).

Додатково було визначено помісячні медіанні значення швидкостей вітру, а також межі першого і третього квантилів функції густини ймовірності, що дозволило встановити 50 %-й діапазон швидкостей вітру, характерних для регіону протягом понад 20-річного періоду спостережень. Крім того, на основі медіанних значень визначено довгострокові тенденції зміни швидкості вітру в досліджуваному регіоні.

Для оцінювання просторово-часових особливостей вітрового потенціалу проведено повномасштабний аналіз вітрової активності

на території України за період 2005—2024 рр. Дослідження охопило понад 400 точок спостереження, рівномірно розподілених по всіх регіонах України (рис. 3).

За результатами аналізу встановлено регіональні та часові закономірності зміни швидкості вітру, визначено відповідні квантилі статистичного розподілу. Отримані результати можна використовувати для обґрунтування вибору місць розміщення об'єктів відновлюваної енергетики, оцінювання рівня вітрового потенціалу територій, а також під час прийняття інвестиційних рішень фінансовими установами, що забезпечують підтримку проектів у сфері відновлюваної енергетики [7].

У процесі дослідження розроблено спеціалізований модуль інформаційно-аналітичної системи GreenPowerAtlas, призначений для моделювання функціонування гібридних енергетичних комплексів типу «вітрова електростанція — установка зберігання енергії» (ВЕС + УЗЕ) в режимі самодостатньої генерації на основі ретроспективних метеорологічних даних. Модуль забезпечує можливість варіюван-

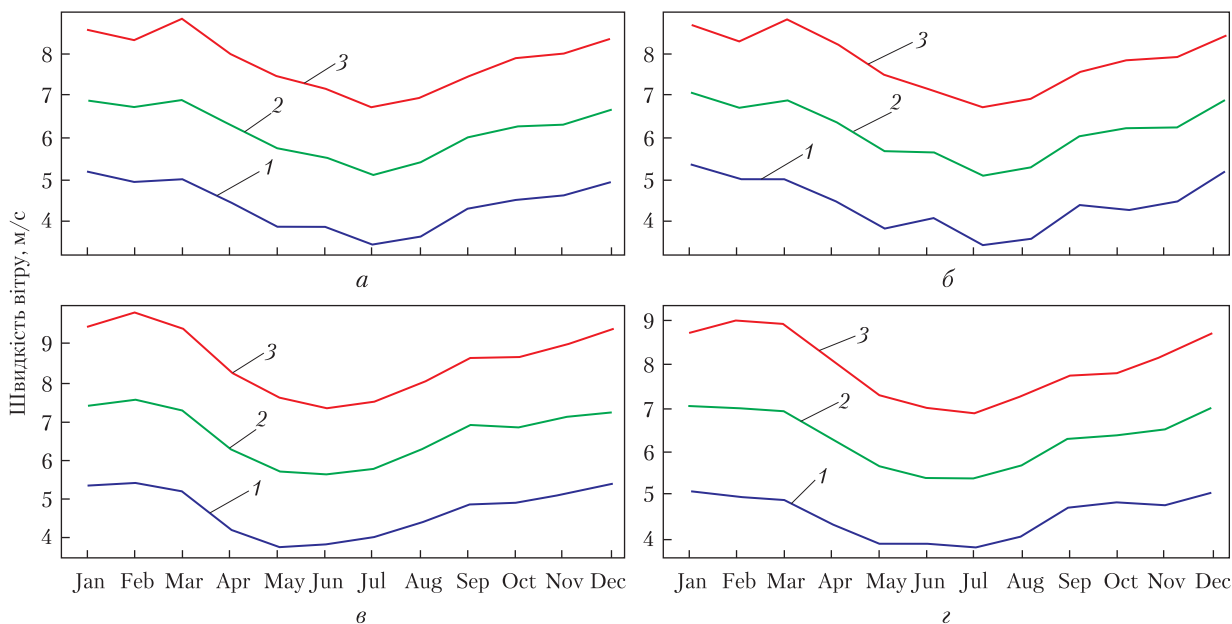


Рис. 3. Результати аналізу вітрової активності на території України на базі ретроспективних супутникових даних за 2005—2024 рр.: 1 — Q1; 2 — медіанний; 3 — Q3; а — Черкаська область; б — Чернігівська область; в — Запорізька область; з — Луганська область

ня координат розташування вітрової турбіни, тривалості періоду дослідження (доба, тиждень або місяць), характеристик вітрової турбіни (номінальної потужності та генераторної функції), параметрів установки зберігання енергії, зокрема її ємності та швидкості заряду/розряду (C-rate), а також заданого рівня вихідної потужності, який необхідно підтримувати протягом моделювання (рис. 4).

Результатом моделювання є часові залежності швидкості вітру, потужності вітрової електростанції, сумарної потужності комплексу ВЕС+УЗЕ, рівня заряду акумуляторної батареї та обсягів невикористаної електроенергії. Крім того, система автоматично визначає кількість годин забезпечення заданого рівня потужності, кількість повних циклів заряду-розряду установки зберігання енергії та сумарний обсяг втраченої електроенергії.

У межах проведених досліджень запропоновано новий показник оцінювання ефективності функціонування гібридних енергетичних комплексів — коефіцієнт забезпечення самодостатньої генерації, який характеризує здат-

ність енергетичного комплексу підтримувати заданий рівень електричної потужності виключно за рахунок власної генерації та використання системи накопичення енергії.

В інформаційно-аналітичній системі GreenPowerAtlas створено комплекс взаємопов'язаних баз даних, який забезпечує інформаційну підтримку досліджень у сфері відновлюваної енергетики. Крім бази ретроспективних метеорологічних параметрів, система містить базу даних об'єктів відновлюваної енергетики України, до якої внесено сонячні електростанції потужністю понад 30 кВт, вітрові електростанції потужністю понад 100 кВт, гідроелектростанції, біогазові установки та установки на біомасі. Сформовано також окрему базу даних промислових вітрових турбін потужністю від 10 кВт до 10 МВт.

Верифікація зазначеної бази даних об'єктів відновлюваної енергетики засвідчила високий рівень її повноти. Загальна встановлена потужність ВДЕ-об'єктів становить 8,4 ГВт, що повністю узгоджується з офіційними даними НКРЕКП та Держенергонагляду без урахування дахових

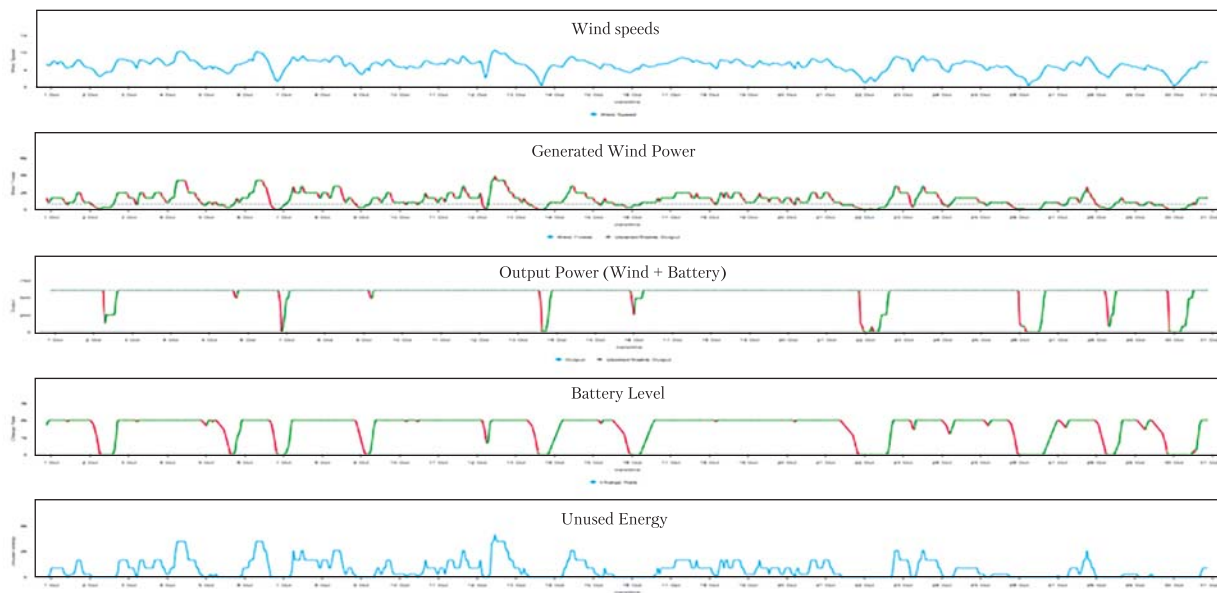


Рис. 4. Робоче середовище спеціалізованого модуля BEC + УЗЕ інформаційно-аналітичної системи GreenPower-Atlas

сонячних електростанцій потужністю до 30 кВт. Отже, сформована база даних є репрезентативною для аналізу структури відновлюваної енергетики України станом на 2021 р.

Сформовану базу даних було використано для оцінювання структури та рівня інтеграції відновлюваних джерел енергії на регіональному рівні. Для комплексної характеристики розвитку ВДЕ запропоновано використовувати систему показників, що містить:

- встановлену потужність ВДЕ-генерації на одну особу (P_{pop} , Вт/ос.):

$$P_{pop} = \frac{P_{RES}}{N},$$

де P_{RES} — встановлена потужність ВДЕ-генерації в регіоні, Вт; N — кількість населення регіону, осіб;

- встановлену потужність ВДЕ-генерації на одиницю площі (P_{area} , кВт/км²):

$$P_{area} = \frac{P_{RES}}{S},$$

де S — площа регіону, км²;

- коефіцієнт диверсифікації ВДЕ (HNI , індекс Герфіндаля—Гіршмана):

$$HNI = \sum_{i=1}^k s_k^2,$$

де s_k — питома частка ВДЕ-генерації (СЕС, ВЕС, ГЕС, біомаса тощо);

- частку ВДЕ у структурі електроспоживання населення регіону (K_{cov} , %):

$$K_{cov} = \frac{E_{RES}}{E_{cons}},$$

де E_{RES} — річна генерація електроенергії об'єктами ВДЕ в регіоні, кВт·год; E_{cons} — річне споживання населенням електроенергії в області, кВт·год.

Через відсутність відкритої статистичної інформації щодо фактичних обсягів виробництва електроенергії об'єктами відновлюваної енергетики та її регіонального споживання запропоновано методичний підхід до визначення відповідних показників шляхом пропорційного розподілу загальнодержавних річних значень по регіонах відповідно до чисельності населення та встановленої потужності ВДЕ.

Проведений аналіз показав, що просторовий розподіл об'єктів відновлюваної енергетики в Україні є нерівномірним (див. табл.).

Найбільші обсяги встановлених потужностей зосереджено в південних та центральних регіонах країни, що зумовлено сприятливими природно-кліматичними умовами, високим рівнем сонячної інсоляції, значним вітровим потенціалом та наявністю достатніх площ для розміщення великих генеруючих комплексів.

Встановлено, що характерною особливістю розвитку сектору відновлюваної енергетики України у 2021 р. була висока технологічна концентрація. У більшості областей домінували сонячні електростанції, що формувало значну залежність регіональної генерації від погодних умов та сезонних змін сонячної активності. Значення індексу Герфіндаля—Гіршмана для більшості регіонів перевищували 0,7, що свідчить про критично високий рівень концентрації у структурі ВДЕ-генерації.

Найбільш диверсифіковану структуру відновлюваної енергетики виявлено у Херсонській, Запорізькій, Полтавській, Харківській та Рівненській областях, для яких значення індексу Герфіндаля—Гіршмана становило 0,51; 0,53; 0,50; 0,47 та 0,36 відповідно. Для зазначених регіонів характерний більш збалансований розвиток різних технологій відновлюваної енергетики, що забезпечує підвищення стійкості регіональної структури генерації.

Аналіз частки відновлюваних джерел енергії у структурі електроспоживання населення регіонів України показав значну територіальну диференціацію цього показника. У 2021 р. його значення змінювалися від 0 до 194 %, що свідчить про істотну нерівномірність розвитку відновлюваної енергетики на регіональному рівні. У деяких областях обсяги виробництва

Нормовані параметри рівня інтеграції ВДЕ в Україні (2021 р.)

Область	Площа, км ²	Населення, тис. осіб	Генерація, млн кВт·год	Споживання, млн кВт·год	P_{pop} , Вт/ос.	P_{area} , кВт/км ²	ННІ	K_{cov} , %
Вінницька	26513	1509,5	2465	1528,7	262	15	0,79	161
Волинська	20144	1021,4	2,7	1034,4	2	0	0,67	0
Дніпропетровська	31974	3096,5	1766,9	3135,8	376	36	0,95	56
Донецька	26517	4059,4	233,8	4110,9	27	4	0,88	6
Житомирська	29832	1179,0	681,8	1194,0	185	7	0,88	57
Закарпатська	12777	1244,5	1605,8	1260,3	229	22	0,84	127
Запорізька	27180	1638,5	1451,6	1659,3	572	35	0,53	87
Івано-Франківська	13928	1351,8	698,5	1369,0	206	20	0,96	51
Київська	28131	1795,1	772	1817,9	185	12	0,79	42
Кіровоградська	24588	903,7	1771	915,2	407	15	0,82	194
Луганська	26684	2102,9	75,5	2129,6	24	2	1	4
Львівська	21833	2478,1	628,8	2509,5	156	18	0,83	25
Миколаївська	24598	1091,8	1946,6	1105,7	1000	44	0,71	176
Одеська	33310	2351,4	1115,3	2381,2	295	21	0,61	47
Полтавська	28748	1352,3	451,3	1369,5	38	2	0,50	33
Рівненська	20047	1141,8	109,7	1156,3	4	0	0,36	9
Сумська	23834	1035,8	131,7	1048,9	12	1	0,78	13
Тернопільська	13823	1021,7	1179,2	1034,7	95	7	0,63	114
Харківська	31415	2599,0	360,2	2632,0	14	1	0,47	14
Херсонська	28461	1001,6	1751,8	1014,3	1151	41	0,51	173
Хмельницька	20645	1228,8	1327,5	1244,4	377	22	0,83	107
Черкаська	20900	1160,7	846,1	1175,4	126	7	0,70	72
Чернівецька	8097	890,5	268,3	901,8	110	12	0,97	30
Чернігівська	31865	959,3	59	971,5	31	1	0,51	6

електроенергії з ВДЕ вже перевищували потреби населення, тоді як в інших регіонах внесок відновлюваної генерації залишався незначним.

Найвищі значення коефіцієнта покриття K_{cov} спостерігалися в Кіровоградській (194 %), Миколаївській (176 %), Херсонській (173 %), Вінницькій (161 %), Закарпатській (127 %), Тернопільській (114 %) та Хмельницькій (107 %) областях. Отримані результати свідчать про формування в цих регіонах профіцитного енергетичного балансу в сегменті побутового електроспоживання та наявність значного потенціалу для подальшого розвитку розподіленої генерації, систем накопичення енергії та міжрегіонального балансування електроенергетичної системи.

Розроблений інформаційно-аналітичний комплекс пройшов практичну апробацію та підтвердив свою ефективність під час виконання науково-прикладних досліджень у сфе-

рі відновлюваної енергетики. На програмний комплекс отримано свідоцтво про реєстрацію авторського права на комп'ютерну програму (свідоцтво № 136822), що свідчить про його новизну та завершеність як програмного продукту [8].

Практична цінність розробленої системи підтверджується також її використанням Українською вітроенергетичною асоціацією під час підготовки щорічного огляду вітроенергетичного сектору України, науковий супровід якого протягом двох років (2024—2025 рр.) забезпечував Інститут загальної енергетики НАН України. Крім того, програмний комплекс GreenPowerAtlas отримав позитивну оцінку Державної інспекції енергетичного нагляду України, що підтверджує перспективність його застосування для інформаційно-аналітичної підтримки розвитку відновлюваної енергетики.

REFERENCES

[СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ]

1. Kostenko G.P., Zaporozhets A.O., Zaporozhets N.V., Verpeta V.O. Aspects of integrating renewable distributed generation into the energy supply system of Ukraine. *The Problems of Economy*. 2024. 2(60): 83—93. <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2024-2-83-93>
2. Verpeta V.O., Zaporozhets A.O. Advantages of wind speed forecasting based on hybrid approaches. In: *XLII Scientific and Technical Conference of Young Scientists and Specialists of the G.E. Pukhov Institute for Modelling in Energy Engineering of the NAS of Ukraine* (May 15, 2024, Kyiv). P. 27—28.
[Верпета В.О., Запорожець А.О. Переваги прогнозування швидкості вітру на основі гібридних підходів. У кн.: *XLII науково-технічна конференція молодих вчених та спеціалістів Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України* (15 травня 2024 р., м. Київ). С. 27—28.]
3. Verpeta V. Correlation analysis of parameters of climate geoinformation systems for renewable energy. *System Research in Energy*. 2025. 2(82): 91—100. <https://doi.org/10.15407/srenergy2025.02.091>
4. Verpeta V.O., Zaporozhets A.O. NASA POWER and OPEN-METEO capabilities for forecasting electricity generation by solar and wind power plants in Ukraine. In: *Energy Management — Status and Development Prospects: Proc. Conf. PEMS'2024* (November 26—27, 2024, Kyiv). P. 47—49.
[Верпета В.О., Запорожець А.О. Можливості NASA POWER та OPEN-METEO для прогнозування генерації електроенергії сонячними та вітровими електростанціями в Україні. В кн.: *Енергетичний менеджмент — стан та перспективи розвитку: збірник матеріалів конференції PEMS'2024* (26—27 листопада 2024 р., Київ). С. 47—49.]
5. Zaporozhets A., Babak V., Zvaritch V., Kovtun S., Gyzhko Y., Khaidurov V., Verpeta V. Integration of physical and probabilistic measures in stochastic measurements of manufacturing processes. *Metrology*. 2026. 6(2): 37. <https://doi.org/10.3390/metrology6020037>
6. Verpeta V.O., Zaporozhets A.O. Adaptive wind potential forecast algorithms to increase wind farm efficiency. In: *XLIII Scientific and Technical Conference of Young Scientists and Specialists of the G.E. Pukhov Institute for Modelling in Energy Engineering of the NAS of Ukraine* (May 14, 2025, Kyiv). P. 84—86.

- [Верпета В.О., Запорожець А.О. Адаптивні алгоритми прогнозу вітрового потенціалу для підвищення ефективності ВЕС. У кн.: *XLIII науково-технічна конференція молодих вчених та спеціалістів Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України* (14 травня 2025 р., м. Київ). С. 84—86.]
7. Zaporozhets A., Yeremenko V., Shcherban A., Verpeta V. Analysis of wind speed forecasting methods to improve the efficiency of wind power plants. *Power Engineering: Economics, Technique, Ecology*. 2025. (2): 112—123. <https://doi.org/10.20535/1813-5420.2.2025.327376>
 - [Запорожець А.О., Єременко В.С., Щербань А.П., Верпета В.О. Аналіз методів прогнозування швидкості вітру для підвищення ефективності функціонування вітрових електростанцій. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2025. № 2. С. 112—123.]
 8. Verpeta V., Zaporozhets A. A Scalable web-based tool for wind and solar energy potential assessment and generation forecasting. *Measuring Technology and Metrology*. 2025. **86**(4): 7—13. <https://doi.org/10.23939/istcmtm2025.04.007>

Artur O. Zaporozhets

General Energy Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0704-4116>

INFORMATION AND ANALYTICAL SYSTEM FOR ASSESSING THE RENEWABLE ENERGY POTENTIAL BASED ON RETROSPECTIVE SATELLITE DATA

According to the materials of report at the meeting of the Presidium of the NAS of Ukraine, July 8, 2026

The paper presents the GreenPowerAtlas information and analytical system for assessing renewable energy potential using retrospective satellite data from the NASA POWER project. The system provides data acquisition, visualization, statistical analysis of meteorological parameters, assessment of wind and solar resources, simulation of hybrid renewable energy systems with energy storage, and evaluation of renewable energy integration in Ukraine. Satellite data were validated, wind speed statistical distributions were analysed, and new approaches for regional assessment of renewable energy development were proposed.

Keywords: renewable energy sources, information and analytical system, satellite data, NASA POWER, wind energy, solar energy, energy storage systems.

Cite this article: Zaporozhets A.O. Information and analytical system for assessing the renewable energy potential based on retrospective satellite data (according to the materials of report at the meeting of the Presidium of the NAS of Ukraine, July 8, 2026). *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2026. (9): 73—80. <https://doi.org/10.15407/visn2026.09.073>