

**Олійніченко Максим Юрійович**, PhD-студент, +38(098)458-20-12, oliynichenko@kdu.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-6651-0175

*Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
вул. Університетська, 20, м. Кременчук, 39600*

**Бялобржеський Олексій Володимирович**, к.т.н., доцент, кафедра електротехніки, +38(096)252-57-17, bialobrzieski@ukr.net: ORCID ID: 0000-0003-1669-4580

*Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
вул. Університетська, 20, м. Кременчук, 39600*

**Тодоров Олег Володимирович**, PhD, кафедра електротехніки, +38(066)206-64-61, olehtodorov@gmail.com: ORCID ID: 0000-0001-5703-6790

*с*

*вул. Університетська, 20, м. Кременчук, 39600*

**Шокарьов Дмитро Анатолійович**, доцент кафедри «Електричні станції», +38(096)596-98-55, dmytro.shokarov@khpri.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-7038-3172

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»  
вул. Кирпичова, 2, м. Харків, 61002*

## ЕКОНОМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ МІКРОМЕРЕЖІ З АЛЬТЕРНАТИВНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

***Анотація.** Надійність електропостачання та економічна ефективність сучасних мікромереж, що поєднують відновлювані джерела енергії з традиційними джерелами генерації, залишаються одними з ключових викликів, особливо для сільськогосподарських підприємств із чутливими технологічними процесами. Значний вплив на ефективність функціонування таких систем має нестабільність генерації відновлюваних джерел енергії, зумовлена змінністю метеорологічних умов, що призводить до дисбалансу між виробництвом і споживанням електроенергії. Це обумовлює необхідність інтеграції додаткових компонентів, таких як системи збереження енергії та дизель-генераторні установки, що, у свою чергу, впливає на фінансові витрати. У даній роботі досліджено економічну доцільність гібридної мікромережі для енергозабезпечення сільськогосподарського об'єкта, яка включає сонячну електростанцію, вітроенергетичну установку, систему збереження енергії та дизель-генераторну установку. Виконано розрахунки обсягів виробітку електроенергії, капітальних і експлуатаційних витрат, а також показників економічної ефективності для кожного елемента системи. Отримані результати показали, що сонячні та вітрові електростанції забезпечують найвищу економічну ефективність за рахунок значної річної економії та коротких строків окупності. Водночас система збереження енергії підвищує гнучкість і надійність роботи мікромережі, хоча характеризується більшими капітальними витратами та тривалішим терміном окупності. Використання дизель-генераторної установки є економічно обґрунтованим як резервного джерела, що дозволяє уникнути значних фінансових втрат у разі перебоїв електропостачання, якщо останнє критично важливе для господарства.*

*Ключові слова:* витрати, економічний ефект, експлуатація, мікромережа

**Oliynichenko Maxim**, PhD-student, +38(098)458-20-12, oliynichenko@kdu.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-6651-0175

*Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University  
20 University st., Kremenchug, 39600*

**Bialobrzheskyi Oleksii**, Ph.D., Associate Professor, Electrical Engineering Department, +38(096)252-57-17, bialobrzheski@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-1669-4580

*Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University  
20 University st., Kremenchug, 39600*

**Todorov Oleg**, PhD, +38(066)206-64-61, olehtodorov@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5703-6790

*Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University  
20 University st., Kremenchug, 39600*

**Shokarov Dmytro**, Associate Professor of the Department of «Power Plants», +38(096)596-98-55, dmytro.shokarov@khpi.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-7038-3172

*National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»  
2 Kirpychova st., Kharkiv, Ukraine, 61002*

## **ECONOMIC FEATURES OF THE ORGANIZATION AND OPERATION OF A MICROGRID WITH RENEWABLE ENERGY SOURCES**

**Abstract.** *The reliability of power supply and the economic efficiency of modern microgrids that combine renewable energy sources with conventional generation remain among the key challenges, especially for agricultural enterprises with sensitive technological processes. The performance of such systems is significantly affected by the variability of renewable energy generation caused by changing meteorological conditions, which leads to an imbalance between electricity production and consumption. This necessitates the integration of additional components, such as energy storage systems and diesel generator units, which in turn impacts financial costs. This paper investigates the economic feasibility of a hybrid microgrid for supplying power to an agricultural facility, including a solar power plant, a wind energy installation, an energy storage system, and a diesel generator unit. Calculations of electricity generation, capital and operating costs, as well as economic performance indicators for each system component were carried out. The obtained results show that solar and wind power plants provide the highest economic efficiency due to significant annual savings and short payback periods. At the same time, the energy storage system increases the flexibility and reliability of the microgrid operation, although it is characterized by higher capital costs and a longer payback period. The use of a diesel generator unit is economically justified as a backup source, allowing the avoidance of significant financial losses in the event of power supply interruptions.*

**Keywords:** *costs, economic effect, operation, microgrid.*

**Постановка проблеми.** У сучасних умовах глобальної енергетичної трансформації мікромережі відіграють важливу роль як елемент стійких,

ефективних та незалежних енергетичних систем. Під мікромережею розуміють [1] локальну енергетичну систему, яка включає взаємопов'язані генератори, енергозберігаючі пристрої, елементи зберігання та навантаження, здатна працювати як у паралельному режимі з основною мережею, так і автономно – в ізольованому «острівному» режимі. Така здатність створює можливості для підвищення надійності та безпеки енергозабезпечення окремих споживачів або локальних спільнот, зменшуючи втрати при передачі та розподілі електроенергії. Особливо актуальним є впровадження мікромереж на основі альтернативних джерел енергії – сонячних фотоелектричних модулів, вітрогенераторів, та систем збереження енергії. Ці джерела сприяють скороченню залежності від викопних видів палива та підвищенню енергетичної незалежності окремих регіонів і підприємств [2].

Технічна організація мікромереж передбачає оптимальне поєднання різних джерел енергії, систем зберігання та управління потоками електроенергії із забезпеченням стабільності та якості електропостачання. Для цього необхідно впроваджувати сучасні технології контролю, автоматичного регулювання та енергоменеджменту, що забезпечують адаптацію до змінних умов виробництва та споживання. Разом із технічними аспектами важливою складовою є економічна ефективність мікромереж. Це включає оцінку інвестиційних витрат на будівництво, експлуатаційних витрат, ефективність розподілу енергії та можливість зниження загальних витрат на електропостачання. У наукових дослідженнях показано, що стратегічне використання альтернативних джерел енергії та систем зберігання дозволяє досягти більшої економічної ефективності в довгостроковій перспективі, зокрема завдяки зниженню витрат на придбання електроенергії з мережі та максимізації використання власної генерації [3]. Важливо також враховувати регуляторні і ринкові механізми, що впливають на моделі фінансування та експлуатації мікромереж, включно з тарифами, ціноутворенням на електроенергію та політиками заохочення використання

альтернативних джерел енергії. Ці чинники можуть істотно коригувати техніко-економічну доцільність впровадження конкретних конфігурацій мікромереж у різних умовах [4].

У контексті України, де енергетична незалежність і безпека набули особливої важливості, мікромережі на основі альтернативних джерел енергії можуть стати ключовим елементом локальної енергетичної стійкості для промислових підприємств, сільських територій чи критичної інфраструктури. Такі мережі дозволяють не лише забезпечувати безперервне електропостачання, але й оптимізувати енергетичні витрати на рівні місцевих систем. Таким чином, аналіз техніко-економічних особливостей організації та експлуатації мікромереж з альтернативними джерелами енергії є важливою складовою сучасних досліджень у сфері енергетики, що поєднує технічну надійність, ефективне використання ресурсів та економічну доцільність.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** В сучасних реаліях, де посилюються вимоги до безперебійного електропостачання, Авторами у статті [5] на основі реальних даних досліджено економічну доцільність використання систем накопичення енергії для зменшення обмеження генерації відновлюваних джерел у мережі. Запропоновано методи оцінювання обсягів невикористаної відновлюваної енергії та визначили необхідні потужності батарей і перетворювачів на основі моделювання режимів роботи систем накопичення. Отримані результати показали, що через значні інвестиційні витрати, низький коефіцієнт використання та тривалий період окупності застосування акумуляторних систем наразі поступається дешевшим мережевим рішенням. У роботі [6] досліджено можливість використання малої вітрової турбіни з контролем вимірних значень швидкості вітру та температури у чотирьох різних точках. Проведено оцінку енергетичної щільності та порівняно виробіток енергії горизонтально-осьових і вертикально-осьових вітрових турбін для визначення найбільш ефективного місця встановлення. Результати показали, що найбільш

придатною є локація, де спостерігається найбільша швидкість вітру та енергетична щільність, а вертикально-осьова турбіна забезпечує найбільшу потужність генерації. Аналогічне питання використання вітрової енергії для виробництва електроенергії малої потужності, що може сприяти зменшенню залежності від традиційних енергоресурсів розглядається у роботі [7]. Проведено аналіз виробництва електричної енергії установкою в діапазоні потужностей від 1 Вт до 1,212 кВт з урахуванням реалістичних вітрових умов, обмежених розмірів турбіни та швидкості генератора. Отримані результати показали ефективність перетворення енергії вітру в електроенергію на рівні близько 36–37 %, що свідчить про потенційну економічну доцільність застосування малих вітроенергетичних установок.

Доцільність впровадження мережевої гібридної системи відновлюваної енергетики для забезпечення електроспоживання університетського кампусу досліджено в роботі [8]. За допомогою програмного забезпечення HOMER дослідниками проведено моделювання різних конфігурацій системи сонячних панелей і вітрових турбін та визначено оптимальний варіант за критерієм мінімальної нормованої вартості електроенергії, близької до тарифу електроенергії з мережі. В результаті автори встановили співвідношення потужностей сонячної електростанції та вітрової які покривають фактично половину річного споживання електроенергії експлуатації. В іншій роботі [9] проаналізовано доцільність впровадження мережевої гібридної енергосистеми на основі сонячної, вітрової та біогазової енергії. За результатами моделювання в середовищі HOMER визначено оптимальну конфігурацію системи з приведеною вартістю електроенергії. Показано, що впровадження такої системи дозволяє значно зменшити витрати на електропостачання, підвищити енергетичну незалежність регіону. Доцільність використання гібридної вітро-сонячної енергосистеми для електрифікації віддаленого села проаналізовано авторами роботи [10]. За допомогою програмного забезпечення HOMER виконано моделювання роботи системи на

основі даних сонячної радіації та швидкості вітру, що дозволило визначити оптимальну конфігурацію енергосистеми. Результати свідчать про економічну доцільність впровадження такої системи для електропостачання віддалених територій.

Авторами у статті [11] проведено техніко-економічний аналіз гібридної енергосистеми на основі сонячних фотоелектричних панелей та малої вітрової турбіни. За допомогою програмного забезпечення HOMER змодельовано декілька варіантів комбінованої енергосистеми. Фінансова ефективність систем оцінена за допомогою показників внутрішньої норми прибутковості та терміну окупності. Результати показали, що всі розглянуті варіанти гібридної системи є економічно доцільними, забезпечують скорочення витрат на електроенергію та зменшують викиди порівняно з дизельною або мережевою генерацією. А в роботах [12] та [13] досліджено доцільність використання гібридної вітро-сонячної енергосистеми для електропостачання побутових споживачів. На основі 22-річних метеорологічних даних NASA та моделювання в програмі HOMER визначено оптимальні конфігурації систем для мережевого та автономного режимів роботи. Економічна оцінка виконана за показниками приведеної вартості системи та вартості електроенергії.

Більш розширені дослідження проведені в роботах [14, 15], де виконано енергетично-економічну оцінку автономної мікромережі з використанням вітрової турбіни, фотоелектричних панелей, газифікатора біомаси, акумуляторної батареї та водневої системи зберігання енергії. Основна увага приділяється аналізу економічної доцільності впровадження таких систем для забезпечення електропостачання туристичного об'єкта в різних географічних умовах. Показано, що навіть за високих початкових інвестицій можливо досягти прийнятних строків окупності за рахунок зменшення витрат на паливо та електроенергію ззовні. Недоліком роботи є значна залежність фінансових показників від локальних тарифів на енергоресурси та вартості обладнання, що обмежує універсальність

отриманих результатів. Крім того, використання надлишкової генерації призводить до неефективного використання вкладених коштів, що негативно впливає на загальну економічну ефективність системи. Авторами роботи [16] проведено порівняльний техніко-економічний аналіз кількох гібридних конфігурацій відновлюваних енергетичних систем. Основна увага зосереджена на мінімізації приведеної вартості системи та скороченні витрат на паливо при забезпеченні надійного електропостачання. Результати показують, що гібридна структура може бути економічно вигідною у довгостроковій перспективі. Недоліком є зростання капітальних витрат зі збільшенням кількості джерел генерації та систем накопичення, а також ризик недовикористання обладнання, що негативно впливає на окупність інвестицій. Подібний техніко-економічний аналіз виконано авторами [17] з використанням програмного комплексу HOMER з метою зниження приведених витрат і експлуатаційних затрат. Дослідження демонструє, що інтеграція відновлюваних джерел дозволяє скоротити довгострокові витрати на електроенергію та зменшити залежність від централізованої мережі. Водночас значні капітальні вкладення у фотоелектричні системи та акумулятори, а також залежність економічних показників від тарифів і строку служби обладнання створюють фінансові ризики, особливо на початковому етапі реалізації проєкту. Іншими авторами [18, 32] виконано техніко-економічне обґрунтування мікромережі з фотоелектричними модулями та акумуляторними системами зберігання, орієнтованої на електропостачання сільських районів. Основною метою дослідження є мінімізація приведеної вартості електроенергії та загальних життєвих витрат системи шляхом оптимального вибору потужностей її компонентів. Отримані результати свідчать про потенційну фінансову доцільність запропонованої конфігурації у довгостроковій перспективі. Разом із тим, економічний ефект досягається за рахунок використання складних алгоритмів оптимізації та значних капітальних інвестицій у відновлювані джерела і системи

накопичення, що ускладнює практичне впровадження та підвищує початкові фінансові ризики.

З аналізу наведених наукових праць випливає, що проблематика проектування та експлуатації мікромереж з альтернативними джерелами енергії є актуальною та багатогранною. У роботах дослідників значна увага приділяється вибору конфігурації генеруючих установок, систем накопичення енергії та алгоритмів керування з метою зниження експлуатаційних витрат і підвищення енергетичної ефективності мікромережі. При цьому техніко-економічні аспекти організації мікромереж розглядаються як у мережевому, так і в автономному режимах роботи з урахуванням обмежень надійності, стійкості та якості електроенергії.

**Мета дослідження.** Визначення економічних особливостей організації та експлуатації генеруючих установок мікромережі з альтернативними джерелами енергії, з урахуванням структури генерації, систем накопичення енергії на сумарні приведені витрати.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для досягнення зазначеної мети розглянемо структуру мікромережі яка представлена на рисунку 1 та являє собою електротехнічний комплекс птахофабрики. До складу мережі введені альтернативні джерела енергії: сонячна електростанція, вітроенергетична установка, дизельна генераторна установка та акумуляторна система збереження енергії. Птахофабрика складається з наступних об'єктів: 1) пташник на 36000 кур; 2, 3) пташники на 4160 кур; 4) зерносклад; 5) яйцесклад; 6) офіс; 7) магазин. Основні навантаження птахофабрики із відповідними позначеннями зведені до табл. 1, де ДГС – дизель-генераторна установка; СЗЕ – система збереження енергії; ВЕУ – вітроенергетична установка; СЕС – сонячна електростанція; ЗТП – закрита трансформаторна підстанція.

Таблиця 1 – Зведені потужності об’єктів розташованих на птахофабриці

Шифр	Назва об’єкту	$P_{д}$ , кВт	$\cos\phi$
1	Пташник 36000 кур	120	0,75
2	Пташник 4160 кур	20	0,75
3	Пташник 4160 кур	20	0,75
4	Зерносклад	5	0,7
5	Яйцесклад	10	0,7
6	Офіс	15	0,85
7	Магазин	2	0,85
	Вуличне освітлення	5	0,55
ДГУ	Дизель-генераторна установка	200	0,98
СЗЕ	Системи збереження енергії	200	0,99
ВЕУ	Вітроенергетична установка	150	0,98
СЕС	Сонячна електростанція	200	0,99
ЗТП	Закрита трансформаторна підстанція	250	-

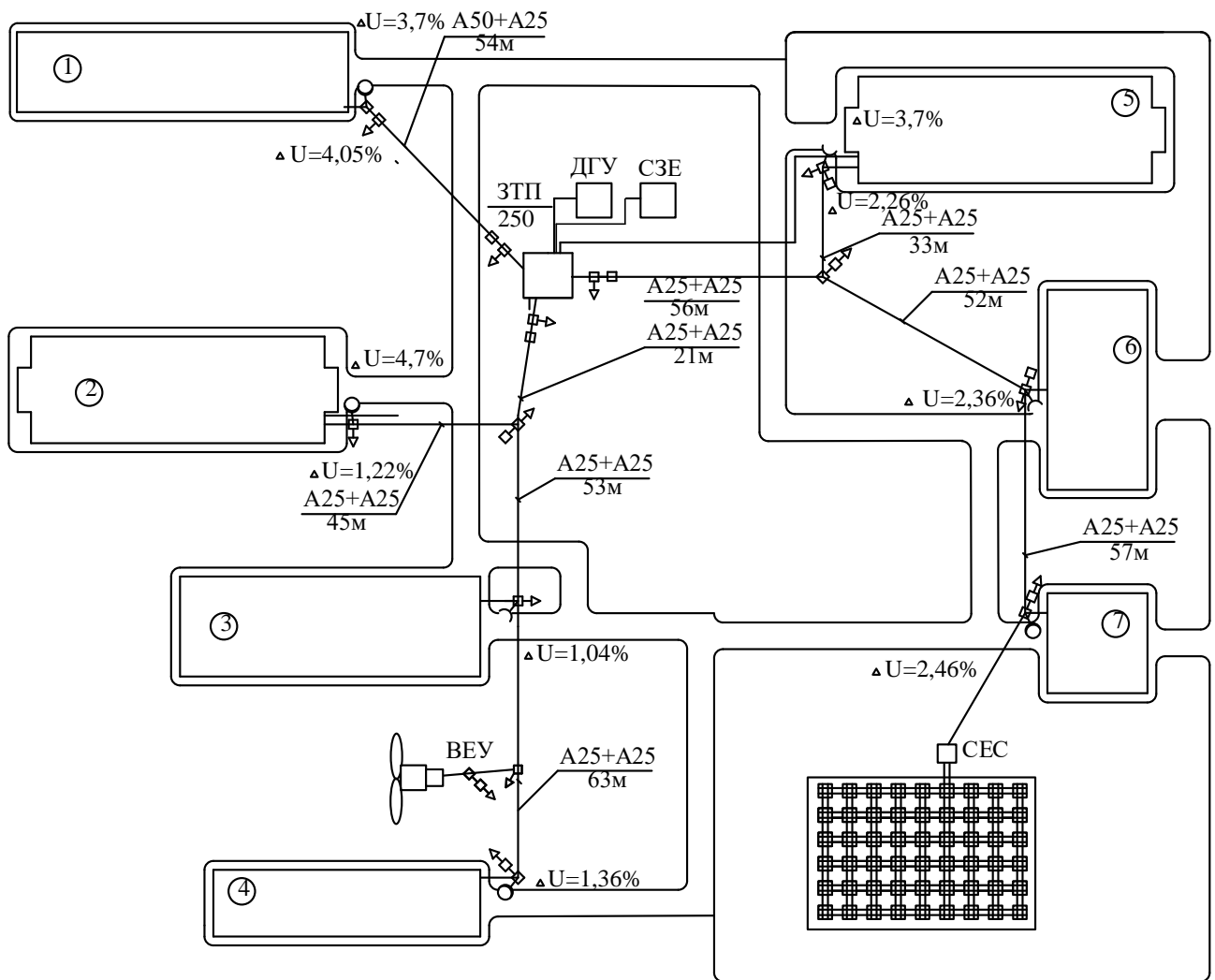


Рисунок 1 – Електротехнічний комплекс птахофабрики

Розглянемо ймовірні режими роботи мікромережі за аналогією до [19]. Генерація електроенергії від сонячної та вітрової електростанцій визначається доступністю відновлюваних ресурсів та прогнозованими метеорологічними умовами. В періоди високої сонячної радіації та швидкості вітру ці джерела забезпечують основну частину електропостачання навантаження мікромережі. Дизельний генератор використовується як резервне або балансує джерело потужності і включається у випадках, коли сумарна генерація відновлюваних джерел є недостатньою для покриття навантаження або коли економічно доцільно зменшити обсяг імпортованої електроенергії з основної мережі та акумуляторної системи зберігання енергії.

Система зберігання енергії працює у режимі заряджання у години низької вартості електроенергії або при наявності надлишкової генерації від сонячних та вітрових установок. У години пікового навантаження або високих тарифів електроенергії накопичена енергія шляхом керованого розряджання використовується для компенсації дефіциту, що дозволяє зменшити споживання електроенергії з мережі та знизити експлуатаційні витрати мікромережі. Таким чином, система зберігання виконує функцію згладжування пікових навантажень та підвищує ефективність використання відновлюваних джерел енергії.

Отримані в [19] результати оптимізації показують, що у мережевому режимі роботи. У випадках, коли вартість локальної генерації нижча за поточну ринкову ціну електроенергії, система керування мікромережею регулює власну генерацію та, у разі надлишку, передачу електроенергію до централізованої мережі. Це дозволяє зменшити загальні експлуатаційні витрати системи та підвищити економічну ефективність роботи мікромережі.

У іншому випадку [19] оптимальний графік роботи мікромережі визначається з урахуванням можливості переходу до автономного режиму роботи. Передбачається можливість відокремлення мікромережі від основної електричної мережі на будь-яку одну годину протягом досліджуваного періоду. Для аналізу

формується сценарій, кожен з яких передбачає одноденний режим автономної роботи. У режимі автономної роботи передача електроенергії з централізованої мережі відсутня, тому генерація від локальних джерел повинна повністю забезпечувати електропостачання навантаження мікромережі. З цією метою у режимі роботи, підключеному до мережі, резервується достатня генеруюча потужність, що дозволяє швидко перейти до автономного режиму без переривання електропостачання споживачів. На першій ітерації оптимізації [19] отриманий графік роботи генерації є подібним до результатів попереднього випадку. Однак при імітації сценаріїв автономної роботи виявляється невідповідність між генерацією та навантаженням системи. Для усунення цього дисбалансу до моделі додаються додаткові обмеження, які коригують графік роботи дизельного генератора та системи накопичення енергії. У наступних ітераціях величина дисбалансу поступово зменшується, що дозволяє отримати оптимальний графік роботи мікромережі, який забезпечує безперервне електропостачання споживачів навіть у випадку тимчасового відокремлення від основної електричної мережі.

Виходячи з описаних можливих режимів роботи необхідно розрахувати ймовірну генерацію альтернативними джерелами енергії для обґрунтування економічної доцільності побудови та експлуатації кожної генеруючої установки в мікромережі. Розглянемо економічний розрахунок сонячної електростанції на прикладі мережевої сонячної електростанції для підприємства на 200 кВт [20]. Річний виробіток електроенергії сонячної електростанції  $PB_{CEC}$  (кВт·год/рік) визначаємо з урахуванням питомої генерації для кліматичних умов України:

$$PB_{CEC} = P_{max\ CEC} \cdot \eta \cdot P_g, \quad (1)$$

де  $P_{max\ CEC}$  – максимальна потужність сонячної електростанції,  $P_{max\ CEC} = 200$  кВт, – річна інсоляція,  $\eta$  – коефіцієнт втрат,  $\eta = 0,8$ ,  $P_g$  – середньорічна сонячна інсоляція в Україні в рік,  $P_g = 1100$  річна сума сонячної інсоляції кВт год/м<sup>2</sup>/рік[21]:

$$PB_{CEC} = 200 \cdot 0,8 \cdot 1100 = 176000 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{рік}.$$

Розраховуємо середню потужність сонячної електростанції  $СП_{CEC}$  (кВт) поділивши річний виробіток на кількість годин в році:

$$СП_{CEC} = PB_{CEC}/KG, \quad (2)$$

де  $KG$  - кількість годин в році визначаємо множенням кількості годин  $G$  в добі на кількість днів в році  $D$ ,  $KG = G \cdot D$ ,  $KG = 24 \cdot 365 = 8760$  год. Тоді:

$$СП_{CEC} = 176000/8760 = 20,1 \text{ кВт.}$$

Капітальні витрати на встановлення енергетичної установки  $КП_{CEC}$  (грн) визначаємо як суму вартості основного обладнання та витрат на монтаж і пусконаладжувальні роботи [20] приймаємо 5 % від вартості сонячної електростанції [22]:

$$КП_{CEC} = B_{CEC} \cdot \left(1 + \frac{5\%}{100\%}\right), \quad (3)$$

де  $B_{CEC}$  – вартість сонячної електростанції,  $B_{CEC} = 2849439$  грн,  $M$  – вартість монтажу та пусконаладжувальні роботи.

$$КП_{CEC} = 2849439 \cdot \left(1 + \frac{5\%}{100\%}\right) = 2991911 \text{ грн.}$$

Річні експлуатаційні витрати сонячної електростанції  $ЕП_{CEC}$  (грн/рік) визначаємо як частку від загальних капітальних витрат. Експлуатаційні витрати зазвичай складають 1–1,5 % на рік [22]. Тоді:

$$ЕП_{CEC} = КП_{CEC} \cdot (1,5\%/100\%), \quad (4)$$

$$ЕП_{CEC} = 2991911 \cdot (1,5\%/100\%) = 44878,66 \text{ грн/рік.}$$

Річну нормативну економію  $РНЕ_{CEC}$  (грн/рік) коштів для сонячної електростанції визначаємо як добуток річного виробітку електроенергії та тарифу на електроенергію:

$$РНЕ_{CEC} = PB_{CEC} \cdot T_e, \quad (5)$$

де  $T_e$  – тариф на електроенергію за 1 кВт·год,  $T_e = 9$  грн/кВт·год.

$$РНЕ_{CEC} = 176000 \cdot 9 = 1584000 \text{ грн/рік.}$$

Чистий економічний ефект сонячної електростанції  $ЧЕЕ_{CEC}$  (грн/рік) визначаємо як різницю між річною економією та експлуатаційними витратами:

$$ЧЕЕ_{СЕС} = PHE_{СЕС} - EP_{СЕС}, \quad (6)$$

$$ЧЕЕ_{СЕС} = 1584000 - 44878 = 1539121 \text{ грн/рік.}$$

Термін окупності інвестицій сонячної електростанції  $ТО_{СЕС}$  визначаємо відношенням капітальних витрат до чистого економічного ефекту:

$$ТО_{СЕС} = КП_{СЕС}/ЧЕЕ_{СЕС}, \quad (7)$$

$$ТО_{СЕС} = 2991911/1539121 = 1,94 \text{ рік.}$$

Результати розрахунку зведемо до табл. 1.

Таблиця 1 – Зведені розрахункові дані аналізу техніко-економічного розрахунку сонячної електростанції

Середня потужність СЕС, кВт	20,1
Максимальна потужність СЕС, кВт	200
Річний виробіток СЕС, кВт·год	176000
Капітальні витрати, грн	2 991 911
Експлуатаційні витрати, грн/рік	44878
Річна нормативна економія, грн	1584000
Чистий економічний ефект, грн/рік	1539121
Термін окупності, років	1,94

Другим альтернативним джерелом енергії є вітроенергетична установка. Для зазначених рівнів потужності приймемо DK-Series RX-200DK 200 кВт горизонтальний [23]. Річний виробіток вітроенергетичної установки  $PB_{BEV}$  (кВт·год/рік) визначаємо з урахуванням коефіцієнта використання встановленої потужності:

$$PB_{BEV} = k_{BEV} \cdot KГ \cdot P_{max\ BEV}, \quad (8)$$

де  $k_{BEV} = 0,35$  коефіцієнт використання встановленої потужності [24],  $P_{max\ BEV}$  – максимальна потужність вітроенергетичної установки,  $P_{max\ bev} = 200$  кВт. Тоді:

$$PB_{BEV} = 0,35 \cdot 8760 \cdot 200 = 613200 \text{ кВт·год/рік.}$$

Розраховуємо середню потужність вітроенергетичної установки  $СП_{BEV}$  (кВт) поділивши річний виробіток на кількість годин в році:

$$СП_{BEV} = PB_{BEV}/KГ, \quad (9)$$

$$СП_{BEV} = 613200/8760 = 70 \text{ кВт.}$$

Капітальні витрати на встановлення енергетичної установки  $KП_{BEY}$  (грн) визначаємо як суму вартості основного обладнання та витрат на монтаж і пусконаладжувальні роботи, приймаємо 5 % від вартості вітроенергетичної установки [25]:

$$KП_{BEY} = B_{BEY} \cdot \left(1 + \frac{5\%}{100\%}\right), \quad (10)$$

де  $B_{BEY}$  – вартість вітроенергетичної установки,  $B_{BEY} = 4916181,6$  грн.

$$KП_{BEY} = 4916181,6 \cdot \left(1 + \frac{5\%}{100\%}\right) = 5\,161\,991 \text{ грн.}$$

Річні експлуатаційні витрати вітроенергетичної установки  $ЕП_{BEY}$  (грн/рік) визначаємо як частку від загальних капітальних витрат, приймаємо 2,5 % від капітальних витрат [25]. Тоді:

$$ЕП_{BEY} = KП_{BEY}(2,5\%/100\%), \quad (11)$$

$$ЕП_{BEY} = 5\,161\,991 \cdot (2,5\%/100\%) = 129049,767 \text{ грн/рік.}$$

Річну економію коштів вітроенергетичної установки  $РНЕ_{BEY}$  (грн/рік) визначаємо як добуток річного виробітку електроенергії та тарифу на електроенергію:

$$РНЕ_{BEY} = P_{BEY} \cdot T_e, \quad (12)$$

$$РНЕ_{BEY} = 613200 \cdot 9 = 5518800 \text{ грн/рік.}$$

Чистий економічний ефект вітроенергетичної установки  $ЧЕЕ_{BEY}$  (грн/рік) визначаємо як різницю між річною економією та експлуатаційними витратами:

$$ЧЕЕ_{BEY} = РНЕ_{BEY} - ЕП_{BEY}, \quad (13)$$

$$ЧЕЕ_{BEY} = 5518800 - 2649024 = 5389750 \text{ грн/рік.}$$

Термін окупності інвестицій вітроенергетичної установки  $ТО_{BEY}$  (рік) визначаємо відношенням капітальних витрат до чистого економічного ефекту:

$$ТО_{BEY} = KП_{BEY}/ЧЕЕ_{BEY}, \quad (14)$$

$$ТО_{BEY} = 5\,161\,991/5389750 = 0,95 \text{ рік.}$$

Результати розрахунку заносимо до табл. 2.

Таблиця 2 – Зведені розрахункові дані аналізу техніко-економічного розрахунку вітроенергетичної установки

Середня потужність ВЕУ, кВт	70
Максимальна потужність ВЕУ, кВт	200
Добове виробництво ВЕУ (середнє), кВт·год	1680
Річний виробіток ВЕУ, кВт·год	613200
Капітальні витрати, грн	5 161 991
Експлуатаційні витрати, грн/рік	129049,767
Річна нормативна економія, грн	5518800
Чистий економічний ефект, грн/рік	5389750
Термін окупності, років	0,95

Для проведення економічного розрахунку систем збереження енергії розглянемо установку зберігання енергії потужністю 200 кВт та ємністю АКБ 480 кВт·год [26], [27]. Річний корисний перетік електроенергії в системі зберігання енергії  $PKP_{C3E}$  (кВт·год/рік). визначаємо добутком ємності акумуляторної батареї на кількість днів:

$$PKP_{C3E} = \epsilon_{\text{БАТ}} \cdot C \cdot \eta_{C3E}, \quad (15)$$

де  $\epsilon_{\text{БАТ}}$  – ємність системи збереження енергії, кВт·год;  $\eta_{C3E}$  – коефіцієнт корисної дії;  $C$  – кількість повних циклів заряду-розряду, 1/рік. Таким чином:

$$PKP_{C3E} = 480 \cdot 365 \cdot 0,9 = 157680 \text{ кВт·год/рік.}$$

Капітальні витрати систем збереження енергії  $KP_{C3E}$  (грн) визначаємо як суму вартості основного обладнання з урахуванням вартості монтажу систем збереження енергії, приймаємо 1,5 % від вартості систем збереження енергії:

$$KP_{C3E} = B_{C3E} \cdot \left(1 + \frac{1,5\%}{100\%}\right), \quad (16)$$

де  $B_{C3E}$  – вартість систем збереження енергії,  $B_{C3E} = 7732241$  грн .

$$KP_{C3E} = 7732241 \cdot \left(1 + \frac{1,5\%}{100\%}\right) = 7848224 \text{ грн.}$$

Річні експлуатаційні витрати системи збереження енергії  $EP_{C3E}$  (грн/рік) визначаємо як частку від загальних капітальних витрат. Приймаємо 1,5 % від капітальних витрат [28], відповідно:

$$EP_{C3E} = KP_{C3E} \cdot (1,5\%/100\%), \quad (17)$$

$$EP_{C3E} = 7848224 \cdot (1,5\%/100\%) = 117723 \text{ грн/рік.}$$

Річну нормативну економію коштів систем збереження енергії  $PE_{C3E}$  (грн/рік) визначаємо як добуток річного виробітку електроенергії та тарифу на електроенергію:

$$PE_{C3E} = PKP_{C3E} \cdot T_{дн}, \quad (18)$$

де  $T_{дн}$  – усереднений тариф на електроенергію з урахуванням вартості в нічний та денний час, формується з врахуванням початку нічного тарифу (23:00–7:00) та денного (7:00–23:00):  $T_{дн} = \frac{0,5 \cdot T_{д} \cdot 8 + T_{д} \cdot 16}{24} = \frac{0,5 \cdot 9 \cdot 8 + 9 \cdot 16}{24} = 7,5$ , грн/кВт·год.

$$PE_{C3E} = 157680 \cdot 7,5 = 1182600 \text{ грн/рік.}$$

Чистий економічний ефект систем збереження енергії  $ЧЕЕ_{C3E}$  (грн/рік) визначаємо як різницю між річною економією та експлуатаційними витратами, грн/рік:

$$ЧЕЕ_{C3E} = PE_{C3E} - EP_{C3E}, \quad (19)$$

$$ЧЕЕ_{C3E} = 1182600 - 117723 = 1064876 \text{ грн/рік.}$$

Термін окупності інвестицій систем збереження енергії  $ТО_{C3E}$  (рік) визначаємо відношенням капітальних витрат до чистого економічного ефекту:

$$ТО_{C3E} = KP_{C3E} / ЧЕЕ_{C3E}, \quad (20)$$

$$ТО_{C3E} = 7848224 / 1064876 = 7,37 \text{ рік.}$$

Результати розрахунку заносимо до табл. 3.

Таблиця 3 – Зведені розрахункові дані аналізу техніко-економічного розрахунку систем збереження енергії

Потужність, кВт	200
Ємність, кВт	480
Річний корисний перетік, кВт*год	157680
Річна економія, грн	236520
Капітальні витрати, грн	7848224
Експлуатаційні витрати, грн/рік	117723
Чистий економічний ефект	1064876
Термін окупності, років	7,37

Безперервне електропостачання є критично важливим фактором стабільної роботи птахофабрики, оскільки від нього безпосередньо залежать процеси годівлі, мікроклімату, освітлення та збору продукції. Навіть короточасні відключення електроенергії призводять до порушення технологічних режимів утримання птиці, зниження несучості та втрати готової продукції наприклад лотків яєць. У грошовому вираженні такі простоя формують суттєві економічні збитки, які можуть перевищувати витрати на резервні джерела живлення.

Розрахуємо економічну доцільність використання дизельного генератора за розрахунком втраченої продукції за умови відключення електроенергії. При наступних умовах: відключення електроенергії 10 годин на добу; втрати продукції  $K_e = 400$  лотків яєць на добу [29]; в одному лотку 30 яєць ціна лотка в середньому  $C_e = 200$ грн.

Для проведення техніко-економічного розрахунку дизельного генератора обрано FPT 200 kW Diesel Generator [30]. Річний виробіток електроенергії дизельного генератора  $PV_{ДГ}$  (кВт·год/рік) визначаємо як добуток його номінальної потужності на річний час роботи:

$$PV_{ДГ} = P_{max\ ДГ} \cdot T_p, \quad (21)$$

де  $P_{max\ ДГ}$  – максимальна генерована потужність дизельного генератора  $P_{max\ ДГ} = 200$  кВт;  $T_p$  – час роботи дизельного генератора в рік при прийнятій роботі генератора 10 годин на добу,  $T_p = 10 \cdot 365 = 3650$  годин.

$$PV_{ДГ} = 200 \cdot 3650 = 730000 \text{ кВт·год/рік.}$$

Капітальні витрати дизельного генератора  $KП_{ДГ}$  (грн) визначаємо як суму вартості основного обладнання та витрат на монтаж і пусконаладжувальні роботи, приймаємо 1,5 % від вартості дизельгенераторної установки. Тоді:

$$KП_{ДГ} = V_{ДГ} \cdot \left(1 + \frac{1,5\%}{100\%}\right), \quad (22)$$

де  $V_{ДГ}$  – вартість дизель-генераторної установки,  $V_{ДГ} = 1168632,11$  грн.

$$KП_{ДГ} = 1168632,11 \left(1 + \frac{1,5\%}{100\%}\right) = 1186161 \text{ грн.}$$

Витрати на паливо дизельного генератора за рік  $ВП_{ДГ}$  (грн/рік) визначаємо як добуток річного виробітку та вартості дизельного палива з паливною витратою за 1 кВт·год:

$$ВП_{ДГ} = РВ_{ДГ} \cdot FC_{ДГ} \cdot C_{ДФ}, \quad (23)$$

де  $FC_{ДГ}$  – вартість дизельного палива за 1 літр,  $FC_{ДГ} = 80$  грн/л (вказана ціна дійсна на 01.04.2026);  $C_{ДФ}$  – паливна витрата,  $C_{ДФ} = 0,27$ , л/кВт·год.

$$ВП_{ДГ} = 730000 \cdot 80 \cdot 0,27 = 10800000 \text{ грн/рік.}$$

Річні експлуатаційні витрати дизельного генератора  $ЕП_{ДГ}$  (грн/рік) визначаємо як частку від загальних капітальних витрат. Приймаємо 1,5 % від капітальних витрат [31]. Тоді:

$$ЕП_{ДГ} = КП_{ДГ} \cdot (1,5/100), \quad (24)$$

$$ЕП_{ДГ} = 1168632,11 \cdot (1,5\%/100\%) = 17529 \text{ грн/рік.}$$

Добовий збиток  $ДЗ$  (грн/добу) розраховується вартістю продукції за добу:

$$ДЗ = K_e C_e, \quad (25)$$

$$ДЗ = 400 \cdot 200 = 80000 \text{ грн/добу.}$$

Відповідно розраховуємо річний збиток  $РЗ$  (грн/рік):

$$РЗ = ДЗ \cdot 365, \quad (26)$$

$$РЗ = 80000 \cdot 365 = 29200000 \text{ грн/рік.}$$

Визначимо річний економічний ефект (грн/рік):

$$ЕЕ = РЗ - (ЕП_{ДГ} + ВП_{ДГ}), \quad (27)$$

$$ЕЕ = 29200000 + (10800000 + 17529) = 18382471 \text{ грн/рік.}$$

Отримані дані зведено в табл. 4.

З отриманого розрахунку річного економічного ефекту чітко спостерігається, що отримані збитки значно більші за витрати на експлуатацію дизель-генераторної установки, що свідчить про доцільність використання дизель-генераторної установки в разі повної відсутності генерації в мікромережі.

Таблиця 4 – Зведені розрахункові дані аналізу техніко-економічного розрахунку дизельного генератора

Номінальна потужність, кВт	200
Паливна витрата, л/кВт·год	0,27
Години роботи, г/рік	2500
Річний виробіток, кВт·год	500000
Ціна на дизельне паливо грн/л	80
Витрати на паливо, грн/рік	8100000
Капітальні витрати, грн	1186161
Загальні витрати, грн/рік	8181000
Річний економічний ефект	18382471

**Висновки з проведеного дослідження.** У ході роботи визначено економічні особливості організації та експлуатації мікромережі з альтернативними джерелами енергії для електротехнічного комплексу птахофабрики. Розглянуто структуру мікромережі, що включає зовнішню електричну мережу, змінне та незмінне навантаження, сонячну електростанцію, вітроенергетичну установку, систему збереження енергії та дизель-генераторну установку.

Проведений аналіз показав, що найбільш економічно ефективною є експлуатація мікромережі з пріоритетним використанням сонячної та вітрової генерації, які характеризуються високим рівнем річної економії та короткими строками окупності. Система збереження енергії забезпечує підвищення гнучкості та надійності роботи мікромережі, хоча має більший термін окупності через значні капітальні витрати. Використання дизель-генератора є економічно обґрунтованим у випадках запобігання втратам продукції при аварійних відключеннях електроенергії, що підтверджується значним позитивним економічним ефектом.

Отримані результати можуть бути використані при проектуванні систем енергоменеджменту, обґрунтуванні інвестицій у мікромережі з комбінованими джерелами генерації для агропромислових споживачів.

## БІБЛОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Oliynichenko M., Bialobrzheskyi O. and Postil A. ‘Research on power distribution in a microgrid with distributed electricity sources’. *Electrical Engineering and Power Engineering*, 2025. (1). pp. 42–52. doi:10.15588/1607-6761-2025-1-5.
2. Ojo K.E., Saha A.K. and Srivastava V.M. ‘Review of Advances in Renewable Energy-Based Microgrid Systems: Control Strategies, Emerging Trends, and Future Possibilities’, *Energies*, 2025. 18(14). p. 3704. doi:10.3390/en18143704.
3. Khatun E., Hossain M., Ali M. and Halim M. ‘A Review on Microgrids for Remote Areas Electrification: Technical and Economical Perspective’. *International Journal of Robotics and Control Systems*, 2023. 3. pp. 627–642. doi:10.31763/ijrcs.v3i4.985.
4. Manas M., Sharma S., Reddy K.S. et al., ‘A critical review on techno-economic analysis of hybrid renewable energy resources-based microgrids’. *Journal of Engineering and Applied Science*, 2023. 70. p. 148. doi:10.1186/s44147-023-00290-w.
5. Hu Y. et al. ‘Economic feasibility analysis of using battery energy storage to reduce renewable generation curtailment in CSG’, in Proceedings of the 8th Renewable Power Generation Conference (RPG 2019). Shanghai. China, 2019. pp. 1–5. doi:10.1049/cp.2019.0280.
6. Gayas S., Wagay M.A. and Mathew M. ‘Feasibility Assessment of Small Wind Turbines Based on Wind Energy Density’, in Proceedings of the 3rd International Conference for Convergence in Technology (I2CT). Pune. India, 2018. pp. 1–5. doi:10.1109/I2CT.2018.8529747.
7. Reddy G.S. and Rao K.S. ‘Analysis on feasibility of electric power generation via wind power’, in Proceedings of the IEEE 7th Power India International Conference (PIICON). Bikaner. India, 2016. pp. 1–5. doi:10.1109/POWERI.2016.8077377.
8. Sharma Y., Saxena B.K. and Mishra S., ‘Feasibility Analysis of Energy Sustainable Campus using PV-Wind Hybrid Power System’, in Proceedings of the 12th International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks (CICN). Bhimtal. India, 2020. pp. 234–238. doi:10.1109/CICN49253.2020.9242607.
9. Barua P., Ghosh B. and Haider M.R. ‘Design and Feasibility Analysis of Hybrid Renewable Power System Connected to Grid in Maheshkhali Island, Bangladesh’ in Proceedings of the 2nd International Conference on Advanced Information and Communication Technology (ICAICT). Dhaka. Bangladesh, 2020. pp. 135–139. doi:10.1109/ICAICT51780.2020.9333491.
10. Diaw N., Thiaw L., Ba O. et al. ‘Techno-Economic Feasibility of Wind-Solar Hybrid Systems for Rural Electrification of Sioure Village in Sahel’ in Proceedings of the IEEE 2nd International Conference on Renewable Energy and Power Engineering (REPE). Toronto. Canada, 2019. pp. 196–201. doi:10.1109/REPE48501.2019.9025141.
11. Swarnkar N.M. and Gidwani L., ‘Economic and financial assessment of integrated solar and wind energy system in Rajasthan, India’, in Proceedings of the International Conference on Computation of Power. Energy Information and Communication (ICCPEIC). Melmaruvathur. India, 2017. pp. 471–476. doi:10.1109/ICCPEIC.2017.8290413.
12. Jagtap K.K., Patil G., Katti P.K. et al., ‘Techno-economic feasibility study of wind-solar PV hybrid energy system in Maharashtra state, India’ in Proceedings of the IEEE International Conference on Power Electronics. Drives and Energy Systems (PEDES). Trivandrum. India, 2016. pp. 1–5. doi:10.1109/PEDES.2016.7914536.
13. Ospino-Castro A., Peña-Gallardo R., Hernández-Rodríguez A. et al. ‘Techno-economic evaluation of a grid-connected hybrid PV-wind power generation system in San Luis Potosi. Mexico’

in Proceedings of the IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC). Ixtapa, Mexico, 2017. pp. 1–6. doi:10.1109/ROPEC.2017.8261656.

14. Żołądek M., Kafetzis A., Figaj R. and Panopoulos, K. ‘Energy-Economic Assessment of Islanded Microgrid with Wind Turbine. Photovoltaic Field. Wood Gasifier. Battery. and Hydrogen Energy Storage’. *Sustainability*, 2022. 14(19). p. 12470. doi:10.3390/su141912470.

15. Mühlbauer A., Fan Y.F., Sambor D.J. and Jacobson M.Z. ‘Minimizing the multi-decadal cost of islanded renewable-electricity microgrids for different climate zones’. *Smart Energy*, 2025. 20. 100208. doi:10.1016/j.segy.2025.100208.

16. Wong S.Y. and Li C., ‘Techno-economic analysis of optimal hybrid renewable energy systems: A case study for a campus microgrid’. *Energy Reports*, 2023. 9(S12). pp. 134–138. doi:10.1016/j.egy.2023.09.153.

17. Yusupov Z. ‘Techno-economic and environmental analysis of microgrid: A case study of Karabuk University’. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 2023. doi:10.14744/sigma.2023.00086.

18. Singh S., Slowik A., Kanwar N. and Meena N. K. ‘Techno-Economic Feasibility Analysis of Grid-Connected Microgrid Design by Using a Modified Multi-Strategy Fusion Artificial Bee Colony Algorithm’. *Energies*, 2021. 14(1). p. 190. doi:10.3390/en14010190.

19. Khodaei A. and Arabnya A., ‘Microgrid Operations Economics’ in *The Economics of Microgrids*, IEEE, 2024. pp. 19–40. doi:10.1002/9781394162482.ch2.

20. Solar Garden, ‘Сонячна станція для підприємств на 200 кВт’, [Електронний ресурс] URL: <https://www.solargarden.com.ua/obladnannya/sonyachna-stantsiya-dlya-pidpryemstv-na-200-kvt> (15.01.2026).

21. Karpchuk H., Budko V. and Lysenko O., ‘Technical achievable potential of photovoltaic conversion of solar radiation for the conditions of Ukraine’. *EPJ Photovoltaics*, 2024. 15. p. 30. doi:10.1051/epjpv/2024027.

22. International Finance Corporation, ‘Utility-Scale Solar Photovoltaic Power Plants: A Project Developer’s Guide’. World Bank Group. Washington. DC, 2015.

23. BTS, ‘Вітрогенератор DK Series RX-200DK 200 кВт’, [Електронний ресурс] URL: [https://bts.net.ua/ua/alternative-energy-sources-and-generators/wind-power-generators/horizontal-wind-power-generators/v-trogenerator-dk-series-rx-200dk-200-kvt-gorizontalny/?srsltid=AfmBOor\\_Cfl017uc%20Z8zcmOa72hcnFIaUMPY9TsE1XfVGzTinUiS1EMZ8zcmOa72hcnFIaUMPY9TsE1XfVGzTinUiS1EM](https://bts.net.ua/ua/alternative-energy-sources-and-generators/wind-power-generators/horizontal-wind-power-generators/v-trogenerator-dk-series-rx-200dk-200-kvt-gorizontalny/?srsltid=AfmBOor_Cfl017uc%20Z8zcmOa72hcnFIaUMPY9TsE1XfVGzTinUiS1EMZ8zcmOa72hcnFIaUMPY9TsE1XfVGzTinUiS1EM) (15.01.2026)

24. Жуков О. А., Килавчук О. В. ‘До питання оцінки коефіцієнта використання встановленої потужності відновлюваних джерел енергії’, in *Proceedings of OKEU-2025. Вінниця : 2025.* pp. 142–143.

25. Manwell J.F., McGowan J.G., Rogers A.L. ‘Wind Turbine Design and Testing’ in *Wind Energy Explained*, 2009. doi:10.1002/9781119994367.ch7.

26. Solar Garden, ‘Установка зберігання енергії 200 кВт’, [Електронний ресурс] URL: <https://www.solargarden.com.ua/obladnannya/ustanovka-zberihannya-enerhii-uze-potuzhnisty-200-kvt-ta-ennisty-akb-480-kvt-hod/> (15.01.2026).

27. ‘Capacity factor’, Wikipedia, [Електронний ресурс] URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Capacity\\_factor](https://en.wikipedia.org/wiki/Capacity_factor) (15.01.2026).

28. Bahloul M., Daoud M., Khadem S.K. ‘A bottom-up approach for techno-economic analysis of battery energy storage system for Irish grid DS3 service provision’. *Energy*, 2022. 245. 123229. doi:10.1016/j.energy.2022.123229.

29. Kuteya A. ‘The Impact of Power Rationing on Zambia’s Agricultural Sector’, 2016. doi:10.22004/AG.ECON.245111.
30. PD Generators. ‘FPT 200 kW diesel generator’. [Електронний ресурс] URL: <https://www.pdgenerators.com/product-page/fpt-200-kw-diesel-generator> (15.01.2026).
31. Keskinis S., Elmasides C., Kosmadakis I.E. et al. ‘Techno-Economic Photovoltaic-Battery Energy Storage System Microgrids with Diesel Backup Generator’. *Energies*, 2025. 18(24), p. 6463. doi:10.3390/en18246463.
32. D. Shokarov, V. Chorna, K. Bogodist. Economic feasibility study of expediency of establishment of solar modules in the private household. *Bulletin of NTU «KhPI». Series: «Energy: reliability and energy efficiency»*. Kharkiv : NTU «KhPI», 2017. № 31 (1253). P. 87–92 <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/33238>.

### REFERENCES:

1. Oliynichenko M., Bialobrzheskyi O. and Postil A. ‘Research on power distribution in a microgrid with distributed electricity sources’. *Electrical Engineering and Power Engineering*, 2025. (1). pp. 42–52. doi:10.15588/1607-6761-2025-1-5.
2. Ojo K.E., Saha A.K. and Srivastava V.M. ‘Review of Advances in Renewable Energy-Based Microgrid Systems: Control Strategies, Emerging Trends, and Future Possibilities’, *Energies*, 2025. 18(14). p. 3704. doi:10.3390/en18143704.
3. Khatun E., Hossain M., Ali M. and Halim M. ‘A Review on Microgrids for Remote Areas Electrification: Technical and Economical Perspective’. *International Journal of Robotics and Control Systems*, 2023. 3. pp. 627–642. doi:10.31763/ijrcs.v3i4.985.
4. Manas M., Sharma S., Reddy K.S. et al., ‘A critical review on techno-economic analysis of hybrid renewable energy resources-based microgrids’. *Journal of Engineering and Applied Science*, 2023. 70. p. 148. doi:10.1186/s44147-023-00290-w.
5. Hu Y. et al. ‘Economic feasibility analysis of using battery energy storage to reduce renewable generation curtailment in CSG’, in Proceedings of the 8th Renewable Power Generation Conference (RPG 2019). Shanghai. China, 2019. pp. 1–5. doi:10.1049/cp.2019.0280.
6. Gayas S., Wagay M.A. and Mathew M. ‘Feasibility Assessment of Small Wind Turbines Based on Wind Energy Density’, in Proceedings of the 3rd International Conference for Convergence in Technology (I2CT). Pune. India, 2018. pp. 1–5. doi:10.1109/I2CT.2018.8529747.
7. Reddy G.S. and Rao K.S. ‘Analysis on feasibility of electric power generation via wind power’, in Proceedings of the IEEE 7th Power India International Conference (PIICON). Bikaner. India, 2016. pp. 1–5. doi:10.1109/POWERI.2016.8077377.
8. Sharma Y., Saxena B.K. and Mishra S., ‘Feasibility Analysis of Energy Sustainable Campus using PV-Wind Hybrid Power System’, in Proceedings of the 12th International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks (CICN). Bhimtal. India, 2020. pp. 234–238. doi:10.1109/CICN49253.2020.9242607.
9. Barua P., Ghosh B. and Haider M.R. ‘Design and Feasibility Analysis of Hybrid Renewable Power System Connected to Grid in Maheshkhali Island, Bangladesh’ in Proceedings of the 2nd International Conference on Advanced Information and Communication Technology (ICAICT). Dhaka. Bangladesh, 2020. pp. 135–139. doi:10.1109/ICAICT51780.2020.9333491.
10. Diaw N., Thiaw L., Ba O. et al. ‘Techno-Economic Feasibility of Wind-Solar Hybrid Systems for Rural Electrification of Sioure Village in Sahel’ in Proceedings of the IEEE 2nd International

Conference on Renewable Energy and Power Engineering (REPE). Toronto. Canada, 2019. pp. 196–201. doi:10.1109/REPE48501.2019.9025141.

11. Swarnkar N.M. and Gidwani L., ‘Economic and financial assessment of integrated solar and wind energy system in Rajasthan, India’, in Proceedings of the International Conference on Computation of Power. Energy Information and Communication (ICCPEIC). Melmaruvathur. India, 2017. pp. 471–476. doi:10.1109/ICCPEIC.2017.8290413.

12. Jagtap K.K., Patil G., Katti P.K. et al., ‘Techno-economic feasibility study of wind-solar PV hybrid energy system in Maharashtra state, India’ in Proceedings of the IEEE International Conference on Power Electronics. Drives and Energy Systems (PEDES). Trivandrum. India, 2016. pp. 1–5. doi:10.1109/PEDES.2016.7914536.

13. Ospino-Castro A., Peña-Gallardo R., Hernández-Rodríguez A. et al. ‘Techno-economic evaluation of a grid-connected hybrid PV-wind power generation system in San Luis Potosi. Mexico’ in Proceedings of the IEEE International Autumn Meeting on Power. Electronics and Computing (ROPEC). Ixtapa. Mexico, 2017. pp. 1–6. doi:10.1109/ROPEC.2017.8261656.

14. Żołądek M., Kafetzis A., Figaj R. and Panopoulos, K. ‘Energy-Economic Assessment of Islanded Microgrid with Wind Turbine. Photovoltaic Field. Wood Gasifier. Battery. and Hydrogen Energy Storage’. *Sustainability*, 2022. 14(19). p. 12470. doi:10.3390/su141912470.

15. Mühlbauer A., Fan Y.F., Sambor D.J. and Jacobson M.Z. ‘Minimizing the multi-decadal cost of islanded renewable-electricity microgrids for different climate zones’. *Smart Energy*, 2025. 20. 100208. doi:10.1016/j.segy.2025.100208.

16. Wong S.Y. and Li C., ‘Techno-economic analysis of optimal hybrid renewable energy systems: A case study for a campus microgrid’. *Energy Reports*, 2023. 9(S12). pp. 134–138. doi:10.1016/j.egyr.2023.09.153.

17. Yusupov Z. ‘Techno-economic and environmental analysis of microgrid: A case study of Karabuk University’. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 2023. doi:10.14744/sigma.2023.00086.

18. Singh S., Slowik A., Kanwar N. and Meena N. K. ‘Techno-Economic Feasibility Analysis of Grid-Connected Microgrid Design by Using a Modified Multi-Strategy Fusion Artificial Bee Colony Algorithm’. *Energies*, 2021. 14(1). p. 190. doi:10.3390/en14010190.

19. Khodaei A. and Arabnya A., ‘Microgrid Operations Economics’ in The Economics of Microgrids, IEEE, 2024. pp. 19–40. doi:10.1002/9781394162482.ch2.

20. Solar Garden, ‘Сонячна станція для підприємств на 200 кВт’, [Електронний ресурс] URL: <https://www.solargarden.com.ua/obladnannya/sonyachna-stantsiya-dlya-pidpryemstv-na-200-kvt> (15.01.2026).

21. Karpchuk H., Budko V. and Lysenko O., ‘Technical achievable potential of photovoltaic conversion of solar radiation for the conditions of Ukraine’. *EPJ Photovoltaics*, 2024. 15. p. 30. doi:10.1051/epjpv/2024027.

22. International Finance Corporation, ‘Utility-Scale Solar Photovoltaic Power Plants: A Project Developer’s Guide’. World Bank Group. Washington. DC, 2015.

23. BTS., ‘Вітрогенератор DK Series RX-200DK 200 кВт’. [Електронний ресурс] URL: [https://bts.net.ua/ua/alternative-energy-sources-and-generators/wind-power-generators/horizontal-wind-power-generators/v-trogenerator-dk-series-rx-200dk-200-kvt-gorizontalniy/?srsId=AfmBOor\\_Cfl017uc%20Z8zcmOa72hcnFIaUMPY9TsE1XfVGzTinUiS1EMZ8zcmOa72hcnFIaUMPY9TsE1XfVGzTinUiS1EM](https://bts.net.ua/ua/alternative-energy-sources-and-generators/wind-power-generators/horizontal-wind-power-generators/v-trogenerator-dk-series-rx-200dk-200-kvt-gorizontalniy/?srsId=AfmBOor_Cfl017uc%20Z8zcmOa72hcnFIaUMPY9TsE1XfVGzTinUiS1EMZ8zcmOa72hcnFIaUMPY9TsE1XfVGzTinUiS1EM) (15.01.2026)

24. Zhukov O. A. and Kylvavchuk O. V. 'On the issue of estimating the capacity factor of renewable energy sources', in Proceedings of the 6th International Scientific and Technical Conference "Optimal Control of Electrical Installations (OCEI-2025)". Vinnytsia : 2025. pp. 142–143.
25. Manwell J.F., McGowan J.G., Rogers A.L. 'Wind Turbine Design and Testing' in Wind Energy Explained, 2009. doi:10.1002/9781119994367.ch7.
26. Solar Garden, 'Установка зберігання енергії 200 кВт', [Електронний ресурс] URL: <https://www.solargarden.com.ua/obladnannya/ustanovka-zberihannya-enerhii-uze-potuzhnistyu-200-kvt-ta-ennistyu-akb-480-kvt-hod/> (15.01.2026).
27. 'Capacity factor', Wikipedia, [Електронний ресурс] URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Capacity\\_factor](https://en.wikipedia.org/wiki/Capacity_factor) (15.01.2026).
28. Bahloul M., Daoud M., Khadem S.K. 'A bottom-up approach for techno-economic analysis of battery energy storage system for Irish grid DS3 service provision'. *Energy*, 2022. 245. 123229. doi:10.1016/j.energy.2022.123229.
29. Kuteya A. 'The Impact of Power Rationing on Zambia's Agricultural Sector', 2016. doi:10.22004/AG.ECON.245111.
30. PD Generators. 'FPT 200 kW diesel generator'. [Електронний ресурс] URL: <https://www.pdgenerators.com/product-page/fpt-200-kw-diesel-generator> (15.01.2026).
31. Keskinis S., Elmasides C., Kosmadakis I.E. et al. 'Techno-Economic Photovoltaic-Battery Energy Storage System Microgrids with Diesel Backup Generator'. *Energies*, 2025. 18(24), p. 6463. doi:10.3390/en18246463.
32. D. Shokarov, V. Chorna, K. Bogodist. Economic feasibility study of expediency of establishment of solar modules in the private household. *Bulletin of NTU «KhPI». Series: «Energy: reliability and energy efficiency»*. Kharkiv : NTU «KhPI», 2017. № 31 (1253). P. 87–92 <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/33238>.

*Стаття надійшла до редакції: 14.02.2026; рецензування: 25.02.2026;*

*прийнята до публікації 05.03.2026. Автори прочитали і дали згоду рукопису.*

*The article was submitted on 14.02.2026; revised on 25.02.2026; and accepted for publication on 05.03.2026. The authors read and approved the final version of the manuscript.*