

ЗМЕНШЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ ЗРОШУВАНОВОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Олексій Садовий

канд. техн. наук, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

Миколаївський національний аграрний університет

м. Миколаїв, Україна

Анотація: У статті систематизовано результати економічного аналізу впровадження фотогальванічних (PV) систем для забезпечення енергопостачання зрошуваних аграрних підприємств. Показано, що використання сонячних електростанцій для живлення насосних станцій дає змогу знизити питомі витрати на електроенергію до 0,05–0,12 дол. США/кВт·год порівняно з 0,20–0,35 дол. США/кВт·год для дизельних генераторів і 0,10–0,30 дол. США/кВт·год при централізованому електропостачанні. Встановлено, що середній період окупності PV-систем у зрошуваному землеробстві становить 5–8 років, тоді як експлуатація дизельних агрегатів у довгостроковій перспективі є економічно невиправданою через значні поточні витрати. Обґрунтовано, що поєднання сучасних PV-установок з енергоощадними насосами та інтелектуальними системами керування дає змогу скоротити енерговитрати зрошувальних комплексів на 20–30 % і зменшити викиди CO₂ на 60–80 % порівняно з традиційними джерелами енергії. На підставі порівняльного аналізу вартості різних варіантів енергозабезпечення сформульовано рекомендації щодо оптимізації інвестицій та використання інструментів державної підтримки для прискорення впровадження сонячної енергетики у зрошуваному землеробстві.

Ключові слова: відновлювана енергетика; фотогальванічні системи; зрошуване землеробство; енергоефективність; окупність інвестицій; енергетична самодостатність.

Зростання вартості традиційних енергоносіїв і нестабільність тарифів в умовах енергетичної кризи загострюють проблему енергетичної незалежності аграрного сектору. Особливо це стосується зрошуваного землеробства, де витрати на роботу насосних станцій формують суттєву частку собівартості продукції. За таких умов інтеграція фотогальванічних систем у структуру енергопостачання зрошувальних комплексів розглядається як один з ключових інструментів зниження витрат на електроенергію, підвищення автономності господарств та зменшення негативного впливу на довкілля.

Метою дослідження є всебічна техніко-економічна оцінка доцільності впровадження PV-систем у зрошуваному землеробстві з урахуванням енергетичних, фінансових та екологічних результатів, а також аналіз впливу фінансово-регуляторних механізмів підтримки «зеленої» генерації. Для досягнення поставленої мети використано економічне зіставлення варіантів

енергопостачання (централізоване електроживлення, дизельні генератори, PV-системи), проведено порівняльний аналіз структури капітальних і експлуатаційних витрат, а також техніко-економічне моделювання схем живлення насосних станцій з урахуванням рівня інсоляції, встановленої потужності панелей, необхідності в системах накопичення енергії та режимів роботи зрошувальних установок.

Дослідження характеристик насосного обладнання показало значну варіативність питомих енерговитрат залежно від типу системи зрошення: для поверхневих відцентрових насосів вони становлять у середньому 0,5–5,0 кВт·год/м³, для глибинних свердловинних насосів – до 10 кВт·год/м³, тоді як краплинне зрошення завдяки використанню низьконапірних насосів є найменш енергоємним. Це підтверджує, що коректний вибір типу насоса та технології подачі води є базовою умовою зменшення енергоспоживання й підвищення ефективності застосування PV-систем у зрошувальному землеробстві.

Порівняльний економічний аналіз варіантів енергозабезпечення зрошувальних систем засвідчив, що централізоване електропостачання потребує значних стартових витрат на приєднання до мережі (5–20 тис. дол. США) і зумовлює залежність від тарифної політики. Дизельні генератори, попри відносно невеликі капітальні витрати (10–20 тис. дол. США), характеризуються високими щорічними експлуатаційними витратами (паливо, технічне обслуговування, ремонти), що робить їх малопривабливими у довгостроковому періоді. Натомість PV-системи потребують більших початкових інвестицій (24–36 тис. дол. США для електростанції потужністю близько 30 кВт), однак завдяки низьким експлуатаційним витратам, які зводяться переважно до обслуговування інверторів і панелей, забезпечують середній строк окупності близько 6–7 років і стабільне зниження собівартості електроенергії до 0,05–0,12 дол. США/кВт·год.

У роботі уточнено показники економічної результативності інноваційних технічних рішень для енергозабезпечення зрошення. Встановлено, що базові наземні PV-системи на зрошуваних площах потребують 1,2–2,5 тис. дол. США/га інвестицій і забезпечують скорочення енерговитрат на 40–60 % та зменшення витрат на водопостачання на 20–35 % при строку окупності 5–8 років. Застосування біфасіальних монокристалічних панелей, хоч і підвищує початкові витрати до 1,5–3,0 тис. дол. США/га, завдяки використанню прямої та відбитої сонячної радіації дозволяє знизити приведену вартість електроенергії до 0,0158–0,030 дол. США/кВт·год і збільшити виробіток електроенергії на 10–20 %. Перспективним напрямом є також розміщення плаваючих PV-систем на поверхні водних дзеркал зрошувальних резервуарів, що поєднує генерацію електроенергії, зменшення випаровування води та покращення температурного режиму роботи панелей.

Показано, що найвищий інтегральний ефект досягається при сумісному застосуванні PV-систем, цифрових платформ керування енергоспоживанням та автоматизованих систем поливу, побудованих на основі IoT-технологій і моделей штучного інтелекту. Використання сенсорів вологості ґрунту, температури й метеоданих, хмарних сервісів зберігання й обробки інформації та прогнозних моделей водоспоживання дає змогу зменшити енерговитрати на 70–

85 % і витрати на водопостачання на 40–60 % порівняно з традиційними режимами керування, скорочуючи строк окупності таких систем до 4–7 років.

Результати фінансово-регуляторного аналізу підтверджують визначальну роль державної та міжнародної підтримки у прискоренні впровадження сонячної енергетики в аграрному секторі. Європейські програми, зокрема Європейський сільськогосподарський фонд розвитку сільських територій, можуть компенсувати до 75 % капітальних витрат на встановлення PV-систем у сільському господарстві; програма Rural Energy for America у США – до 50 %, а в Китаї функціонує система субсидій і податкових стимулів із компенсацією до 60 % вартості проєктів. Національні інструменти «зеленого» тарифу, Net Metering, пільгового кредитування та «зелених» облігацій здатні істотно скоротити строк окупності PV-установок для зрошуваного землеробства за умови спрощення процедур приєднання до мережі та зменшення адміністративних бар'єрів.

Зроблено висновок, що застосування PV-систем для живлення зрошувальних комплексів є економічно обґрунтованим і екологічно доцільним за наявності достатньої інсоляції, раціонального вибору насосного обладнання та впровадження інтелектуальних систем керування енергоспоживанням. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розробку моделей довгострокового прогнозування генерації та споживання електроенергії в інтегрованих системах «сонячна електростанція – насосна станція – зрошувальний комплекс» з урахуванням кліматичних змін, а також на оцінювання надійності та деградації PV-панелей у регіонах з високим рівнем інсоляції та вираженою сезонністю водоспоживання.

Список використаних джерел

1. Sadovoy O., Hruban V., Fedorchuk M., Fedorchuk V. Economic efficiency of solar panel implementation in irrigated agriculture: Cost assessment, comparative cost analysis and economic justification / O. Sadovoy, V. Hruban, M. Fedorchuk, V. Fedorchuk // *Scientific Bulletin of Mukachevo State University. Series «Economics»*. – 2025. – Vol. 12, No. 2. – P. 147–162. – doi: 10.52566/msu-econ2.2025.147.
2. International Renewable Energy Agency. Renewable Power Generation Costs in 2023. – Abu Dhabi: IRENA, 2024. – 124 p.
3. International Energy Agency. World Energy Outlook 2024. – Paris: IEA, 2024. – 476 p.
4. Kalinichenko A., Havrysh V. Feasibility study of biogas project development: Technology maturity, feedstock, and utilization pathway / A. Kalinichenko, V. Havrysh // *Archives of Environmental Protection*. – 2019. – Vol. 45, No. 1. – P. 68–83. – doi: 10.24425/aep.2019.126423.
5. Calculation of optimal geometric parameters electrical apparatus for controlling the irrigation system / O. Sadovoy et al. 2023 *IEEE 5th international conference on modern electrical and energy system (MEES)*, Kremenchuk, Ukraine, 27–30 September 2023. URL: <https://doi.org/10.1109/mees61502.2023.10402456>.
6. Electricity generation from biogas: Modern technologies and prospects for Ukraine's energy independence / O. Sadovoy et al. *Machinery and energetics*. 2025. Vol. 16, no. 1. P. 173–185. URL: <https://doi.org/10.31548/machinery/1.2025.173>

Abstract. The thesis presents a concise economic assessment of photovoltaic (PV) systems for powering irrigation facilities in agriculture. The study compares centralised grid supply, diesel generators and PV systems in terms of capital expenditure, operating costs, electricity price and payback period. The results show that PV systems can reduce electricity costs for pumping stations to 0.05–0.12 USD/kWh, while diesel generation and grid supply typically range from 0.20–0.35 and 0.10–0.30 USD/kWh, respectively, with an average payback period of 5–8 years for PV installations. The integration of modern PV plants with energy-efficient pumps and automated control based on IoT and AI models allows a 20–30 % reduction in energy consumption and a 60–80 % decrease in CO₂ emissions compared to conventional energy sources. The paper highlights the importance of public financial support, Net Metering and concessional loans for accelerating PV deployment in irrigated agriculture and formulates practical recommendations for optimising investment decisions and energy management in irrigation systems.

Keywords: renewable energy sources; photovoltaic systems; irrigated agriculture; energy efficiency; payback period; energy independence.