

## ВІДНОВЛЮВАЛЬНА ЕНЕРГЕТИКА ЯК ВІДПОВІДЬ НА ВИКЛИКИ БЛЕК-АУТІВ У СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ УКРАЇНИ: ТЕХНІЧНІ, ЕКОНОМІЧНІ ТА ОРГАНІЗАЦІЙНІ АСПЕКТИ

**Садовий О.С.**, канд. техн. наук, доцент  
*Миколаївський національний аграрний університет*  
<https://orcid.org/0000-0002-7369-0714>

**Анотація:** У тезах розглянуто проблему енергозабезпечення аграрного сектору України в умовах систематичних блек-аутів. Проаналізовано техніко-економічну ефективність фотоелектричних систем, вітрової та біомасової енергетики. Обґрунтовано роль штучного інтелекту та ІоТ-технологій в оптимізації енергорозподілу й автоматизації зрошення. Сформульовано рекомендації щодо державної підтримки та регуляторного забезпечення енергетичного переходу в АПК.

**Ключові слова:** відновлювані джерела енергії; фотоелектричні системи; блек-аут; зрошення; штучний інтелект; енергетична незалежність.

Сільське господарство України є однією з найбільш енергоємних галузей, що безпосередньо залежить від надійного електропостачання. Зрошення, механізована обробка ґрунту, зберігання та переробка врожаю потребують безперервного доступу до електроенергії. Водночас з 2022 р. Україна перебуває в умовах систематичних ударів по об'єктах енергетичної інфраструктури. У жовтні–листопаді 2022 р. кількість відключень в окремих регіонах сягала 12 разів на місяць [1]. Зупинка Запорізької АЕС, руйнування Каховської ГЕС, дефіцит вугілля та нестача палива для генераторів –усе це сформувало комплекс викликів, у відповідь на які відновлювальна енергетика постає як ключовий шлях до забезпечення стійкості агровиробництва. Концепція децентралізованого енергетичного суспільства на базі ВДЕ передбачає, що кожне господарство стає одночасно виробником і споживачем енергії, а мікромережі забезпечують взаємодопомогу між сусідніми фермами [2].

Серед альтернативних джерел для потреб агровиробництва особливої уваги заслуговують фотоелектричні (ФЕ) системи. Вартість електроенергії ФЕ-систем становить 0,05–0,12 дол. США/кВт·год –значно нижче, ніж 0,20–0,35 дол. США/кВт·год для дизельних генераторів і 0,10–0,30 дол. США/кВт·год для централізованого постачання [3]. Термін окупності у зрошуваному землеробстві –5–8 років при операційних витратах 300–500 дол. США/рік (для 30 кВт системи), тоді як дизельний генератор аналогічної потужності потребує 5 000–10 000 дол. США/рік. ФЕ-системи у поєднанні з інтелектуальними насосами скорочують енергоспоживання зрошувальних установок на 20–30 % та знижують викиди CO<sub>2</sub> на 60–80 % [4]. Двосторонні (bifacial) панелі збільшують вихід електроенергії на 10–20 % завдяки використанню відбитого випромінювання [3]. Agrivoltaic-системи поєднують вирощування культур і

генерацію на одній площі: оптимальне розміщення панелей над посівами зменшує перегрів ґрунту і втрати вологи без суттєвого зниження врожайності [5].

Вітрова енергетика є стратегічно важливим доповненням до сонячної. Найкращий вітроенергетичний потенціал зосереджений у Західній Україні (Львівська, Волинська, Тернопільська обл.) та вздовж Чорноморського узбережжя (Одеська, Миколаївська обл.) [1]. Нові технологічні рішення – ротори більшого діаметру, алгоритми автоматичного орієнтування лопастей, підвищення висоти веж – суттєво підвищили питому потужність і знизили вартість генерації [6]. Біомасова енергетика дозволяє виробляти біогаз з сільськогосподарських відходів – соломи, гною, рослинних залишків – через анаеробне зброджування [7]. Принципова перевага біогазу: можливість накопичення і транспортування газовими мережами незалежно від погодних умов. Дигестат – залишок після зброджування – є першокласним органічним добривом, що замикає цикл поживних речовин і робить систему кращою за вуглецево-нейтральну [8]. Гібридні системи «сонце + вітер + біогаз» забезпечують економію до 80–90 % енергоресурсів при терміні окупності 8–12 років.

Впровадження ВДЕ в агровиробництво вимагає інтелектуальних систем управління. Рекурентні нейронні мережі (LSTM, GRU) ефективно прогнозують часові ряди споживання, а алгоритми підкріпленого навчання дозволяють динамічно балансувати потоки між генераторами, акумуляторами і споживачами, досягаючи на 20 % кращого використання енергоресурсів [9]. IoT-сенсорика та штучний інтелект для автоматизації зрошення скорочують енергоспоживання на 70–85 % і витрати на воду до 60 % при терміні окупності 4–7 років [4]. Блокчейн-технології для децентралізованого розподілу енергоресурсів між учасниками мікромережі забезпечують прозорість транзакцій і захист від маніпуляцій з даними [10].

Ключовим бар'єром залишаються значні початкові капіталовкладення. У країнах ЄС компенсується до 75 % витрат на ФЕ-системи через Європейський сільськогосподарський фонд розвитку сільських територій; програма REAP (США) покриває до 50 % витрат; програма «Золоте Сонце» (Китай) – до 60 % [3]. Механізм нетто-лічильника, пільгові кредити та субсидії доведено скорочують термін окупності і розширюють коло потенційних інвесторів серед аграріїв [4]. Реалізація потенціалу ВДЕ потребує: спрощення дозвільних процедур підключення до мереж; запровадження спеціальних тарифів для генерації ВДЕ під час аварійних відключень; розвитку публічно-приватного партнерства для будівництва сонячних електростанцій на насосних зрошувальних спорудах. Сукупний ефект – зниження вуглецевого сліду агровиробництва на 60–80 %, підвищення продовольчої безпеки та формування стійкої децентралізованої енергетичної інфраструктури сільських територій.

#### Список використаних джерел

1. Prasad A. Ukrenergo, together with oblenergos and local authorities, plan to make convenient schedules of power outages. Forbes Ukraine, 2022. URL:

<https://forbes.ua/ru/news/ukrenergo-razom-z-oblenego-i-mistsevimi-organami-vladi-planue-zrobity-zruchni-grafiki-vidklyuchen-elektroenergii-26102022-9300>.

2. Kalda G. S., Sokolan Y. S., Rybalka K. A., Borichko K. Prospects for the development of alternative energy in Ukraine. *Ukrainian Journal of Life and Architecture*. 2023. Vol. 2(14). P. 48–54.

3. Sadovoy O., Hruban V., Fedorchuk M., Fedorchuk V. Economic efficiency of solar panel implementation in irrigated agriculture. *Scientific Bulletin of Mukachevo State University. Series Economics*. 2025. Vol. 12(2). P. 147–162. DOI: 10.52566/msu-econ2.2025.147.

4. Havrysh V., Hruban V., Sadovoy O., Batsurovska I., Fedorchuk V., Yablunovskaya K. Energy saving technologies for automatic move irrigation equipment. Proceedings of IEEE Problems of Automated Electrodrive. *Theory and Practice (PAEP)*. Kremenchuk: IEEE, 2020. DOI: 10.1109/PAEP49887.2020.9240881.

5. Trommsdorff M., Hopf M., Hörnle O., Berwind M., Schindele S., Wydra K. Can synergies in agriculture through an integration of solar energy reduce the cost of agrivoltaics? *Applied Energy*. 2023. Vol. 350. Article 121619. DOI: 10.1016/j.apenergy.2023.121619.

6. Razmjoo A., Kaigutha L. G., Rad M. V., Marzband M., Davarpanah A., Denai M. A technical analysis investigating energy sustainability utilizing reliable renewable energy sources to reduce CO<sub>2</sub> emissions in a high potential area. *Renewable Energy*. 2021. Vol. 164. P. 46–57. DOI: 10.1016/j.renene.2020.09.042.

7. Panwar N. L., Kaushik S. C., Kothari S. Role of renewable energy sources in environmental protection: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011. Vol. 15(3). P. 1513–1524. DOI: 10.1016/j.rser.2010.11.037.

8. Raslavičius L., Grzybek A., Dubrovin V. Bioenergy in Ukraine – Possibilities of rural development and opportunities for local communities. *Energy Policy*. 2011. Vol. 39(6). P. 3370–3379. DOI: 10.1016/j.enpol.2011.03.032.

9. Ahmad N., Ghadi Y., Adnan M., Ali M. Load forecasting techniques for power system: Research challenges and survey. *IEEE Access*. 2022. Vol. 10. P. 71054–71090. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3187839.

10. Khan A. A., Laghari A. A., Rashid M., Li H., Javed A. R., Gadekallu T. R. Artificial intelligence and blockchain technology for secure smart grid and power distribution automation. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2023. Vol. 57. Article 103282. DOI: 10.1016/j.seta.2023.103282.

**Abstract:** The theses examine the problem of energy supply to Ukraine's agricultural sector amid systematic blackouts. The technical and economic efficiency of photovoltaic systems, wind and biomass energy is analysed. The role of artificial intelligence and IoT technologies in optimising energy distribution and irrigation automation is substantiated. Recommendations on state support and regulatory framework for the energy transition in the agro-industrial complex are formulated.

**Keywords:** renewable energy sources; photovoltaic systems; blackout; irrigation; artificial intelligence; energy independence.