

DOI: <https://doi.org/10.32782/2308-1988/2024-50-15>

УДК 330.3

Кишакевич Богдан Юрійович

доктор економічних наук, професор,
Національний університет «Львівська політехніка»
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5721-8543>

Настьошин Степан Євгенович

аспірант,
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6259-7357>

Зварич Богдан Ярославович

аспірант,
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-9444-0257>

Волинський Олександр Юрійович

аспірант,
Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8484-9916>

Bohdan Kyshakevych

Lviv Polytechnic National University

Stepan Nastoshyn, Bohdan Zvarych, Oleksandr Volynskiy

Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University

БІЗНЕС-МОДЕЛІ ФОРМУВАННЯ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОЇ АВТОНОМНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ BUSINESS MODELS FOR FORMATION OF DECENTRALIZED AUTONOMOUS ELECTRICITY GENERATION

Анотація. Війна з Росією акцентувала увагу на необхідності створення та застосування децентралізованих автономних систем генерації електроенергії, які можуть зміцнити енергетичну систему України під час кризових ситуацій. Ці системи, засновані на використанні відновлюваних джерел енергії, сприяють енергетичній незалежності, знижують викиди парникових газів і сприяють економічному розвитку регіонів через створення нових робочих місць та скорочення залежності від імпортованих енергоресурсів. У статті аналізуються шість ключових бізнес-моделей, які можуть підтримати розвиток децентралізованої генерації електроенергії: енергетичні кооперативи, модель "Pay-as-you-go" (PAYG), оренда обладнання, енергетичні послуги (ESCO), колективне фінансування та публічно-приватні партнерства (PPP). Кожна з цих моделей має свої особливості, переваги та недоліки, що дозволяє вибрати оптимальні варіанти залежно від специфіки потреб та умов.

Ключові слова: децентралізована генерація електроенергії, відновлювальні джерела, бізнес-модель, ЕС, генерація електроенергії, модель ESCO, енергетичні кооперативи.

Summary. The war with Russia emphasized the need to create and use decentralized autonomous power generation systems that can strengthen Ukraine's energy system during crisis situations. These systems, based on the use of renewable energy sources, promote energy independence, reduce greenhouse gas emissions and contribute to the economic development of regions through the creation of new jobs and a reduction in dependence on imported energy resources. The article analyzes six key business models that can support the development of decentralized electricity generation: energy cooperatives, Pay-as-you-go (PAYG), equipment rental, energy services (ESCO), crowdfunding and public-private partnerships (PPP). Each of these models has its own features, advantages and disadvantages, which allows you to choose the optimal options depending on the specific needs and conditions. The model of energy cooperatives allows local communities to participate in the production and use of renewable energy, contributing to their energy independence and economic development. The Pay-as-you-go (PAYG) model lowers the economic barriers for consumers, allowing them to access electricity without a large upfront investment. Energy Services (ESCOs) offer integrated solutions to improve energy efficiency, reducing financial risks for users.

Collective financing (crowdfunding) attracts funds from a large audience to support projects, stimulating innovation and raising awareness about them. It was stressed that in the context of continuous missile attacks on Ukraine's energy infrastructure, business models of decentralized autonomous electricity generation are becoming vital. Such decentralization reduces dependence on large energy facilities, which are the main targets of attacks, ensuring the stability of the energy system and reducing the risks of major failures in the event of their damage. Rapid deployment of decentralized systems makes it possible to adapt to changing conditions and ensure energy supply to the most vulnerable areas and facilities. Autonomous generation is able to provide electricity to critical facilities to support government functions during a crisis.

Keywords: decentralized power generation, renewable sources, business model, EU, power generation, ESCO model, energy cooperatives.

Постановка проблеми. Війна з Росією підвищила ризик для традиційних централізованих джерел енергії, оскільки вони є уразливими для атак. Децентралізовані системи генерації можуть зменшити ризики, пов'язані з пошкодженням великих електростанцій. Крім цього, Україна прагне зменшити свою залежність від російського газу та інших енергоресурсів. Впровадження децентралізованих систем допомагає країні стати більш самодостатньою в енергетичному плані. Децентралізовані системи можуть швидше відновлюватись після атак або природних катастроф, вони забезпечують більшу гнучкість в управлінні енергоресурсами та адаптації до змінних умов. Використання місцевих ресурсів для генерації енергії може стимулювати розвиток місцевої економіки, створювати нові робочі місця та зменшувати витрати на імпорт енергоносіїв. Децентралізована генерація, як правило, базується на використанні відновлюваних джерел енергії (сонце, вітер, біомаса), що сприяє зменшенню викидів парникових газів та поліпшенню екологічної ситуації. Забезпечення електроенергією в умовах кризи має велике значення для підтримання нормального життя населення. Децентралізовані системи генерації можуть забезпечити енергію для критично важливих об'єктів, таких як лікарні, водопостачальні станції та комунальні служби. Розробка та впровадження бізнес-моделей для децентралізованої автономної генерації електроенергії може стати важливим кроком для підвищення стійкості та незалежності енергетичної системи України в умовах війни.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Законодавчий комплекс «Чиста енергія для всіх європейців» розглядає громадян і громади на передовій європейської енергетичної стратегії, підтримуючи місцеве виробництво, споживання та обмін енергією. Оскільки енергетичні спільноти визнані в європейських нормативних документах тільки недавно, література про бізнес-моделі цих спільнот залишається неоднорідною, а систематичне упорядкування їхніх моделей ще не сформоване. В дослідження Reis I., Gonçalves I., Lopes M., Antunes C. [1] бізнес-проектів по всій Європі було ідентифіковано вісім архетипів бізнес-моделей громад на основі діючих європейських нормативних документів. Для аналізу та порівняння цих архетипів застосовувалась мето-

дологія Canvas. У дослідженні Iazzolino I., Sorrentino N., Menniti D., Pinnarelli A., De Carolis M., Mendicino L. [2] описано ключові елементи, що впливають на бізнес-модель енергорозподілу для споживачів у житловому секторі з невеликими установками відновлюваної енергії. У роботі Chasin F., Paukstadt U., Gollhardt T., Becker J. [3] відзначається, що Інтернет речей у енергетичній галузі проявляється через впровадження інтелектуальних енергетичних технологій, які стимулюють розвиток нових розумних бізнес-моделей (BM) у цій сфері. Цей технологічний розвиток, поєднаний із децентралізацією виробництва енергії з відновлюваних джерел, лібералізацією енергетичного ринку та змінними потребами споживачів, створює виклики для організацій, які намагаються адаптуватися до швидкозмінних умов галузі. У дослідженні Xu, Y., Ahokangas P., Yrjölä S. [4] розглядаються інтелектуальні мережі та пропонується нова структура ринку енергії та електроенергії, яка може бути реалізована за допомогою блокчейну.

У роботі Zhao H., Zhao J., Liu W. [5] запропоновано децентралізовані автономні організації та механізми консенсусу користувачів разом зі смарт-контрактами для посилення організаційних правил. У роботі Wiczorek A., Rohrer H., Bauknecht D., Kubeczko K., Bolwig S., Valkering P., Belhomme R., Maggiore S. [6] відзначається, що вплив поточних тенденцій на майбутню енергетичну систему далеко не однозначний. Хоча відбувається дедалі більший зсув у бік децентралізації, поки неясно, як саме ця нова децентралізована конфігурація розгортатиметься та реалізуватиметься. Різні аспекти формування децентралізованих бізнес-моделей енергетичного ринку висвітлено також у роботах Roslan M.F., Hannan M.A., Ker P.J., Mannan M., Muttaqi K.M., Mahlia T.I. [7] та Кишакевич Б.Ю. [8]. Враховуючи появу цілої низки підходів та інноваційних концепцій формування децентралізованого ринку енергоресурсів, важливою науковою проблемою сьогодні є їх систематизація та узагальнення.

Мета статті – аналіз сучасних бізнес-моделей формування децентралізованої автономної генерації електроенергії.

Виклад основного матеріалу дослідження. Кліматична криза спонукала до зміни методів

виробництва енергії, відмовляючись від викопного палива на користь відновлюваних джерел, що є ключовим для декарбонізації енергетичної системи. Це вплинуло на переосмислення моделей споживання та розподілу електроенергії. Нещодавно споживачі, підключені до дистрибуційних мереж, почали відігравати більш активну роль у енергетичній системі. Це вказує на те, що інтеграція розподіленої генерації та активних споживачів через самоспоживання може перетворити розподіл енергії на колективну діяльність, допомагаючи досягнути кліматичних цілей і вирішити технічні виклики, пов'язані з включенням відновлюваних джерел. Енергетичні спільноти, які виробляють та споживають енергію в одному географічному районі, представляють новий підхід до використання відновлюваної енергії.

Для розвитку децентралізованої автономної генерації електроенергії (ДАГ) застосовуються різні бізнес-моделі, які сприяють фінансовій стійкості, залученню інвестицій і підтримці місцевих громад (таблиця 1).

Енергетичні кооперативи є ефективною моделлю для розвитку відновлюваної енергетики на місцевому рівні. Вони дозволяють залучати місцеві громади до виробництва та споживання чистої енергії, підвищуючи енергетичну незалежність та економічну стійкість регіонів. Eсорower є одним з найбільших енергетичних кооперативів у Бельгії. Він включає понад 60 000 учасників і управляє кількома вітровими та сонячними електростанціями. Eсорower забезпечує енергією понад 50 000 домогосподарств і активно інвестує

у нові проекти відновлюваної енергії. Som Energia є кооперативом, який працює в Іспанії з 2010 року.

В Україні також існують енергетичні кооперативи, хоча цей рух поки що не набув такого широкого розмаху, як у деяких європейських країнах. Проте, інтерес до цієї моделі зростає, і кілька прикладів вже можуть слугувати демонстрацією успішного впровадження енергетичних кооперативів в Україні.

Модель "Pay-as-you-go" (PAYG) – це фінансова модель, яка дозволяє споживачам платити за використану електроенергію по мірі її споживання, без необхідності значних початкових інвестицій. Вона особливо популярна в країнах, що розвиваються, де домогосподарства можуть не мати доступу до великих фінансових ресурсів для встановлення енергетичних систем. Модель PAYG часто використовується для сонячних енергетичних систем, де споживачі платять за енергію через мобільні платежі.

Модель оренди обладнання – це фінансова модель, яка дозволяє кінцевим споживачам використовувати енергетичне обладнання, таке як сонячні панелі, вітрогенератори або батареї для зберігання енергії, без необхідності значних початкових інвестицій. Споживачі платять регулярні орендні платежі за використання обладнання, яке залишається у власності орендодавця. Відсутність необхідності значних початкових інвестицій робить встановлення енергетичних систем доступним для широкого кола споживачів. Споживачі не несуть ризику, пов'язані з власністю та обслуговуванням обладнання. SolarCity

Таблиця 1 – Бізнес-моделі розвитку децентралізованої автономної генерації електроенергії

Бізнес-модель	Суть моделі	Переваги
Енергетичні кооперативи	Групи місцевих жителів або підприємств об'єднують ресурси для фінансування та експлуатації енергетичних систем	Залучення місцевих громад Підвищення енергетичної незалежності Прозорість та демократичність управління
"Pay-as-you-go" (PAYG)	Споживачі платять за використану електроенергію по мірі її споживання, без необхідності значних початкових інвестицій	Доступність для споживачів з обмеженими фінансовими ресурсами Зниження фінансових бар'єрів для встановлення обладнання
Оренда обладнання	Споживачі орендують енергетичне обладнання, сплачуючи регулярні орендні платежі, які включають технічне обслуговування	Відсутність початкових витрат Підтримка та технічне обслуговування Гнучкість у доступі до новітніх технологій
Енергетичні послуги (ESCO)	Компанії фінансують та управляють енергоефективними проектами, клієнти сплачують з частини зекономлених коштів	Зниження фінансових ризиків для клієнтів Гарантована економія енергії
Спільне використання ресурсів	Залучення коштів від великої кількості людей через онлайн-платформи для фінансування проектів	Доступ до капіталу без необхідності звертатися до традиційних фінансових установ Підтримка інновацій
Державні і приватні партнерства (PPP)	Співпраця між урядом і приватним сектором для фінансування, будівництва, управління та експлуатації проектів	Залучення приватного капіталу для фінансування великих проектів Розподіл ризиків між державою та приватними компаніями

Джерело: сформовано авторами

(США), дочірня компанія Tesla, пропонує оренду сонячних панелей для домогосподарств та бізнесу.

Модель зниження витрат через енергетичні послуги (Energy Service Company, ESCO) – це бізнес-модель, в якій компанія з енергетичних послуг (ESCO) надає клієнтам комплексні рішення для підвищення енергоефективності, фінансуючи, встановлюючи та керуючи енергозберігаючими проектами. Основна ідея моделі полягає в тому, що клієнт сплачує за послуги ESCO з частини зекономлених коштів на енергії, тобто без значних початкових інвестицій з його боку (рис. 1).

Модель ESCO активно впроваджується в Україні і є кілька успішних прикладів її використання. DTEK ESCO є однією з провідних компаній, що працюють за моделлю ESCO в Україні. Вона пропонує послуги з підвищення енергоефективності для промислових підприємств, комерційних будівель та муніципальних установ. DTEK ESCO реалізувала понад 100 проектів, які забезпечили значну економію енергії для клієнтів. Наприклад, модернізація освітлення та систем опалення дозволила знизити енергоспоживання на 20-30%.

Модель спільного використання ресурсів (crowdfunding) – це фінансова модель, яка дозволяє залучати кошти від великої кількості людей для реалізації певного проекту, зокрема проектів децентралізованої автономної генерації електроенергії (ДАГ). Crowdfunding використовується для збору коштів через спеціалізовані онлайн-платформи, де кожен охочий може інвестувати невелику суму грошей, що в сукупності складає необхідний капітал для проекту. Crowdfunding є Доступним інструментом для стартапів, малих підприємств та інноваційних проектів. Crowdfunding дозволяє залучати кошти без необхідності звертатися до традиційних фінансових установ або інвесторів.

Прикладом реалізації такого підходу може бути проект Solar Roadways (США), спрямований на створення сонячних панелей, які можна

інтегрувати у дорожнє покриття. Кампанія на платформі Indiegogo збрала понад 2 мільйони доларів. WakaWaka виробляє сонячні лампи та зарядні пристрої для країн, що розвиваються. Проект залучив фінансування через платформу Kickstarter. WakaWaka змогла виробити та розповсюдити тисячі сонячних ламп у віддалених районах, де немає доступу до електроенергії. Hugh Piggott's DIY Wind Turbine Kits (Великобританія) пропонує комплекти для самостійного виготовлення вітряків. Кампанія на платформі Kickstarter збрала необхідні кошти для виробництва та розповсюдження комплектів.

Модель державних і приватних партнерств ДПП (Public-Private Partnership, PPP) – це співпраця між урядом і приватним сектором для фінансування, будівництва, управління та експлуатації інфраструктурних проектів, зокрема у сфері децентралізованої автономної генерації електроенергії (ДАГ). Модель PPP дозволяє об'єднати ресурси та експертизу обох секторів для досягнення загальних цілей, забезпечуючи ефективне впровадження та управління проектами. Держава та приватні компанії спільно беруть участь в управлінні проектом, забезпечуючи його ефективне виконання та відповідність стандартам. Спільне управління дозволяє використовувати найкращі практики обох секторів для досягнення максимальних результатів.

Один з найбільших офшорних вітропарків у світі "Gemini" (Нідерланди) реалізовано за моделлю PPP. Проект включає співпрацю між державою та приватними інвесторами. Вітропарк має потужність 600 МВт і забезпечує електроенергією понад 1,5 мільйона домогосподарств. Фотоелектрична станція "Neuhardenberg" (Німеччина) реалізована за моделлю PPP і має потужність 145 МВт і є одним з найбільших сонячних електростанцій у Німеччині. Автомобільна дорога "M6 Toll" (Великобританія) побудована за моделлю PPP, включаючи співпрацю між урядом Великобританії та приватними інвесторами. Дорога M6 Toll стала першою платною дорогою у



Рисунок 1 – Бізнес-модель ESCO

Джерело: сформовано авторами

Великобританії, яка забезпечує швидший та зручніший проїзд через центральну Англію.

Модель державних і приватних партнерств у сфері енергозбереження в Україні демонструє значний потенціал для підвищення енергоефективності та зниження енергетичних витрат. Успішні приклади у Вінниці, Львові, Києві та інших містах показують можливості цієї моделі для залучення міжнародного фінансування та впровадження сучасних енергоефективних технологій. Загалом, децентралізовані автономні системи генерації електроенергії є важливим інструментом для підвищення стійкості та незалежності енергетичної системи України в умовах кризи, сприяючи екологічній стійкості та економічному розвитку країни.

Висновки. Війна з Росією підвищила необхідність розробки та впровадження децентралізованих автономних систем генерації електроенергії, що може забезпечити стійкість енергетичної системи України в умовах кризи. У статті розглянуто шість основних бізнес-моделей, які можуть сприяти розвитку децентралізованої генерації електроенергії: енергетичні кооперативи, модель "Pay-as-you-go", оренда обладнання, енергетичні

послуги (ESCO), спільне використання ресурсів (crowdfunding), та державні і приватні партнерства (PPP). Кожна з цих моделей має свої переваги та недоліки, що дозволяє обирати найбільш ефективні рішення в залежності від конкретних умов та потреб. Модель енергетичних кооперативів дозволяє залучати місцеві громади до виробництва та споживання відновлюваної енергії, підвищуючи їх енергетичну незалежність та економічну стійкість. Енергетичні послуги (ESCO) пропонують комплексні рішення для підвищення енергоефективності, знижуючи фінансові ризики для клієнтів. Спільне використання ресурсів (crowdfunding) дозволяє залучати кошти від великої кількості людей для реалізації проектів, що сприяє інноваціям та підвищує обізнаність про проекти. Державні і приватні партнерства (PPP) дозволяють об'єднати ресурси та експертизу обох секторів для ефективного впровадження та управління великими інфраструктурними проектами. В умовах постійних ракетних атак на об'єкти енергетичної інфраструктури України, бізнес-моделі формування децентралізованої автономної генерації електроенергії набувають критично важливого значення.

Список використаних джерел:

1. Reis I., Gonçalves I., Lopes M., Antunes C. Business models for energy communities: A review of key issues and trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2021. № 144. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111013>
2. Iazzolino I., Sorrentino N., Menniti D., Pinnarelli A., De Carolis M., Mendicino L. Energy communities and key features emerged from business models review. *Energy Policy*. 2022. № 165. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.112929>
3. Chasin F., Paukstadt U., Gollhardt T., Becker J. Smart energy driven business model innovation: An analysis of existing business models and implications for business model change in the energy sector. *Journal of Cleaner Production*. 2020. № 269. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122083>
4. Xu Y., Ahokangas P., Yrjölä S. et al. The fifth archetype of electricity market: the blockchain marketplace. *Wireless Netw.* 2021. № 27. P. 4247–4263. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11276-019-02065-9>
5. Zhao H., Zhao J., Liu W., Yan Y., Huang J., Wen F. Metaverse-based decentralised autonomous organisation in energy systems. *Energy Convers. Econ.* 2023. № 4. P. 379–386. DOI: <https://doi.org/10.1049/enc2.12104>
6. Wiczorek A., Rohrachter H., Bauknecht D., Kubeczko K., Bolwig S., Valkering P., Belhomme R., Maggiore S. Citizen-led decentralised energy futures: Emerging rationales of energy system organization. *Energy Research & Social Science*. 2024. No. 13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2024.103557>
7. Roslan M.F., Hannan M.A., Ker P.J., Mannan M., Muttaqi K.M., Mahlia T.I. Microgrid control methods toward achieving sustainable energy management: A bibliometric analysis for future directions. 2022. № 348. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131340>
8. Кишакевич Б.Ю. Стрес-тестування економічного капіталу банку на основі однофакторних моделей. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*. 2011. № 21.02. С. 210–219.

References:

1. Reis I., Gonçalves I., Lopes M., Antunes C. (2021) Business models for energy communities: A review of key issues and trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 144. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111013>
2. Iazzolino I., Sorrentino N., Menniti D., Pinnarelli A., De Carolis M., Mendicino L. (2022) Energy communities and key features emerged from business models review. *Energy Policy*, vol. 165. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.112929>
3. Chasin F., Paukstadt U., Gollhardt T., Becker J. (2020) Smart energy driven business model innovation: An analysis of existing business models and implications for business model change in the energy sector. *Journal of Cleaner Production*, vol. 269. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122083>
4. Xu, Y., Ahokangas, P., Yrjölä, S. (2021) The fifth archetype of electricity market: the blockchain marketplace. *Wireless Netw.*, vol. 27, pp. 4247–4263. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11276-019-02065-9>
5. Zhao, H., Zhao, J., Liu, W., Yan, Y., Huang, J., Wen, F. (2023) Metaverse-based decentralised autonomous organisation in energy systems. *Energy Convers. Econ.*, vol. 4, pp. 379–386. DOI: <https://doi.org/10.1049/enc2.12104>

6. Wiczorek A., Rohrer H., Bauknecht D., Kubeczko K., Bolwig S., Valkering P., Belhomme R., Maggiore S. (2024). Citizen-led decentralised energy futures: Emerging rationales of energy system organization. *Energy Research & Social Science*, vol. 13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2024.103557>
7. Roslan, M. F., Hannan, M. A., Ker J., Mannan, M., Muttaqi, K., Mahlia I. (2022). Microgrid control methods toward achieving sustainable energy management: A bibliometric analysis for future directions. *Journal of Cleaner Production*, vol. 348. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131340>
8. Kyshakevych B. Y. (2011) Stress testing of the bank's economic capital based on one-factor models. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho lisotekhnichnoho universytetu Ukrainy*, vol. 21.02, pp. 210–219.

Стаття надійшла до редакції 12.07.2024