
ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЄКТІВ АВТОНОМНИХ ГІБРИДНИХ ВІТРО-СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ В ПОБУТОВОМУ СЕКТОРІ УКРАЇНИ¹

Курбатова Т. О., Сотник І. М., Передерій Т. А.
DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-480-1-17>

ВСТУП

Відновлювальна енергетика є ключовим елементом глобальної енергетичної політики й відіграє вирішальну роль у формуванні стійкого майбутнього, сприяючи екологічно чистому, економічно вигідному та соціально справедливому енергетичному розвитку. Особлива увага розбудові генеруючих потужностей відновлювальної енергетики приділяється в секторі приватних домогосподарств, який поряд з промисловістю є одним з найбільших споживачів енергетичних послуг^{2,3,4}.

Для України, розгортання об'єктів відновлюваної енергетики в побутовому секторі набуло особливого значення під час війни, оскільки масштабна руйнація енергетичної інфраструктури в результаті російського військово вторгнення, обумовила суттєвий дефіцит електроенергії в енергосистемі⁵. Як наслідок, уряд вимушений запроваджувати стабілі-

¹ Публікація підготовлена у рамках виконання наукового проекту «Розроблення економічних механізмів підвищення енергоефективності та сталого розвитку відновлюваної енергетики у домогосподарствах України» (№ д/р 0122U001233), який фінансується Національним фондом досліджень України.

² González-Torres M., Pérez-Lombard L., Coronel J. F., Maestre I. R., Yan, D. A Review on Buildings Energy Information: Trends, End-Uses, Fuels and Drivers. *Energy Reports*. 2022. 8. 626–637 p.

³ Kurbatova T., Sotnyk I., Prokopenko O., Bashynska I., Pysmenna U. Improving the feed-in tariff policy for renewable energy promotion in Ukraine's households. *Energies* 16. 2023.6773 p.

⁴ Sotnyk I., Kurbatova T., Kubatko O., Prokopenko O., Jarvis M. Managing energy efficiency and renewable energy in the residential sector: A bibliometric study. *Problems and Perspectives in Management*. 2023. 21(3). 511–527.

⁵ Kurbatova T., Sidortsov R., Trypolska, G., Hulak D., Sotnyk, I. Maintaining Ukraine's grid reliability under rapid growth of renewable electricity share: challenges in the pre-war, war-time, and post-war periods. *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*. 2024. 40, 41–54.

заційні обмеження споживання електроенергії. За оцінками експертів, графікові відключення електроенергії по всій території України можуть тривати декілька років⁶, оскільки відновлення пошкоджених об'єктів енергогенерації буде вимагати суттєвого часу та фінансових ресурсів. З огляду на зазначене, в короткостроковій та середньостроковій перспективах інсталяція автономних електростанцій з системами накопичення електроенергії може стати гарним рішенням для забезпечення безперебійного електропостачання домогосподарств, зокрема в регіонах, де централізоване енергопостачання зазнало серйозних пошкоджень або стало недоступним.

Для більш ефективного використання відновлюваних енергетичних ресурсів доцільним є поєднання вітрової та сонячної генерації в рамках однієї установки. Автономні гібридні вітро-сонячні системи можуть забезпечувати більш послідовну та надійну електрогенерацію, оскільки енергія вітру є потужнішою вночі та взимку, тоді як сонячна досягає максимуму вдень та влітку. Так, доповнюючи одне одного в автономних гібридних вітро-сонячних установках, вони можуть забезпечити більш збалансований профіль річної електрогенерації. Крім того, гібридизація сонячних та вітрових електростанцій дозволяє скоротити витрати на реалізацію інвестиційних проєктів. Економія коштів відбувається завдяки використанню спільних компонентів та інфраструктури, більш ефективного використання площ, розробці спільної проєктної документації, підключення до мережі тощо^{7, 8}. Для підвищення ефективності автономних гібридних вітро-сонячних електростанцій доцільно їх укомплектовувати системами зберігання електроенергії, що дозволяє зберігати надлишкову електроенергію під час пікових періодів виробництва і використовувати її в періоди, коли обсяги генерації є недостатніми для покриття електроспоживання домогосподарства⁹.

Усвідомлюючи значний попит на інсталяцію електростанцій на відновлюваних енергетичних ресурсах через критичну ситуацію, що склалася в енергетичному секторі через військові дії, уряд України 20.07.2024 запровадив програму безвідсоткового кредитування на

⁶ Укрінформ. В Укренерго пояснили, скільки ще триватимуть відключення світла. 2024. URL: <http://surl.li/pphjsu>

⁷ PTI. Hybrid wind-solar assets may lower capital costs by 5-7%:Study. The Economic Times. URL: <http://surl.li/yzemhl>

⁸ Barker, A., Bhaskar P., Anderson B., Eberle A. Potential Infrastructure Cost Savings at Hybrid Wind Plus Solar PV Plants. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. 2021.NREL/TP-5000-78912. URL: <https://www.nrel.gov/docs/fy22osti/78912.pdf>

⁹ Hassan Q., Algburi S., Sameen A. Z., Salman H. M., Jaszczur M. A Review of Hybrid Renewable Energy Systems: Solar and Wind-Powered Solutions: Challenges, Opportunities, and Policy Implications. *Results in Engineering*. 2023. 20. 101621.

придбання енергетичного обладнання для домогосподарств¹⁰. Відповідно до згаданої програми, власники домогосподарств можуть отримати фінансування в банках-партнерах програми під 0% для закупівлі обладнання і встановлення сонячних, вітрових, вітро-сонячних електростанцій, систем накопичення енергії тощо. Держава зобов'язується повністю компенсувати відсоткову ставку за такими кредитами. Максимальна сума кредиту становить 480 тисяч гривень. Відповідно до умов програми, кредит не надається, якщо: 1) розмір середньомісячного сукупного грошового доходу домогосподарства за останні шість місяців, що передують отриманню кредиту, перевищує десятикратний розмір місячної середньої заробітної плати в Україні; 2) загальна площа об'єкта нерухомості домогосподарства перевищує 250 м² без врахування земельних ділянок; 3) вік власника домогосподарства перевищує 70 років.

З огляду на вищезазначене, основною метою даного дослідження буде оцінювання економічної ефективності інсталяції автономних гібридних вітро-сонячних установок в домогосподарствах в рамках вищезазначеної урядової програми та за власні кошти домогосподарств на онові оцінювання вартості генерації електроенергії та термінів окупності інвестиційних проектів.

1. Методологія дослідження

У даному дослідженні оцінювання економічної ефективності інсталяції автономних гібридних вітро-сонячних установок в домогосподарствах буде здійснюватися на основі показників, що є загальноприйнятими критеріями оцінки інвестиційних проектів в енергетиці, а саме:

- 1) вартості генерації електроенергії такими установками;
- 2) чистої поточної вартості проекту;
- 3) індексу прибутковості проекту;
- 4) терміну окупності інвестиційного проекту.

Оцінювання вартості генерації автономними гібридними вітро-сонячними системами домогосподарств буде проводитися на основі методики Levelized Cost of Electricity (LCOE), яка відображає загальну вартість виробництва електроенергії протягом життєвого циклу електростанції з урахуванням інвестиційних, операційних витрат, витрат та виведення генеруючого об'єкта з експлуатації та ставки дисконтування¹¹. Враховуючи вищезазначене, формула для розрахунку *LCOE* має наступний вигляд:

¹⁰ Урядовий портал. В Україні запрацювали програми пільгового кредитування для громадян, а також для ОСББ та ЖБК для посилення енергетики. 2024. URL: <http://surl.li/dctlac>

¹¹ Kabeyi M., Olanrewaju O. The levelized cost of energy and modifications for use in electricity generation planning. *Energy Reports*. 2023. 9. 495–534.

$$LCOE = \frac{\sum_{t=0}^n ((I_t + Q_t + D_t) \cdot (1+r)^{-t})}{\sum_{t=0}^n (E_t \cdot (1+r)^{-t})}, \quad (1)$$

де $LCOE$ – вартість генерації електроенергії упродовж всього терміну служби автономної гібридної вітро-сонячної електростанції, грн/кВт·год; E_t – обсяг згенерованої електроенергії автономною гібридною вітро-сонячною електростанцією у t -му році, кВт·год; I_t – інвестиційні витрати у t -му році, грн; Q_t – експлуатаційні витрати у t -му році, грн; D_t – витрати на виведення автономної гібридної вітро-сонячної електростанції з експлуатації у t -му році, грн; n – термін служби автономної гібридної вітро-сонячної електростанції, років; r – ставка дисконтування; t – рік реалізації інвестиційного проекту.

Ставка дисконтування буде визначена відповідно до формули Weighted average cost of capital ($WACC$). Це середня ставка, яку домогосподарство має заплатити для фінансування інвестиційного проекту з будівництва автономної гібридної вітро-сонячної електростанції. $WACC$ розраховується шляхом усереднення всіх джерел капіталу домогосподарства (власного та запозиченого), зважених за часткою кожного компонента¹²:

$$WACC = K_s \cdot W_s + K_d \cdot W_d, \quad (2)$$

де K_s – вартість власного капіталу для реалізації проекту з будівництва автономної гібридної вітро-сонячної електростанції, частка одиниці; W_s – частка власного капіталу за балансом, частка одиниці; K_d – вартість позикового капіталу для реалізації проекту автономної гібридної вітро-сонячної електростанції, частка одиниці; W_d – частка позикового капіталу за балансом, частка одиниці.

Розрахунок чистої поточної вартості (NPV), яка дозволяє оцінити ефективність інвестицій в проекти автономних гібридних вітро-сонячних електростанцій в абсолютних показниках, здійснюватиметься за формулою:

$$NPV = -IC_0 + \sum_{t=0}^n \frac{R_t - C_t}{(1+r)^t}, \quad (3)$$

де IC_0 – початкові інвестиції у нульовому періоді (до початку реалізації проекту), грн; t – рік реалізації проекту; R_t – прогнозовані доходи у t -му році, грн; C_t – прогнозовані витрати у t -му році, грн; n – тривалість життєвого циклу інвестиційного проекту, років; r – ставка дисконтування.

¹² Frankel M. Weighted Average Cost of Capital Formula | The Motley Fool. The Motley Fool.2024. URL: <http://surl.li/oxivui>

Прогнозовані доходи R_t за проектом для автономних електростанцій будуть оцінюватися за вартістю зекономленої електроенергії домогосподарством, яка не була закуплена у зовнішнього постачальника, а згенерована самим домогосподарством. Як прогнозовані витрати C_t враховуватимуться експлуатаційні витрати електростанції у t -му році.

Якщо $NPV > 0$, то інвестиційний проект вважається економічно ефективним. За інших рівних умов перевага надається проекту з найбільшою величиною NPV . За умови, якщо $NPV = 0$, грошових потоків від реалізації проекту вистачить лише для відшкодування всіх витрат за проектом. Якщо $NPV < 0$, проект не рекомендується до реалізації, оскільки він є збитковим.

Індекс прибутковості проекту (PI), який відображає рівень доходів на одиницю витрат, обчислюватиметься шляхом віднесення прогнозованих дисконтованих доходів від реалізації проекту до розміру інвестиційного капіталу:

$$PI = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{(R_t - C_t)}{(1+r)^t}}{IC_0} \quad (4)$$

Інвестиційний проект рекомендується до реалізації, якщо $PI > 1$. За такої умови теперішня вартість майбутніх грошових потоків перевищує суму початкових інвестицій. PI проекту має практичне значення при виборі одного інвестиційного проекту з ряду альтернативних, що мають приблизно однакові значення NPV . Так, якщо два проекти мають однакове значення NPV , але різні обсяги необхідних інвестицій, що вигіднішим є проект, який має більше значення індексу прибутковості.

Останнім розрахуємо дисконтований термін окупності інвестиційних проектів (DPP), скориставшись формулою¹³:

$$DPP = m + \frac{I_\Sigma - S_m}{Inc_{m+1}} \cdot (1+r)^{m+1}, \quad (5)$$

де I_Σ – загальний обсяг дисконтованих інвестиційних витрат за проектом, приведена до моменту початку інвестування, грн; S_m – сумарні дисконтовані доходи (грн), розраховані наростаючим підсумком до моменту, коли не виконається нерівність: $S_m < I_\Sigma < S_{m+1}$; m – кількість років, у яких сума дисконтованих доходів, менша за суму дисконтованих інвестиційних витрат; $(m+1)$ – рік, в якому сума дисконтованих доходів перевищить суму дисконтованих інвестиційних витрат; Inc_{m+1} – доходи за інвестиційним проектом в $(m+1)$ -му році, грн.

¹³ Project-management.info. Discounted Payback Period: Definition, Formula, Example & Calculator. Project-Management.info. URL: <http://surl.li/zgdmgr>

2. Обґрунтування економічної ефективності інсталяції автономних гібридних вітро-сонячних електростанцій в домогосподарствах України

Розрахунок *LCOE* у даному дослідженні буде проводитися для автономних гібридних вітро-сонячних електростанцій з системи накопичення електроенергії загальною встановленою потужністю 5, 10, 20 та 30 кВт. Варто зазначити, що найпоширенішими типами автономних гібридних вітро-сонячних електростанцій в побутовому секторі є електростанції з переважанням сонячної потужності. Це пов'язано з тим, що вітрогенератори великої потужності недоцільно встановлювати в домогосподарствах, оскільки вони потребують значного простору, їх робота супроводжується шумом і може не відповідати естетичним вимогам житлових зон. Зазвичай, вітрогенератори потужністю до 1,5 кВт встановлюють на дахах будинків, а від 1,5 кВт і вище – на спеціальних мачтах на землі¹⁴, що несе за собою додаткові витрати залежно від кількості окремо встановлених вітрогенераторів. З огляду на зазначене, у даному дослідженні для автономних гібридних вітро-сонячних електростанцій будуть застосовані наступні співвідношення потужностей вітрових і сонячних компонентів: 20:80, 30:70, 40:60.

Техніко-економічні дані щодо проєктів автономних гібридних вітро-сонячних систем, були зібрані з наступних джерел^{15, 16, 17, 18, 19}; їх усереднені значення наведено в таблиці 1.

Експлуатаційні витрати для автономних гібридних вітро-сонячних електростанцій були розраховані на рівні 2% від інвестиційних витрат²⁰, витрати на виведення з експлуатації – 5% від інвестиційних витрат²¹. Термін життєвого циклу електростанцій був визначений на рівні 25 років^{22, 23}.

¹⁴ Checktrade. How Much Does a Wind Turbine Cost in 2020? URL: <https://www.checktrade.com/blog/cost-guides/wind-turbine-cost/>

¹⁵ ВольтЕнерджи. Автономна сонячно-вітрова електростанція 11 кВт. 2024. URL: <https://voltenergy.com.ua/product/spp-11-kwt/>

¹⁶ ВольтЕнерджи. Автономна сонячно-вітрова електростанція 50 кВт. 2024. URL: <https://voltenergy.com.ua/product/spp-50-kwt/>

¹⁷ Energian. Off-grid hybrid wind & solar power system. 2024. URL: <http://surl.li/azdcpq>

¹⁸ Solarverse. Системи зберігання енергії. Сумарна енергія, що зберігається в блоку батарей. 2024. URL: <http://surl.li/fagylz>

¹⁹ Альтеко. Вітро-сонячна станція 0,8/ 2 кВт. 2024. URL: <http://surl.li/nndyvd>

²⁰ Barker A., Bhaskar P., Anderson B., Eberle A. Potential Infrastructure Cost Savings at Hybrid Wind Plus Solar PV Plants. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. 2021. URL: <https://www.nrel.gov/docs/fy22osti/78912.pdf>

²¹ IRENA. Renewable Power Generation Costs in 2019, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. 2020. URL: <http://surl.li/jqeleb>

²² Piotrowska K., Piasecka I., Kłos Z., Marczuk A., Kasner, R. Assessment of the Life Cycle of a Wind and Photovoltaic Power Plant in the Context of Sustainable Development of Energy Systems. *Materials*. 2022. 15 (21). 7778.

Таблиця 1

Техніко-економічні дані проєктів автономних гібридних вітро-сонячних електростанцій з системою зберігання електроенергії

| | | | |
|---|---|--------|---------|
| | Загальна встановлена потужність 5 кВт | | |
| | Співвідношення потужностей вітрових і сонячних компонентів, % | | |
| | 20:80 | 30:70 | 40:60 |
| Річне виробництво електроенергії, кВт-год/рік | 6957 | 7962 | 8968 |
| Інвестиційні витрати, грн | 401346 | 426461 | 451576 |
| Експлуатаційні витрати, грн/рік | 8027 | 8529 | 9032 |
| Витрати на виведення електростанції з експлуатації, грн | 20067 | 21323 | 22579 |
| | Загальна встановлена потужність 10 кВт | | |
| | Співвідношення потужностей вітрових і сонячних компонентів, % | | |
| | 20:80 | 30:70 | 40:60 |
| Річне виробництво електроенергії, кВт-год/рік | 14416 | 16364 | 18312 |
| Інвестиційні витрати, грн | 554032 | 592920 | 635018 |
| Експлуатаційні витрати, грн/рік | 11081 | 11858 | 12700 |
| Витрати на виведення електростанції з експлуатації, грн | 27701 | 29646 | 31751 |
| | Загальна встановлена потужність 20 кВт | | |
| | Співвідношення потужностей вітрових і сонячних компонентів, % | | |
| | 20:80 | 30:70 | 40:60 |
| Річне виробництво електроенергії, кВт-год/рік | 29310 | 33046 | 39046 |
| Інвестиційні витрати, грн | 859880 | 917798 | 1097329 |
| Експлуатаційні витрати, грн/рік | 17198 | 18356 | 21347 |
| Витрати на виведення електростанції з експлуатації, грн | 42994 | 45890 | 54866 |

²³ Adani Green Energy Limited, Life Cycle Assessment of Solar-Wind Hybrid Electricity. 2022. URL: <http://surl.li/xyykbv>

Продовження таблиці 1

| | Загальна встановлена потужність 30 кВт | | |
|---|---|---------|---------|
| | Співвідношення потужностей вітрових і сонячних компонентів, % | | |
| | 20:80 | 30:70 | 40:60 |
| Річне виробництво електроенергії, кВт·год/рік | 44362 | 49967 | 55585 |
| Інвестиційні витрати, грн | 1114846 | 1222791 | 1347537 |
| Експлуатаційні витрати, грн/рік | 22297 | 24456 | 26951 |
| Витрати на виведення електростанції з експлуатації, грн | 55742 | 61140 | 67277 |

Для розрахунку ставки дисконтування, вартість власного капіталу визначалася на основі річної ставки за депозитами в національній валюті для фізичних осіб в ПриватБанку, яка станом на 20.07.2024 року становила 11%²⁴. Залучення кредитних ресурсів буде розраховуватися на основі вищезгаданої урядової програми безвідсоткового кредитування на придбання енергетичного обладнання для домогосподарств відповідно до умов банку-партнера ПриватБанку в рамках програми «Джерела Енергії», де мінімальний перший внесок для отримання кредиту становить 10% від вартості інвестиційного проекту, максимальна сума кредиту – 480 тис. грн, максимальний термін кредитування – 5 років²⁵.

Ставка дисконтування буде розраховуватися на основі оптимального співвідношення власного і позикового капіталів для автономних гібридних вітро-сонячних систем різної встановленої потужності, враховуючи, що для кожного з проєктів, що реалізується, максимально можна залучити 480 тисяч гривень під 0% річних, решту витрат покрити за рахунок власного капіталу. Так, для: 1) електростанцій загальною встановленою потужністю 5 кВт співвідношення власного і позикового капіталу становитися 10:90; 2) для електростанцій загальною встановленою потужністю 10 кВт – 40:60; 3) для електростанцій загальною встановленою потужністю 20 кВт – 70:30; 4) для електростанцій загальною встановленою потужністю 30 кВт – 80:20.

²⁴ Приватбанк. Процентні ставки за вкладами. 2024. URL: <https://privatbank.ua/depozit>

²⁵ Приватбанк. Джерела Енергії. Програма державної фінансової підтримки фізичних осіб для придбання альтернативних джерел енергії 2024. URL: https://privatbank.ua/kredity/energy_sources

Таким чином, розрахована відповідно до формули (2) ставка дисконтування становить для: 1) інвестиційних проєктів, що реалізується за власні кошти домогосподарства – 11%. Цей варіант застосовується для власників домогосподарств, які не відповідають вимогам отримання пільгового кредиту в рамках урядової програми безвідсоткового кредитування; 2) електростанцій загальною встановленою потужністю 5 кВт при співвідношенні власного і позикового капіталу 10:90 – 1,1%; 3) електростанцій загальною встановленою потужністю 10 кВт при співвідношенні власного і позикового капіталу 40:60 – 4,4%; 4) електростанцій загальною встановленою потужністю 20 кВт при співвідношенні власного і позикового капіталу 70:30 – 7,7%; 5) для електростанцій загальною встановленою потужністю 30 кВт при співвідношенні власного і позикового капіталу 80:20 – 8,8%.

Таблиця 2

LCOE для автономних гібридних вітро-сонячних електростанцій з системою зберігання електроенергії (розраховано авторами)

| | | Levelized Cost of Electricity, грн/кВт·год | | |
|-------------------------|-----|---|-------|-------|
| | | Загальна встановлена потужність 5 кВт | | |
| | | Співвідношення потужностей вітрових і сонячних компонентів, % | | |
| | | 20:80 | 30:70 | 40:60 |
| Ставка дисконтування, % | 11 | 22,24 | 23,63 | 25,02 |
| | 1,1 | 11,28 | 11,99 | 12,69 |
| | | Загальна встановлена потужність 10 кВт | | |
| | | Співвідношення потужностей вітрових і сонячних компонентів, % | | |
| | | 20:80 | 30:70 | 40:60 |
| | | Ставка дисконтування, % | 11 | 30,69 |
| | 4,4 | 19,95 | 21,35 | 22,87 |
| | | Загальна встановлена потужність 20 кВт | | |
| | | Співвідношення потужностей вітрових і сонячних компонентів, % | | |
| | | 20:80 | 30:70 | 40:60 |
| | | Ставка дисконтування, % | 11 | 47,64 |
| | 7,7 | 38,91 | 41,53 | 49,65 |
| | | Загальна встановлена потужність 30 кВт | | |
| | | Співвідношення потужностей вітрових і сонячних компонентів, % | | |
| | | 20:80 | 30:70 | 40:60 |
| | | Ставка дисконтування, % | 11 | 61,76 |
| | 8,8 | 54,13 | 59,37 | 65,42 |

Розраховані значення *LCOE* для автономних гібридних вітро-сонячних електростанцій за вищезазначених ставок дисконтування наведено в таблиці 2.

Далі на основі розрахунку чистого приведеного доходу (NPV), індексу прибутковості (PI) та дисконтованого терміну окупності проєктів (DPP), проаналізуємо чи є реалізація інвестиційних проєктів автономних гібридних вітро-сонячних електростанцій економічно привабливою для домогосподарств України.

Розрахунок зазначених показників інвестиційних проєктів автономних гібридних вітро-сонячних електростанцій буде проведено для домогосподарства з обсягом споживання електроенергії – 200 кВт·год/міс. Обсяг споживання визначений на основі середнього споживання електроенергії в домогосподарствах України²⁶ з урахуванням потреб на власне електроспоживання генеруючого об'єкта. Варто зазначити, що у даному дослідженні була врахована однакова місткість системи зберігання електроенергії для автономних гібридних вітро-сонячних систем різної потужності, яка здатна забезпечити енергопостачання домогосподарства протягом 2 діб, якщо обсяги генерації в певні періоди будуть недостатніми, щоб покрити електроспоживання домогосподарства. З огляду на зазначене, при розрахунку NPV, PI та DPP припустимо, що обсяг електроенергії, згенерований автономною гібридною вітро-сонячною електростанцією, покриває електроспоживання домогосподарства у повному обсязі. Розраховані показники економічної ефективності інвестиційних проєктів (NPV, PI та DPP) інвестиційних проєктів автономних гібридних вітро-сонячних електростанцій за різних ставок дисконтування наведено в таблиці 3.

Отримані розрахунки засвідчили, що реалізація проєктів автономних гібридних вітро-сонячних електростанцій з системами зберігання електроенергії є економічно непривабливою для власників домогосподарств, оскільки NPV та PI свідчать про збитковість таких проєктів, а терміни окупності відповідно перевищують життєвий цикл електростанцій. Варто зазначити, що проєкти є нерентабельними як за умови їх реалізації за власні кошти домогосподарств, так і в рамках урядової програми безвідсоткового кредитування, тому реалізація таких проєктів вимагає додаткових заходів державної підтримки.

²⁶ Ua-energy. Нові тарифи на електроенергію: чи змусять вони людей економити. 2023. URL: <http://surl.li/acoccl>

Таблиця 3

Показники економічної ефективності інвестиційних проєктів автономних гібридних вітро-сонячних електростанцій з системою зберігання електроенергії (розраховано авторами)

| Показники економічної ефективності інвестиційних проєктів | Ставка дисконтування, % | Електростанція потужністю 5 кВт | | |
|---|-------------------------|---|-------------|-------------|
| | | Співвідношення потужностей вітрових і сонячних компонентів, % | | |
| | | 20:80 | 30:70 | 40:60 |
| NPV, грн | 11 | -382022,76 | -411693,10 | -441363,44 |
| | 1,1 | -365405,11 | -402462,16 | -439519,22 |
| PI | 11 | 0,05 | 0,04 | 0,03 |
| | 1,1 | 0,12 | 0,09 | 0,06 |
| DPP, років | 11 | > 25 | > 25 | > 25 |
| | 1,1 | > 25 | > 25 | > 25 |
| Електростанція потужністю 10 кВт | | | | |
| | Ставка дисконтування, % | Співвідношення потужностей вітрових і сонячних компонентів, % | | |
| | | 20:80 | 30:70 | 40:60 |
| | | | | |
| NPV, грн | 11 | -562402,83 | -608344,30 | -658078,00 |
| | 4,4 | -574384,13 | -625843,54 | -681550,66 |
| PI | 11 | -0,01 | -0,02 | -0,03 |
| | 4,4 | -0,02 | -0,04 | -0,06 |
| DPP, років | 11 | > 25 | > 25 | > 25 |
| | 4,4 | > 25 | > 25 | > 25 |
| Електростанція потужністю 20 кВт | | | | |
| | Ставка дисконтування, % | Співвідношення потужностей вітрових і сонячних компонентів, % | | |
| | | 20:80 | 30:70 | 40:60 |
| | | | | |
| NPV, грн | 11 | -923725,30 | -992148,42 | -1204242,61 |
| | 7,7 | -944302,46 | -1015851,09 | -1237633,55 |
| PI | 11 | -0,07 | -0,08 | -0,09 |
| | 7,7 | -0,09 | -0,10 | -0,12 |
| DPP, років | 11 | > 25 | > 25 | > 25 |
| | 7,7 | > 25 | > 25 | > 25 |

Продовження таблиці 3

| | | Електростанція потужністю 30 кВт | | |
|------------|-------------------------|---|-------------|-------------|
| | Ставка дисконтування, % | Співвідношення потужностей вітрових і сонячних компонентів, % | | |
| | | 20:80 | 30:70 | 40:60 |
| NPV, грн | 11 | -1224936,83 | -1352460,81 | -1499833,14 |
| | 8,8 | -1245951,50 | -1377054,45 | -1528562,80 |
| PI | 11 | -0,09 | -0,10 | -0,11 |
| | 8,8 | -0,11 | -0,12 | -0,13 |
| DPP, років | 11 | > 25 | > 25 | > 25 |
| | 8,8 | > 25 | > 25 | > 25 |

Одним із кроків для підвищення їх економічної привабливості може стати відмова від субсидування тарифів на електроенергію для побутових споживачів з боку держави. Поступове приведення тарифів для споживачів до ринкового рівня зробить інвестиції в такі проекти більш вигідними для приватних домогосподарств. Разом з тим, підвищити їх економічну привабливість може перегляд умов урядової програми безвідсоткового кредитування. Збільшення кредитного ліміту для проектів автономних гібридних вітро-сонячних електростанцій з системами зберігання електроенергії може стати гарним стимулом для активізації їх будівництва. Крім того, поштовхом до розбудови таких електростанцій може стати створення сприятливих економічних та правових умов для функціонування енергетичних кооперативів, які можуть стати ефективним інструментом для акумулювання фінансових ресурсів для спільної реалізації таких інвестиційних проектів.

ВИСНОВКИ

Стимулювання розвитку автономних гібридних вітро-сонячних систем набуває особливого значення в умовах енергетичних загроз через повномасштабне російське вторгнення. Саме такі електростанції можуть забезпечити стабільне електропостачання домогосподарств в умовах масштабної руйнації енергетичної інфраструктури та суттєвого дефіциту електроенергії в Об'єднаній енергетичній системі України.

У даному дослідженні проведена економічна оцінка ефективності реалізації проектів автономних гібридних вітро-сонячних систем в домогосподарствах України за урядовою програмою пільгового кредитування та власні кошти домогосподарств. Отримані результати засвідчили, що на сьогодні реалізація таких проектів як в рамках програми

пільгового кредитування, так і за власні кошти домогосподарств є нерентабельною.

Розбудова автономних гібридних вітро-сонячних електростанцій в побутовому секторі України потребуватиме удосконалення державної політики. Серед основних підходів щодо стимулювання інсталяції таких електростанцій можна виокремити встановлення ринкових тарифів на електроенергію для побутових споживачів, збільшення кредитного ліміту в рамках урядової програми безвідсоткового кредитування та створення сприятливих умов для функціонування енергетичних кооперативів в Україні.

АНОТАЦІЯ

В умовах масштабної руйнації енергетичної інфраструктури, автономні гібридні вітро-сонячні системи можуть розглядатися як одне з оптимальних рішень для забезпечення безперерйного електропостачання домогосподарств в регіонах, де централізоване енергопостачання зазнало серйозних пошкоджень або стало недоступним. В розділі монографії проведено оцінювання економічної ефективності інсталяції таких електростанцій в побутовому секторі України в рамках урядової програми пільгового кредитування та за власні кошти домогосподарств. Дослідження проводилося для автономних гібридних вітро-сонячних систем різної конфігурації та встановленої потужності з використанням методу усередненої вартості електроенергії та методів інвестиційного аналізу. Отримані результати засвідчили, що реалізація таких проєктів є економічно непривабливою для власників домогосподарств, оскільки NPV та PI проєктів свідчать про їх збитковість, а терміни окупності перевищують життєвий цикл електростанцій. Для підвищення інвестиційної привабливості проєктів автономних гібридних вітро-сонячних систем в побутовому секторі України доцільно удосконалювати механізми державної підтримки, насамперед, в частині перегляду секторальної інвестиційної, кредитно-фінансової та цінової політики.

Література

1. González-Torres M., Pérez-Lombard L., Coronel J. F., Maestre I. R., Yan, D. A Review on Buildings Energy Information: Trends, End-Uses, Fuels and Drivers. *Energy Reports*. 2022. 8. 626–637 p. <https://doi.org/10.1016/j.egyр.2021.11.280>
2. Kurbatova T., Sotnyk I., Prokopenko O., Bashynska I., Pysmenna U. Improving the feed-in tariff policy for renewable energy promotion in Ukraine's households. *Energies* 16. 2023. 6773 p. <https://doi.org/10.3390/en1619677>

3. Sotnyk I., Kurbatova T., Kubatko O., Prokopenko O., Jarvis M. Managing energy efficiency and renewable energy in the residential sector: A bibliometric study. *Problems and Perspectives in Management*. 2023. 21(3). 511–527. doi: 10.21511/ppm.21(3).2023.41.

4. Kurbatova T., Sidortsov R., Trypolska, G., Hulak D., Sotnyk, I. Maintaining Ukraine's grid reliability under rapid growth of renewable electricity share: challenges in the pre-war, war-time, and post-war periods. *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*. 2024. 40, 41–54. <https://doi.org/10.54337/ijsepm.8112>

5. Укрінформ. В Укренерго пояснили, скільки ще триватимуть відключення світла. 2024. URL: <http://surl.li/pphjsu> (дата звернення: 17.08.2024).

6. PTL. Hybrid wind-solar assets may lower capital costs by 5–7% : Study. *The Economic Times*. URL: <http://surl.li/yzemhl> (дата звернення: 27.08.2024).

7. Barker, A., Bhaskar P., Anderson B., Eberle A. Potential Infrastructure Cost Savings at Hybrid Wind Plus Solar PV Plants. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. 2021.NREL/TP-5000-78912. URL: <https://www.nrel.gov/docs/fy22osti/78912.pdf> (дата звернення: 25.07.2024).

8. Hassan Q., Algburi S., Sameen A. Z., Salman H. M., Jaszczur M. A Review of Hybrid Renewable Energy Systems: Solar and Wind-Powered Solutions: Challenges, Opportunities, and Policy Implications. *Results in Engineering*. 2023. 20. 101621. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101621>.

9. Урядовий портал. В Україні запрацювали програми пільгового кредитування для громадян, а також для ОСББ та ЖБК для посилення енергетики. 2024. URL: <http://surl.li/dctlac> (дата звернення: 15.08.2024).

10. Kabeyi M., Olanrewaju O. The levelized cost of energy and modifications for use in electricity generation planning. *Energy Reports*. 2023. 9. 495–534. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.06.036>

11. Frankel M. Weighted Average Cost of Capital Formula | The Motley Fool. *The Motley Fool*. 2024. URL: <http://surl.li/oxivui> (дата звернення: 18.08.2024).

12. Project-management.info. Discounted Payback Period: Definition, Formula, Example & Calculator. *Project-Management.info*. URL: <http://surl.li/zgdmgr> (дата звернення: 05.08.2024).

13. Checktrade. How Much Does a Wind Turbine Cost in 2020? URL: <https://www.checktrade.com/blog/cost-guides/wind-turbine-cost/> (дата звернення: 10.08.2024).

14. ВольтЕнерджи. Автономна сонячно-вітрова електростанція 11 кВт. 2024. URL: <https://voltenergy.com.ua/product/spp-11-kwt/> (дата звернення: 10.08.2024).
15. ВольтЕнерджи. Автономна сонячно-вітрова електростанція 50 кВт. 2024. URL: <https://voltenergy.com.ua/product/spp-50-kwt/> (дата звернення: 10.08.2024).
16. Energian. Off-grid hybrid wind & solar power system. 2024. URL: <http://surl.li/azdcpq> (дата звернення: 10.08.2024).
17. Solarverse. Системи зберігання енергії. Сумарна енергія, що зберігається в блоку батарей. 2024. URL: <http://surl.li/fagylz> (дата звернення: 10.08.2024).
18. Альтеко. Вітро-сонячна станція 0,8/ 2 кВт. 2024. URL: <http://surl.li/nndyvd> (дата звернення: 10.08.2024).
19. Barker A., Bhaskar P., Anderson B., Eberle A. Potential Infrastructure Cost Savings at Hybrid Wind Plus Solar PV Plants. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. 2021. URL: <https://www.nrel.gov/docs/fy22osti/78912.pdf>
20. IRENA. Renewable Power Generation Costs in 2019, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. 2020. URL: <http://surl.li/jqeleb> (дата звернення: 12.08.2024).
21. Piotrowska K., Piasecka I., Klos Z., Marczuk A., Kasner, R. Assessment of the Life Cycle of a Wind and Photovoltaic Power Plant in the Context of Sustainable Development of Energy Systems. Materials. 2022. 15 (21). 7778. <https://doi.org/10.3390/ma15217778>
22. Adani Green Energy Limited, Life Cycle Assessment of Solar-Wind Hybrid Electricity. 2022. URL: <http://surl.li/xуukbu> (дата звернення: 12.08.2024).
23. Приватбанк. Процентні ставки за вкладками. 2024. URL: <https://privatbank.ua/depozit> (дата звернення: 15.08.2024).
24. Приватбанк. Джерела Енергії. Програма державної фінансової підтримки фізичних осіб для придбання альтернативних джерел енергії 2024. URL: https://privatbank.ua/kredity/energy_sources (дата звернення: 15.08.2024).
25. Ua-energy. Нові тарифи на електроенергію: чи зможуть вони людям економити. 2023. URL: <http://surl.li/acoccl> (дата звернення: 15.08.2024).

Information about the authors:
Kurbatova Tetiana Oleksandrivna,

Ph.D. in Economics,
Associate Professor at the Department of International Economic
Relations
Sumy State University
116, Kharkivska str., Sumy, 40007, Ukraine

Sotnyk Iryna Mykolayivna,
Doctor of Economics, Professor,
Professor at the Department of Economics, Entrepreneurship and
Business Administration
Sumy State University
116, Kharkivska str., Sumy, 40007, Ukraine

Perederii Tetiana Anatoviivna,
PhD student at the Department of International Economic Relations
Sumy State University
116, Kharkivska str., Sumy, 40007, Ukraine