

ORGANIZATION OF ELECTRONIC TRADING IN ELECTRICITY

ОРГАНІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОННИХ ТОРГІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЄЮ

Vasyl Gorbachuk¹

Maksym Dunaievskyi²

DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-602-7-6>

Abstract. Electronic energy contracts, as self-executing digital deals, automate complex transactions with unprecedented speed, efficiency, and transparency, eliminating the need for traditional intermediaries. *The purpose.* A transformation, driven by the imperative of decentralization, decarbonization, digitalization, democratization (4Ds), requires a fundamental rethinking of energy market mechanisms to enable real-time bidirectional energy flows and enable active participation in the energy market by millions of small producers and consumers. *Methodology.* The automation inherent in electronic contracts significantly reduces operational costs and minimizes human error or inefficiencies, contributing to a user-friendly environment where trust is built into algorithmic verification rather than delegated to any third party (e.g., an arbitrator). *Results.* Such an automation is crucial for balancing intermittent renewable energy sources and stabilizing the electricity grid, leading to increased efficiency and reduced strain on the grid. The growing integration of variable renewable energy sources, such as solar and wind, poses significant challenges to maintaining grid stability. *Practical implications.* Data processing within automation processes creates demand for consulting services and expert advice on economics, finance, and regulation for corporations, law firms, and government agencies. *Value/originality.* Automated energy trading

¹ Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor,
Head of Department of Intelligent Information Technologies,
V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine, Ukraine

² PhD (Applied Mathematics), Research Associate of
Department of Intelligent Information Technologies,
V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine, Ukraine

supported by electronic contracts is not just a technical innovation, but also a significant creative socio-economic disruption. It democratizes energy markets, gives consumers greater control and the potential to save money, and promotes local energy resilience, directly impacting the achievement of sustainable development goals by stimulating the adoption of renewable energy.

1. Вступ

Глобальний енергетичний ландшафт зазнає істотної трансформації, керованої імперативом 4Ds. Традиційні централізовані електромережі, проєктовані для одностороннього потоку енергії від великих генераторів до пасивних споживачів, стикаються з дедалі більшим викликом поширення розподілених енергетичних ресурсів (distributed energy resources (DERs)), таких як дахові сонячні батареї та акумуляторні накопичувачі. Ця трансформація вимагає фундаментального перегляду механізмів енергоринку, щоб в режимі реального часу налаштовувати двонаправлені потоки енергії та уможливити активну участь в енергоринку мільйонів малих виробників і споживачів [1].

Цифрові платформи з використанням смарт-контрактів і технологій розподіленого реєстру чи розподіленої облікової книги (distributed ledger technology (DLT)), зокрема технології блокчейн (blockchain), постають ключовим рішенням для вказаних змінюваних вимог. Смарт-контракти, як самовиконувані цифрові угоди, автоматизують складні трансакції з безпрецедентними швидкістю, ефективністю та прозорістю, усуваючи потребу в традиційних посередниках. Автоматизація, властива смарт-контрактам, суттєво знижує експлуатаційні витрати та мінімізує притаманні людині помилки чи недоліки, сприяючи створенню середовища без потреби довіри (trustless environment), де довіра вбудовується в криптографічну верифікацію, а не делегується будь-якій третій стороні (наприклад, третейському судді). У такому середовищі немає єдиної сутності, яка має владу над даною системою, а консенсус її учасників досягається без потреби довіри для будь-якого учасника, крім потреби довіри до самої системи.

Ключові застосування згаданих платформ включають однорангову (peer-to-peer (P2P)) торгівлю електроенергією, уможливорюючи: прямий

обмін енергією між сусідами; ефективний менеджмент мікромереж і громадських енергопроектів для підвищення місцевої резильєнтності; автоматизовані програми реагування на попит для стабілізації мережі; прозоре відстеження сертифікатів відновлюваної енергії (renewable energy certificates (RECs)) та вуглецевих кредитів для гарантування екологічної цілісності [2].

2. Електронні контракти в енергетиці

Демонструють технічну життєздатність і трансформаційний потенціал у різних аспектах енергетичного ланцюга вартості такі провідні піонерські ініціативи та приклади платформ P2P-торгівлі енергією, як Power Ledger (проекти в Австралії та Індії), WePower (проекти в Естонії, Австралії та Іспанії), LO3 Energy (проект Brooklyn Microgrid), Electron.

Незважаючи на зазначені переваги, широке впровадження смарт-контрактів нашокується на значні перешкоди. Технічні виклики включають обмеження масштабованості певних блокчейн-архітектур, вимогу інтероперабельності між різноманітними платформами та попередніми системами (основаними на попередніх технологіях), а також складне завдання гарантування конфіденційності даних при збереженні прозорості. Регуляторні структури, часто проєктовані для централізованих моделей, намагаються адаптуватися до децентралізованих парадигм, призводячи до правової невизначеності та проблем із захистом прав споживачів (клієнтів, учасників). З економічної точки зору, значні початкові інвестиції та споживання енергії деякими блокчейн-мережами породжують додаткові питання [3].

Подолання цих перешкод вимагає узгоджених зусиль стосовно технологічних інновацій, стратегічної адаптації та галузевої співпраці. Прогнозується експоненціальне зростання ринку, кероване зростаючим попитом на децентралізовані та відновлювані енергетичні рішення. Новопосталі тренди вказують на конвергенцію штучного інтелекту (artificial intelligence (AI)) та блокчейну для інтелектуального менеджменту мереж, розвиток витончених алгоритмів пошуку паросполучень для складного трейдингу, інтеграцію систем репутації для розбудови довіри серед учасників. Проактивна розробка чітких, послідовних і глобально гармонізованих стандартів такими

організаціями, як IEEE, ISO, W3C, LF Energy, є вирішальною для сприяння життєздатному, безпечному та самопідтримуваному майбутньому цифрової енергетики. Зазначені критичні аспекти заслуговують глибшого і ширшого аналізу, щоб допомагати професіоналам технічної галузі та розробникам стратегій краще орієнтуватися в цю епоху змін.

DLT є фундаментальним зрушенням у тому, як інформація та транзакції реєструються й управляються. По суті, DLT уможливило зберігання кількох ідентичних копій запису (реєстру) поміж різних комп'ютерів однієї мережі. Важливо, що ці реєстри оновлюються та синхронізуються автоматично кількома користувачами, а контроль розподіляється серед учасників групи, а не делегується єдиному (центральному) органу. Завдяки розподіленій природі в мережевій системі усувається точка відмови і підвищується резильєнтність.

Блокчейн визначається як специфічний та широко визнаний тип DLT, що набув популярності в якості базової технології для більшості криптовалют, включаючи Bitcoin, де блокчейн підтримує безпечний та децентралізований облік транзакцій. Відмітні риси DLT, особливо актуальні для застосування в енергетичному секторі, включають розподілене сховище, криптографічну (математично обгрунтовану) безпеку та механізми консенсусу. Розподілене сховище означає, що ідентичні копії реєстру зберігаються в різних фізичних місцях та оновлюються одночасно, а користувачі можуть довіряти чи не довіряти один одному, знати чи не знати один одного. Криптографічна безпека – це рівень захисту даних, що забезпечується використанням криптографічних методів, спрямованих на забезпечення конфіденційності, цілісності та автентичності інформації, охоплюючи широкий спектр алгоритмів і методів, які застосовуються для захисту даних під час їх передачі та в процесі їх зберігання. Математично обгрунтованої моделі безпеки досягають за допомогою криптографії з використанням хешування, щоб створювати унікальні цифрові «відбитки пальців» для файлів даних і таким чином негайно виявляти будь-яке зовнішнє втручання в ці дані, а також за допомогою цифрового підпису, щоб гарантувати оновлення реєстру лише уповноваженими на те особами. Механізми консенсусу гарантують, що будь-яке додання даних чи будь-яка рестрація транзакції підлягає верифікації та схваленню більшістю корис-

тувачів мережі, запобігаючи шахрайській діяльності та гарантуючи надійність, особливо в середовищах, де учасники можуть не довіряти один одному за своєю природою.

Властиві характеристики DLT безпосередньо стосуються фундаментальних викликів, поширених на традиційних енергоринках, де відповідні технологічні системи часто характеризуються неефективністю, вразливістю до атак і відсутністю прозорості та справедливості в розподіленій торгівлі електроенергією. Централізоване управління, властиве традиційній енергетичній інфраструктурі, може вести до високих витрат координації та звуженої підзвітності. Безпосередньо протидіє цим недолікам децентралізована, непорушна та прозора природа DLT. Забезпечуючи захищені від втручання (tamper-proof) записи, усуваючи залежність від єдиних точок відмови, уможливорюючи здійснення трансакцій без потреби в централізованому посереднику, DLT сприяє фундаментальному зміщенню парадигми до більш резильєнтних, ефективних і прозорих енергосистем. Ця засаднича спроможність формує ключову вартість для впровадження цифрових платформ у торгівлі електроенергією.

Смарт-контракти стали ключовою побудованою на DLT інновацією, яка висуває нову парадигму для виконання угод. Смарт-контракти, визначені як базові комп'ютерні програми, що зберігаються в блокчейні, автоматично виконуються, коли задовольняються заздалегідь визначені умови простих операторів. Смарт-контракти по суті перетворюють договірні зобов'язання на виконувані фрагменти коду, які потім ініціюються автоматично та записуються юридично перевіраним способом.

Операційні характеристики смарт-контракту є трансформаційними. Такий контракт є самовиконуваним: контракт виконується після задоволення його умов без людського втручання. Критичною особливістю смарт-контракту є його непорушність: після розгортання в блокчейні код та його історію трансакцій не можна змінювати, цензурувати (інспектувати) чи зупиняти. Ця непорушність забезпечує цілісність і означає, що будь-які баги (bugs) ПЗ чи помилки в оригінальному коді не можна виправити після його розгортання в блокчейні. Крім того, смарт-контракти мінімізують потребу в довірених сторонніх посередниках (банки, юристи, нотаріуси) для менеджменту та валідації угод,

тим самим заощаджуючи час і знижуючи ризик помилок, спричинених втручанням людини.

Природа розподіленого реєстру блокчейну гарантує, що всі учасники мережі мають копію транзакцій, зменшуючи потенціал для порушень безпеки та шахрайства і збільшуючи прозорість операцій. Автоматизація та непорушність смарт-контрактів, особливо в поєднанні з розподіленим реєстром блокчейну, фундаментально перевизначають механізми довіри в транзакціях. Цей зсув парадигми замінює необхідність довіряти посередникам-людям на можливість довіряти криптографічній верифікації та коду, суттєво знижуючи при цьому витрати та підвищуючи швидкість вирішення спорів у складних секторах, зокрема в енергетиці. Традиційні контракти часто передбачають значні витрати часу та коштів через присутність посередників та наявність ручної обробки інформації. Смарт-контракти автоматизують ці процеси, що призводить до миттєвих розрахунків і зменшення адміністративних накладних витрат, скорочуючи адміністративні витрати в рази, а тривалість транзакцій – в десятки тисяч разів (від тижнів до хвилин). Ця спроможність виконувати контракт прозоро та безконфліктно, вбудовуючи умови контракту в сам код, безпосередньо стосується так званої проблеми довіри в транзакціях. Перевірюваний характер цих угод, записаних у непорушному блокчейні, замінює потребу в довірі до людини-посередника на можливість алгоритмічної перевірюваної довіри, яка особливо важлива для великих обсягів торгівлі електроенергією в режимі реального часу [4].

Ринок електроенергії сьогодні зазнає істотної трансформації, яку часто називають Четвертою промисловою революцією в енергосекторі. Еволюція енергоринків характеризується ключовими рушійними силами 4Ds. Історично енергосистеми були централізованими, спираючись на кілька великих електростанцій для виробництва енергії та ієрархічну структуру для розподілу енергії. Однак ця традиційна модель виявляється неефективною, вразливою до атак, непрозорою, особливо при зростанні інтеграції розподілених джерел енергії. Швидке поширення розподілених енергетичних ресурсів (DERs), таких як дахові сонячні панелі, громадські вітрові турбіни та системи акумуляторних накопичувачів, фундаментально видозмінює енергомережу. DERs уможливають двонаправлений потік енергії та ство-

рюють складну мережу з мільйонів малих виробників (просьюмерів, активних споживачів) та звичайних споживачів. Традиційна мережева інфраструктура не призначена для ефективного менеджменту цього динамічного та змінного за своєю природою виробництва відновлюваної енергії або для простого налаштування до флуктуацій попиту на енергію з широким спектром джерел. Великий обсяг потенційних трансакцій на краю (периферії) мережі (потенційно мільярди дрібних трансакцій) вимагає цифрової трансформації – високоефективних, автоматизованих і безпечних систем.

Зростаюче проникнення розподілених і відновлюваних джерел енергії створює критичну потребу в більш динамічній, децентралізованій та резильєнтній енергомережі. Оскільки традиційні централізовані системи не пристосовані до обробки великого обсягу складних трансакцій від мільйонів малих виробників і споживачів, то привертають увагу цифрові платформи зі смарт-контрактами як необхідний наступний рівень еволюції енергетики, що оперативнo реагує на сучасні виклики енергетичного ландшафту, зокрема на потреби глибокої декарбонізації та інтеграції технологій змінної генерації. Смарт-контракти на цифрових платформах пропонують автоматизацію, прозорість і безпеку, необхідні для управління згаданими складними взаємодіями в масштабах, які уможливають справді децентралізовану та резильєнтну енергосистему. Перехід до цифрових платформ зі смарт-контрактами стосується не лише ефективності; але й фундаменту для досягнення глобальних цілей декарбонізації та надання споживачам більшого контролю над своїми рішеннями в енергетиці та економіці загалом.

Унікальні спроможності смарт-контрактів, особливо коли підкріплені технологією блокчейну, знаходять різноманітні й ефективні застосування на всьому ландшафті трейдингу електроенергією. Ці застосування є не просто поступовими вдосконаленнями, а фундаментальними зрушеннями в тому, як відбувається менеджмент, торгівля та споживання енергії.

P2P-торгівля енергією є одним із найважливіших застосувань смарт-контрактів в енергосекторі. Ця модель торгівлі дає змогу окремим особам, яких часто називають просьюмерами (споживачами, які також виробляють енергію від дахових сонячних панелей на дахах або

подібним чином), безпосередньо продавати свою надлишкову електроенергію сусідам або іншим місцевим споживачам. Такий прямий обмін обходить традиційних роздрібних торговців енергією та інших посередників, фундаментально змінюючи традиційний ланцюг постачання енергії.

Смарт-контракти відіграють центральну роль у реалізації згаданих трансакцій. Вони автоматизують весь процес, включаючи вимірювання потоків енергії, визначення ціноутворення на основі заздалегідь визначених правил або ринкових умов у режимі реального часу, миттєве здійснення платежів після задоволення умов контрактів. Ця автоматизація забезпечує справедливість і прозорість для всіх залучених сторін. Усуваючи потребу в довірених третіх сторонах, які здійснюють валідацію та менеджмент контрактів, P2P-торгівля значно знижує операційні та адміністративні витрати.

P2P-торгівля енергією, що підтримується смарт-контрактами, є не просто технічною інновацією, а й значною креативною соціально-економічною деструкцією. Вона демократизує енергоринки, надає споживачам більший контроль і потенціал для економії коштів, а також сприяє місцевій енергетичній резильєнтості, безпосередньо впливаючи на досягнення цілей сталого розвитку шляхом стимулювання впровадження відновлюваної енергії. Традиційні енергоринки, часто централізовані та доміновані великими комунальними підприємствами, можуть вести до вищих витрат для споживачів. P2P-торгівля, уможливлуючи прямі трансакції, може суттєво скорочувати рахунки за електроенергію. Така торгівля дає споживачам можливість ставати активними учасниками, які приймають інформовані рішення щодо своїх джерел енергії та моделей споживання, і надавати споживачам відчуття самостійного вибору варіантів. Зосередження уваги на місцевому обміні енергією також підвищує енергетичну незалежність і резильєнтність на рівні громад, особливо важливі в умовах вразливості електромережі. Підвищуючи економічну привабливість і доступність відновлюваної енергії шляхом P2P-трейдингу, смарт-контракти безпосередньо підтримують ширший енергетичний перехід до декарбонізації та більш самопідтримуваного майбутнього.

Смарт-контракти надзвичайно добре підходять для менеджменту енергією в на рівні мікромереж і проектів енергетики на рівні громад.

Мікромережі – це локалізовані енергосистеми, які можуть працювати незалежно від основної мережі, забезпечуючи електроенергією певну громаду чи обладнання. Смарт-контракти дозволяють оптимізувати потоки енергії в цих локалізованих мережах, здійснюючи менеджмент генерації, розподілу та споживання, щоб гарантувати ефективне задоволення потреб усіх учасників.

Застосування смарт-контрактів у мікромережах виходить за рамки простої автоматизації трансакцій; оскільки принципово підвищує резильєнтність мережі та місцеву енергетичну автономію. Завдяки самоорганізації та локалізованому балансуванню попиту та пропозиції, смарт-контракти дозволяють громадам протистояти перебоєм енергопостачання та оптимізувати використання ресурсів незалежно від ширшої (більшої) електромережі, яка включає дану мікромережу. Наприклад, проект Brooklyn Microgrid, ініційований LO3 Energy, дозволяє мешканцям і підприємствам у радіусі десяти кварталів генерувати, зберігати, купувати та продавати енергію на місцевому рівні. Ця система може фактично ізолюватися або відключатися від ширшої мережі під час екстремальних погодних умов або інших катастроф, гарантуючи безперервне електропостачання критичної інфраструктури. Здатність здійснювати ефективний менеджмент мільярдів дрібних трансакцій є ключовою для такої резильєнтності завдяки взаємодії мережі розподілених енергоресурсів замість залежності від єдиного центрального енергоджерела. Ця спроможність виходить за рамки простої торгівлі, уможливаючи більш робастну та адаптивну енергетичну інфраструктуру на рівні громад.

Програми реагування на попит стимулюють споживачів зменшувати чи зсувати своє споживання енергії в періоди пікового попиту, тим самим допомагаючи стабілізувати електромережу та запобігати відключенням електроенергії. Смарт-контракти пропонують потужний інструмент для динамічного менеджменту електромережі, автоматизуючи згадані дії реагування на попит. Ці контракти можуть автоматично настроювати споживання енергії, виходячи з наперед визначених правил і стимулів, таких як регулювання освітлення, налаштування термостатів або перенесення енергоємних завдань на години поза періодами пікового попиту.

Ця автоматизація має вирішальне значення для балансування переривчастих за своєю природою відновлюваних джерел енергії та стабілізування електромережі, що веде до підвищення її ефективності та зменшення навантаження на неї. Зростаюча інтеграція змінних джерел відновлюваної енергії, таких як сонячна та вітрова енергія, висуває суттєві виклики для підтримки стабільності електромережі. Смарт-контракти уможливають налаштування в основаному на правилах (rule-based) споживанні енергії в режимі реального часу, що не тільки підвищує стійкість електромережі та запобігає відключенням, але й оптимізує потоки енергії, зменшує втрати та підвищує загальну ефективність системи. Ця спроможність сприяє переходу від трудомістких (human-intensive) реактивних операцій в мережі до автоматизованих проактивних і самоорганізованих (самооптимізованих) систем, придатних поглинати масові прийоки DERs і гарантувати майбутню енергетичну безпеку та самопідтримуваність.

Непорушність і прозорість, забезпечувані смарт-контрактами на блокчейні, мають вирішальне значення для гарантування цілісності екологічних товарів, таких як сертифікати відновлюваної енергії RECs та вуглецеві кредити. Застосування RECs протидіє грінвошингу (greenwashing) та шахрайству, водночас поліпшуючи ринкові механізми, тим самим стимулюючи подальші інвестиції у відновлювану енергетику та зусилля з декарбонізації. Грінвошинг – це маркетингова практика, коли з метою поліпшення свого іміджу компанія просуває свою продукцію чи діяльність як екологічно чисту без належного підтвердження. RECs відображають екологічні атрибути виробництва відновлюваної енергії, точне відстеження яких є життєво важливим для підтвердження споживання чистої енергії та підтримки заяв про сталий розвиток. Смарт-контракти забезпечують прозору та перевірювану (auditable) систему відстеження RECs, гарантуючи те, що кожний такий контракт обліковується рівно один раз і не використовується будь-яким іншим (шахрайським) шляхом, не передбаченим контрактом. Смарт-контракти не торкаються широкої тематики неявних контрактів. Смарт-контракти також оптимізують процес купівлі-продажу RECs, підвищуючи ефективність ринку. Крім того, смарт-контракти можуть використовуватися для ціноутворення вуглецю і торгівлі

вуглецевими викидами, пропонуючи більшу прозорість і підзвітність на відповідних екологічних ринках.

Непорушний запис кожної трансакції (transfer) в розподіленому реєстрі забезпечує стійкий до несанкціонованого втручання (tamper-resistant) та перевірюваний слід (trail), безпосередньо стосуючись питань шахрайства та гарантуючи дотримання вимог (compliance). Така підвищена достовірність і цінність екологічних атрибутів стимулюють більші інвестиції у проекти відновлюваної енергетики та підтримують глобальні цілі декарбонізації. Наприклад, компанія Attributes™ використовує смарт-контракти для створення сертифікатів походження, гарантуючи цілісність атрибутів виробництва та запобігаючи множинності заявок.

3. Роль глобальних фінансово-економічних конгломератів

22 липня 2008 р. була утворена компанія GDF Suez (з 2015 р. – Engie SA (ENGIE)) шляхом злиття Gaz de France та Suez, яка бере свій початок від Universal Suez Canal Company, заснованої в 1858 р. для будівництва Суецького каналу. Сьогодні ENGIE (ENGI у лістингу біржі Euronext Paris (започаткована у 1724 р.)) – французька транснаціональна електроенергетична компанія зі штаб-квартирою в діловому кварталі Ла-Дефанс комуни Курбеуа департаменту О-де-Сен, розташованою на відстані 8 км від центра Парижа. Діяльність ENGIE охоплює виробництво та розподіл електроенергії, атомну енергетику, відновлювані джерела енергії, районне тепlopостачання, природний газ, нафтову промисловість. ENGIE залучається як до початкових (upstream) етапів виробничого циклу (видобування, проектування, продаж, експлуатація, технічне обслуговування), так і до заключних (downstream) етапів (переробка, менеджмент відходів, демонтаж).

ENGIE складається з 11 географічних і горизонтально-інтегрованих (transverse) бізнес-підрозділів, серед яких виділяють 8 національних і 5 глобальних. До географічних бізнес-підрозділів ENGIE входять Північна, Південна та Східна Європа, Туреччина, а також Génération Europe (Бельгія, Франція, Німеччина, Італія, Люксембург, Нідерланди, Польща, Португалія, Іспанія, Велика Британія) – бізнес-підрозділ ENGIE, що спеціалізується на управлінні та експлуатації теплових генеруючих активів компанії в Європі, включаючи природний газ,

біомасу та великомасштабні когенераційні установки. *Génération Europe* об'єднує діяльність ENGIE з теплової генерації в Європі в єдине ціле для відповідей на виклики енергетичного переходу.

Горизонтально-інтегровані бізнес-підрозділи, в контексті організації, працюють горизонтально, перетинаючи сфери традиційних функціональних або вертикально-інтегрованих структурних одиниць. Такі бізнес-підрозділи створюються для управління проектами чи процесами, що передбачають співпрацю між різними частинами організації, часто з метою підвищення ефективності та ефективності.

8 національних бізнес-підрозділів ENGIE розташовані у Франції: France BtoB, France BtoC, France Renewable Energy, France Networks, Natural Gas Transport (GRTgaz), Natural Gas Distribution (GRDF), термінали зрідженого природного газу (Elengy), зберігання природного газу (Storengy).

ENGIE включає 5 глобальних бізнес-підрозділів: Exploration and Production International, Global LNG, Global Energy Management & Sales (GEMS), Tractebel Engineering, GTT (GazTransport & Technigaz).

Компанія *Attributes™*, започаткована у 2018 р. в рамках ENGIE GEMS як стартап TEO (The Energy Origin), тепер є незалежною компанією, що спеціалізується на походженні енергії та відстежуваності даних ESG (Environmental, Social, Governance) через блокчейн. *Energy Web* – це технологічна компанія (<https://www.energyweb.org/>), яка розбудовує цифрові технології з відкритим кодом з метою декарбонізації. TEO розробив перший застосунок, що мігрує на *Energy Web Chain*. У вересні 2019 р. *Energy Web Foundation* (EWF) та TEO оголосили, що децентралізований застосунок TEO (dApp) став першим, який мігрував до виробництва *Energy Web Chain*. TEO застосує блокчейн для поліпшення відстежуваності та прозорості зеленої енергії, а також розширює спроможності узгодження попиту та пропозиції між генераторами відновлюваної енергії та корпоративними покупцями, наприклад, шляхом вибору зеленої енергії на основі її типу, географічної відстані від певного об'єкта й обсягу компенсації викидів вуглецю (carbon offsets).

Виробництво *Energy Web Chain* офіційно розпочалося у червні 2019 р., коли EWF відстежував приблизно 17 децентралізованих додатків (dApp), що працюють у тестових мережах *Energy Web*, охоплюючи

такі випадки використання, як ринки RECs, зарядка електромобілів, фінансові розрахунки за послуги гнучкості мережі від DERs, трансакційна енергетика.

Важливою характеристикою моделі ринку є його централізована чи децентралізована організація. Управління системою в реальному часі має здійснюватися централізовано системними операторами у будь-якій моделі. Водночас спотові ринки можуть бути організовані централізовано (вузлові ринки США) або децентралізовано (зональні ринки ЄС) [5].

У вузлових ринках США алгоритм короткострокового спотового ринку визначає диспетчеризацію електростанцій, виходячи з їх технічних обмежень і граничних витрат, які подаються в цей алгоритм на рівні окремого енергоблоку. Відповідні графіки є зв'язаними для енергогенераторів і можуть змінюватися лише на ринку в реальному часі. Така форма подання заявок на ринок відома як централізовано диспетчеризоване подання заявок учасника (centrally dispatched unit bidding). Кожний енергоблок має індивідуальні зобов'язання та контракт [6]. У певному сенсі такі ринки відображають деякі процедури, сформовані національними монополіями та регіональними енергетичними пулами, які існували до дерегуляції [7]. Нова Англія, PJM (Pennsylvania, New Jersey, Maryland), 12 штатів Середнього Заходу (Midwest) США, Нью-Йорк і Каліфорнія є прикладами вузлових ринків із централізовано диспетчеризованим поданням заявок. В Європі прикладами централізованих ринків були Єдиний ринок електроенергії (Single Electricity Market (SEM)) в Ірландії і пул Англії та Уельсу у Великобританії, позаяк більшість інших ринків мали децентралізовану організацію. Великобританія та Ірландія перейшли до децентралізованих ринків в 2001 р. та 2018 р. відповідно.

На зональному спотовому ринку ЄС кожний учасник ринку самостійно відповідає за оптимізацію своїх активів. Учасники ринку подають агреговані портфельні заявки відповідно до технічних характеристик своїх активів або власних потреб споживання. Прийняті заявки створюють відповідальність за фізичне енергопостачання, умови якого можуть коригуватися на безперервному внутрішньодобовому ринку до настання часу такого постачання. Такий механізм функціонування відомий як самодиспетчеризація з портфельним поданням зая-

вок (self-dispatch with portfolio bidding). Учасники ринку мають неявну відповідальність за балансування системи електроенергії; кожна відповідальна за баланс сторона (Balance Responsible Party (BRP)) є фінансово відповідальною за підтримання своєї власної позиції (чиста сума надходження, відведення та обсягу трансакцій електроенергії) у балансі протягом даних періодів постачання, що називаються періодами врегулювання небалансів. Залежно від стану системи, плата за небаланс накладається на BRP, яка не дотримується балансу, для кожного періоду врегулювання небалансів.

В умовах лібералізованих (дерегульованих) ринків електроенергії за безпеку постачання та стабільність роботи мережі відповідають компанії – системні оператори (ISOs (Independent System Operators) у вузловій моделі та TSOs (Transmission System Operators) у зональній моделі). На оптовому ринку електроенергії під управлінням цих системних операторів працюють провайдери доповнюючих (системних) послуг, щоб гарантувати безпеку постачання у взаємопов'язаній електромережі. Ці допоміжні (ancillary) послуги охоплюють широке коло операцій, що виходять за межі комерційної діяльності з виробництва, передачі та споживання електроенергії. Якщо раніше такі послуги закуповувалися системними операторами у великих електростанцій, то сьогодні вони стають дедалі відкритішими для спроможностей споживання та накопичення електроенергії, а також для менших електростанцій.

Основними видами допоміжних послуг є 1) балансування та частотне регулювання, 2) регулювання напруги, 3) запуск після аварії (black start), 4) менеджмент перенавантажень.

1) Для електроенергії важливим є балансування мережі для підтримання фізичної рівноваги між попитом і пропозицією у кожний момент часу. Частота мережі є величиною, що підлягає моніторингу та відображає баланс попиту і пропозиції в реальному часі. Системні оператори зазвичай укладають контракти з провайдерами гнучкої генерації та накопичення енергії, які відіграють роль резервів, здатних швидко реагувати на коливання частоти для її утримання в заданому діапазоні (близько 50 Гц у Європі та 60 Гц у США).

2) Напруга в електромережі має підтримуватися в заданому діапазоні, що забезпечується системними операторами через управління активною та реактивною потужністю окремих активів генерації.

3) Певна допоміжна послуга має гарантувати здатність електромережі відновлювати роботу після події повного знеструмлення (black-out). Електростанції, що надають цю послугу, мають бути здатними розпочинати свою роботу без використання електроенергії з мережі.

4) Системні оператори мають змогу коригувати роботу деяких електростанцій та змінювати їх плановані обсяги генерації, щоб уникати очікуваних перенавантажень мережі.

Допоміжні послуги мають однакові загальні цілі (оскільки закони фізики є універсальними), але мають різну організацію залежно від ринків і відповідних системних операторів. У вузлових моделях ринку, реалізованих у деяких штатах США, відбувається співоптимізація закупівлі кількох допоміжних послуг (зокрема операційних резервів для балансування) та роботи оптового ринку РДН (ринку на добу наперед). В зональній моделі ринку, застосованій в ЄС, допоміжні послуги закуповують TSOs через окремі механізми і ринки поза рамками оптового ринку.

Узагальнимо основні характеристики а) вузлових та б) зональних моделей ринків за такими основними характеристиками: 1) спотова ціна на добу наперед, 2) подання заявок на ринок, 3) організація ринку, 4) балансування ринку в реальному часі, 5) менеджмент перенавантажень.

а) 1) Локальна гранична ціна (Locational Marginal Price (LMP)).

б) 1) Клірингова ціна зонального ринку (Market Clearing Price (MCP)).

а) 2) Централізовано диспетчеризоване подання заявок, враховуючи технічні обмеження.

б) 2) Самодиспетчеризація з вільним портфельним поданням заявок.

а) 3) ISOs.

б) 3) Біржі електроенергії та TSOs.

а) 4) Ринок реального часу з віртуальним поданням заявок і різними часовими сегментами.

б) 4) Балансування, організоване TSOs незалежно від оптового ринку.

а) 5) Всі обмеження передачі враховуються в алгоритмі оптимізації в часовому сегменті на добу наперед.

б) 5) Міжзональні перенавантаження враховуються в оптимізації на добу наперед, а внутрішньозональні перенавантаження усуваються позаринковою диспетчеризацією.

Адекватність або надійність електроенергетичної системи відповідає її здатності належним чином забезпечувати попит на електроенергію в будь-який момент часу, особливо в періоди пікового попиту. Ця здатність пов'язана із системним плануванням (TSOs або ISOs), точніше – з обсягом наявної генеруючої потужності в системі відносно рівня попиту на електроенергію. Надійність можна кількісно оцінювати за допомогою критерію очікуваного рівня втрати навантаження (Loss-Of-Load Expectation (LOLE)) – кількості годин протягом року, які відповідають подіям з ринковою ситуацією, де попит перевищує пропозицію, а ціна сягає максимального ринкового рівня, внаслідок чого деяких споживачів треба відключати від мережі.

На виключно енергетичному (energy-only) ринку (де єдиним джерелом доходу генераторів є продаж електроенергії на оптовому ринку та надходження за допоміжні послуги) встановлена генеруюча потужність відносно пікового попиту (адекватність системи) визначається ринковими механізмами через інвестиції у потужності генерації.

В деяких моделях організації оптового ринку електроенергії фінансових надходжень виключно за поставлену електроенергію для генераторів недостатньо для гарантування адекватності енергосистеми [8]. Проблема втрачених грошей полягає не в тому, що ринок платить занадто мало, а в тому, що він платить занадто мало тоді, коли потрібно забезпечувати необхідний рівень надійності [8]. Для цього виділяють кілька причин.

По-перше, модель і регулювання ринку не дозволяють генераторам заробляти достатньо грошей, щоб покривати свої фіксовані витрати. Наприклад, ціни на електроенергію мають бути здатними сягати високих рівнів у періоди дефіциту постачання, зокрема рівня вартості втраченого навантаження (Value of Lost Load (VoLL)), що рідко дозволяється регуляторами. VoLL відображає максимальну ціну, яку споживачі готові платити за постачання електроенергії. При такій ціні для споживача мають однакову корисність ситуація, де він/вона не отримує електроенергії та не платить за неї, і ситуація, де він/вона

отримує електроенергію та платить за неї вказану максимальну ціну. Часто VoLL оцінюється у десятках тисяч євро чи доларів США за 1 МВт·год [9].

По-друге, довільно встановлений критерій надійності для енергосистеми є консервативним і підтримує в системі значну кількість генераторів, посилюючи конкуренцію та знижуючи ринкову ціну і ренту від генерації. В США поширеним критерієм надійності є один день втрати потужності на кожні 10 років (що відповідає LOLE на рівні 2,4 години на рік). У Франції (ЄС) регулятори встановили критерій для LOLE на рівні 3 години на рік.

4. Енергетична рента та посередники

Втрачені гроші (missing money) – це різниця між річними постійними витратами генераторів та їх енергетичною рентою від продажу електроенергії на оптовому ринку та продажу допоміжних послуг у середньо- та довгостроковій перспективі (ринку у короткостроковому періоді ринок може бути перенасиченим).

Тому виключно енергетичні ринки іноді доповнюються механізмами або ринками потужностей, які відшкодовують витрати на встановлену потужність за її доступність для гарантування даного рівня надійності в системі та компенсування втрачених грошей генераторів. У випадку ринку потужностей, ринкові сили коригують ціну потужності, щоб компенсувати втрачені гроші та гарантувати потрібні інвестиції у потужності генерації для досягнення заданого критерію надійності.

Річна енергетична рента та річні постійні (фіксовані) витрати електростанції зменшуються зі збільшенням відношення встановленої генеруючої потужності до пікового попиту в системі, оскільки ціни електроенергії зменшуються зі збільшенням пропозиції виробництва електроенергії відносно пікового попиту. Інвестиційна рівновага ілюструється випадками енергетичної ренти, вищої та нижчої річних постійних витрат:

– якщо енергетична рента, яку дістає існуючий виробник, очікується бути більшою (наприклад, через підвищення оптової ціни) чи є постійно більшою, ніж його річні фіксовані витрати, то економічно доцільно інвестувати в нові генеруючі потужності цього виробника;

– якщо ж енергетична рента виробника є постійно меншою чи очікується бути меншою, ніж його річні фіксовані витрати, то економічно недоцільно інвестувати в нові генеруючі потужності цього виробника [10].

Таким чином, довгострокова інвестиційна рівновага досягається, коли енергетична рента найменш прибуткової генеруючої станції дорівнює її річним фіксованим витратам, встановлюючи відповідний оптимальний обсяг генеруючих потужностей системи відносно заданого пікового попиту на виключно енергетичному ринку.

У короткостроковій перспективі попит є нееластичним, а багато споживачів не стежать за цінами та не можуть реагувати на ціни в режимі реального часу. Коли навантаження системи сягає максимальної потужності, то ціни можуть різко зростати, відображаючи потребу в додаткових потужностях (які, в свою чергу, вимагають додаткових інвестицій і додаткового часу). Тому за критерієм потрібної надійності системи адміністративно встановлюється обсяг генеруючих потужностей системи більшим, ніж згаданий оптимальний обсяг на виключно енергетичному ринку. Тоді втрачені гроші вимірюються відповідним зменшенням річної енергетичної ренти.

Консалтингові послуги та експертні консультації з економіки, фінансів, регулювання для корпорацій, юридичних фірм, державних установ надає компанія Brattle Group, заснована у 1990 р. зі штаб-квартирою на вулиці Бреттл району Гарвард-сквер у м. Кембридж (Массачусетс) (з 2017 р. – у сусідньому м. Бостон). Сьогодні Brattle Group має близько 500 експертів у 11 офісах по всьому світу, включаючи Європу – м. Брюссель (Бельгія), м. Лондон (Великобританія), м. Мадрид (Іспанія), м. Рим (Італія). Генерал-майор Вільям Бреттл (1706–1776) – американський політик, юрист і офіцер міліції, який обіймав посаду генерального прокурора Массачусетсу у 1736–1738 рр. Бреттл здобув науковий ступінь магістра Гарварду (заснованого у 1636 р.) у 1725 р.

Brattle Group щороку вручає премію Бреттла на щорічних зборах Американської фінансової асоціації (American Finance Association (AFA); заснована у 1939 р.) за видатні статті з корпоративних фінансів, опубліковані в журналі «Journal of Finance» (заснований у 1946 р. і видається Wiley-Blackwell).

Асоційовані редактори (associate editors) цього журналу щороку також голосують за присудження премії Сміта Брідена (Smith Breeden) за найкращі статті з фінансів. Інституційна компанія Smith Breeden Associates (заснована у 1982 р. у м. Дарем (Північна Кароліна)) надає повний спектр послуг з управління активами з фіксованим доходом пенсійним фондам, ендавментам, фондам, фондам фондів, а також центральним і наднаціональним банкам. Ендавмент (endowment) – це фінансовий фонд, який створюють спонсори для неприбуткових організацій з метою фінансової підтримки їх діяльності. Зосереджуючись переважно на основних секторах фіксованого доходу США (іпотечні цінні папери (mortgage-backed securities (MBSs)), забезпечені активами цінні папери (asset-backed securities (ABSs)), комерційні іпотечні цінні папери (commercial mortgage-backed securities CMBs)), корпоративні облігації, казначейські облігації (Treasurys)), лінійка продуктів Smith Breeden включає різноманітні стратегії довгострокової та абсолютної доходності. Smith Breeden має тривалий досвід новаторських розробок і застосування кількісного фінансового аналізу для оцінки та торгівлі цінними паперами з фіксованим доходом. У 2013 р. компанія Amundi придбала Smith Breeden Associates.

Amundi – французька компанія з управління активами. На 2025 р. її активи під управлінням (assets under management (AUM)) перевищували 2,2 трлн. євро та були найбільшими в Європі. Amundi є результатом злиття підрозділів з управління активами Crédit Agricole (Crédit Agricole Asset Management (CAAM)) (однойменний банк започаткований у 1885 р. як Société de Crédit Agricole) та Société Générale (Société Générale Asset Management (SGAM)) (однойменний банк започаткований у 1864 р. як Société Générale pour favoriser le développement du commerce et de l'industrie en France (Генеральна компанія з підтримки розвитку торгівлі та промисловості у Франції)) у 2010 р. Amundi Group входить як AMUN у лістинг фондової біржі Euronext з 2015 р. Мажоритарним акціонером Amundi Group є Crédit Agricole S.A.

Euronext утворена у 2000 р. в результаті злиття Амстердамської (заснованої у 1602 р.), Брюссельської (заснованої у 1801 р.) і Паризької (заснованої у 1724 р.) фондових бірж. У 2001 р. Euronext придбала акції Лондонської міжнародної біржі фінансових ф'ючерсів і опціонів (London International Financial Futures and Options Exchange (LIFFE));

заснована у 1982 р.). Euronext NV – пан-європейська фондова біржа, що має філії в 7 країнах Європи – Бельгії (Euronext Brussels), Ірландії (Euronext Dublin), Італії (Borsa Italiana), Нідерландах (Euronext Amsterdam), Норвегії (Euronext Oslo), Португалії (Euronext Lisbon), Франції (Euronext Paris). Euronext надає послуги з торгівлі акціями та деривативами, а також надає послуги клірингу і постачання фінансової інформації.

Подібно до ринків для інших товарів, на оптових ринках електроенергії присутні дві загальні категорії учасників – фундаментальні учасники та спекулятивні гравці. Фундаментальні учасники ринків оцінюють та оптимізують фізичні активи на ринку. Кожний такий учасник підтримує свою позицію покупця чи продавця до моменту постачання, виходячи зі свого конкретного портфеля активів, включаючи споживання, генерацію чи їх комбінацію. Спекулятивні гравці не мають фундаментальної потреби купувати чи продавати електроенергію. Вони беруть участь у ринку, сподіваючись отримати прибуток завдяки купівлі за низькими цінами та продажу за вищими (арбітражу). Діяльність таких гравців не впливає на обсяг торгівлі на ринку, оскільки вони не підтримують позиції постачання електроенергії.

На практиці фундаментальні учасники ринку – це виробники електроенергії, які торгують і продають продукцію своїх електростанцій, та роздрібні торговці електроенергією, які здійснюють її торгівлю та закупівлю для подальшого (пере)продажу своїм кінцевим споживачам. Для компаній, які володіють генеруючими активами та безпосередньо продають електроенергію кінцевим споживачам, частина електроенергії, яка подається в мережу, постачається безпосередньо кінцевим споживачам без ринкових посередників. Коли енергокомпанія виробляє більше енергії, ніж потребують її клієнти, і продає надлишок на оптовому ринку, то таку компанію називають чистим продавцем. Коли роздрібний продавець виробляє менше електроенергії, ніж потребують його клієнти, і купує її на оптовому ринку, то такого продавця називають чистим покупцем електроенергії. У новому тисячолітті до цих традиційних учасників додається новий клас фундаментальних учасників ринку – клас агрегаторів для управління попитом (Demand Side Management (DSM)) чи маломасштабних відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Агрегатори діють від імені групи виробників та/або

споживачів, об'єднуючи активи, якими вони можуть керувати на оптовому ринку.

В Європі активними учасниками оптового ринку є також TSOs, хоча їх діяльність регулюється. TSOs втручаються у спотові ринки, щоб компенсувати втрати у мережі передачі. В Німеччині TSOs також відповідають за продаж електроенергії, що субсидується за регуляторною схемою зелених тарифів (feed-in tariff). Зазначимо, що в США ISOs не компенсують втрати в мережі, які мають враховуватися трейдерами у своїх угодах.

Торгові компанії, хедж-фонди та банки також увійшли в оптові ринки електроенергії завдяки лібералізації. Вони зазвичай здійснюють операції спекулятивного трейдингу чи торгують від імені своїх клієнтів. Такі фінансові учасники займають позиції на довгостроковому ринку деривативів і спотовому ринку, надаючи послуги доступу до ринку різноманітним іншим контрагентам.

Електроенергією можуть торгувати на так званих організованих ринках (які управляються біржами електроенергії), а також поза біржею (Over-The-Counter (OTC)) на двосторонній основі між продавцем і покупцем або на основі послуг посередників (брокерів). Електроенергетичні біржі проводять аукціони та функціонують як безперервні двосторонні (double-sided) ринки. Брокери зазвичай пропонують своїм клієнтам супровідну підтримку в телефонному режимі та/або в режимі безперервного відображення торгових операцій на екрані (screen trading coverage).

OTC-транзакції є двосторонніми неаноніmnими операціями між покупцем і продавцем з ризиком контрагента (counterparty risk), яким управляють на двосторонній основі за присутності та відсутності брокера. Вказаний ризик – це невиконання зобов'язань (наприклад, несплата чи непоставка) стороною за її контрактом. Водночас біржі електроенергії дають доступ до аноніmnих ринків, створюючи рівні умови серед усіх учасників, включених до лістингу. Ці біржі працюють завдяки централізації ризиків контрагентів через клірингову палату (clearing house), яка гарантує виконання всіх фінансових зобов'язань учасників торгів шляхом щоденного врегулювання прибутків і збитків, а також завдяки маржинуванню (margining) та забезпеченню заставою (collateralization). Маржинування (margin trading) дозволяє інвестору

підвищувати свою купівельну спроможність, позичаючи кошти у брокера для придбання більшої кількості активів, ніж інвестор міг б придбати лише за допомогою своїх наявних коштів. Таке кредитне плече (leverage) може посилювати потенційну прибутковість і пов'язані з нею ризики. ОТС-транзакції можуть записуватися для клірингу на біржах електроенергії, щоб усувати ризики контрагентів.

В США та ЄС функціонують спеціалізовані великі товарні біржі, такі як:

- European Energy Exchange (EEX; результат злиття LPX Leipzig Power Exchange та Frankfurt-based EEX у 2002 р.);
- Intercontinental Exchange (ICE; заснована у 2000 р.; ICE у лістингу біржі NYSE (заснована у 1792 р.));
- Chicago Mercantile Exchange (CME; заснована у 1898 р.);
- Nasdaq (заснована у 1971 р.).

Вони здійснюють операції з енергетичними деривативами. У новому тисячолітті в Європі запроваджується модель біржових альянсів. Усталені фондові біржі придбають контрольні пакети (TSOs придбають міноритарні пакети) та інтегрують спотові та/або деривативні ринки електроенергії зі своїми товарними активами. Крім вищезгаданих, прикладами бірж також є:

- Nasdaq OMX Commodities Europe (Nasdaq OMX Oslo ASA (Nord Pool до 2010 р.); єдиний фінансовий енергетичний ринок для Данії, Норвегії, Швеції, Фінляндії, заснований у 1996 р.);
- ICE Endex (регульована енергетична біржа, яка пропонує послуги з торгівлі, клірингу, ринкових даних щодо європейського природного газу, електроенергії, викидів, вугілля, акціонерних деривативів, функціонуючи як центральний ринковий майданчик (marketplace) для ризик-менеджменту та виявлення (discovery) цін на континентальному енергетичному ринку; заснована у м. Амстердам (Нідерланди) у 2013 р.);
- EPEX (European Power Exchange) SPOT SE (європейська біржа електроенергії, яка працює в Австрії, Бельгії, Великобританії, Данії, Люксембурзі, Нідерландах, Німеччині, Норвегії, Польщі, Фінляндії, Франції, Швейцарії, Швеції; заснована у 2008 р.);
- IDEX (Italian Derivatives Energy Exchange; заснована у 2008 р.);
- London Stock Exchange (LSE; започаткована у 1571 р.);

– Nord Pool AS (заснована у 1993 р.; раніше – Nord Pool Spot).

Ліквідність є бажаною характеристикою конкурентного ринку. Її можна визначати як здатність швидко здійснювати операції з мінімальним впливом на ціни. Ліквідність забезпечується високим рівнем торговельної активності та значною кількістю активних учасників ринку. Вона може вимірюватися ціновою резильєнтністю (resilience) для аукціону, спредом (spread) між цінами попиту та пропозиції, глибиною ринку для безперервного ринку (continuous market).

Показником загальної ринкової активності є так зване співвідношення відтоку (churn ratio) – відношення обсягів торгів на оптовому ринку до внутрішнього споживання електроенергії (яке вважається індикатором фундаментальних потреб трейдингу).

Часто використовуваним показником ліквідності є рівень відтоку (churn rate) – кількість разів, коли електроенергією, виробленою на ринку, згодом торгують. Цей рівень надає інформацію про відношення загального обсягу торгівлі електроенергією (включаючи біржові угоди та (позабіржові) ОТС-ринки) до споживання електроенергії за певний період часу. Рівень відтоку також обчислюється як відношення обсягу всіх торгових угод за всіма проміжками часу, виконаних на даному ринку, до загального попиту цього ринку. Наприклад, ліквідність на внутрішньодобовому (intraday (ID)) ринку може бути виражена як співвідношення між обсягами торгів на цьому ринку та попитом. Рівень відтоку клієнтів в енергетичному секторі стосується швидкості, з якою клієнти припиняють користуватися послугами певного постачальника енергії. Середній рівень відтоку залежить від регіону та дерегуляції: наприклад, на дерегульованому ринку США цей рівень становив близько третини, що приблизно втричі більше рівня відтоку в Європі. Ключові фактори відтоку – високі чи флюктуюючі ціни, невдоволення обслуговуванням клієнтів, привабливіші пропозиції конкурентів, зростаючий інтерес до ВДЕ. Щоб зменшувати відтік, енергокомпанії можуть зосереджуватися на пропонуванні конкурентних і передбачуваних тарифів, поліпшенні обслуговування клієнтів за допомогою варіантів самообслуговування, задоволенні споживчого попиту на рішення для сталого розвитку енергетики.

В Німеччині, найбільшому ринку електроенергії ЄС для спотових і деривативних операцій, квартальне значення цього відношення було

в діапазоні від 10 до 19 у 2014–2017 рр. [11]. Це відношення було в кілька разів меншим у Великобританії, ще меншим – у Франції, найменшим – у Центральній та Східній Європі. З даними енергоринків працюють провідні фінансово-економічні організації світу.

У 2007 р. після об'єднання фондових бірж Торонто (заснована у 1861 р.) та Монреалю (заснована у 1832 р.) Канади була започаткована TMX Group Limited – компанія фінансових послуг, яка керує біржами акцій, фіксованого доходу, деривативів, енергоринків. Компанія надає послуги, що охоплюють лістинг, трейдинг, кліринг, фінансове врегулювання (settling), а також депозитарні, інформаційні, технологічні послуги для міжнародної фінансової спільноти. TMX Group найбільш відома своїми фондовими біржами – Торонтською фондовою біржею (Toronto Stock Exchange (TSX)), яка обслуговує ринки вищих цінних паперів, та венчурної біржею TSX (TSX Venture Exchange (TSXV); заснована у 1999 р.; раніше – Канадська венчурна біржа (Canadian Venture Exchange (CDNX)), яка обслуговує ринок публічних венчурних акцій.

Старші акціонерні цінні папери – це такі акціонерні цінні папери, які мають старший ранг або інші переваги над звичайними акціями стосовно права голосу, права на дивіденди, права на ліквідацію, розпуск, закриття (winding up) тощо. Публічний ринок венчурних акцій стосується інвестування капіталу в акції компаній, якими публічно торгують, з метою досягнення їх зростання та прибутковості, часто за допомогою стратегій, подібних до стратегій венчурного капіталу, спрямованих на високий потенціал зростання.

TSXV також володіє та керує іншими біржами в Канаді, включаючи Монреальську біржу й електронну біржу TSX Alpha Exchange (TSXA; заснована у 2015 р.), депозитарними, кліринговими, розрахунковими компаніями Канади, а також кредитно-дефолтними свопами (credit default swaps (CDSs)). CDS – це угода про фінансовий своп, за якою продавець CDS компенсує покупцеві у разі дефолту боргу (боржником) або іншої кредитної події, тобто страхує покупця від дефолту за певним референтним (еталонним) активом. Покупець CDS здійснює серію платежів (комісію чи спред за CDS) продавцю та в обмін може очікувати отримання виплати в разі дефолту за активом. TMX Group також володіє та керує TMX Equity Transfer Services (започаткована у

1990 p.), Shorcan Brokers Limited (заснована у 1977 p.), Канадською кліринговою корпорацією деривативів (Canadian Derivatives Clearing Corporation (CDCC); заснована у 1975 p.), а також частками в CanDeal. ca Inc. (заснована у 2001 p.) та Boston Options Exchange (BOX Options Exchange; заснована у 2002 p.). Іншими помітними дочірніми компаніями (subsidiaries) TMX Group є Trauport Limited (заснована у 1993 p.), розробник електронної торгової платформи Joule (заснована у 2011 p.) для енергетичних ринків, та компанія TMX Datalinx (заснована у 2011 p.), яка надає продукти та послуги з обробки даних.

Лондонська асоціація енергетичних брокерів (London Energy Brokers' Association (LEBA); заснована у 2003 p.) представляє провідних брокерів з енергетики та викидів на позабіржових і біржових ринках. LEBA створила контрольні індекси для ринків електроенергії та вуглецю. До LEBA входять 10 великих брокерів: APX (Amsterdam Power Exchange; заснована у 1999 p.) Power UK (заснована у 2000 p. як UKPX), Aspen Oil Broking (заснована у 1981 p.), CantorCO2e (заснована у 1992 p.), Evolution Markets (заснована у 2000 p.), GFI Group (заснована у 1987 p.), ICAP Energy (заснована у 1993 p.), PVM Oil Associates (заснована у 1971 p.), Spectron Group (заснована у 1988 p.), Tradition Financial Services (започаткована у 1959 p.), Tullet Prebon Energy (започаткована у 1997 p.).

5. Висновки

Учасники ринку ведуть торгівлю електроенергією до її фактичного постачання кінцевим споживачам (домогосподарствам, підприємствам або промисловості) через мережу в силу специфіки цього ринку. Трансакція є контрактною угодою між покупцем і продавцем про обмін певного обсягу електроенергії (вимірюваного у мегават-годинах) протягом даного періоду постачання, у даному місці та за даною ціною. Виходячи з теоретичних засад організації ринків електроенергії та деяких основних принципів їх проектування, уваги заслуговує їх функціонування на практиці. Дослідження функціонування оптових ринків електроенергії зосереджується на ринку деривативів і спотовому ринку, щоб аналізувати їх основні характеристики, продукти для торгівлі, торгові майданчики, торговельні правила та процеси, а також деякі потенційні проблеми. На лібералізованому енергоринку

вертикально інтегрована монополія не ухвалює рішення, які з активів з найменшими витратами слід підключати чи відключати, щоб задовольняти попит на електроенергію. При цьому централізована монополія не визначає місце, час та об'єкт інвестицій. Ці рішення децентралізовано ухвалюють учасники ринку, виходячи з довгострокових або короткострокових цін на електроенергію. На лібералізованому ринку електроенергії її обсяг, який подають в систему генератори, залежить від ціни електроенергії та від доходів генераторів, які вони отримують від оптових ринків і допоміжних послуг. Економічна рента має відшкодовувати незворотні інвестиційні витрати на спорудження електростанції (ануїтети капітальних витрат) і постійні витрати на експлуатацію та технічне обслуговування (operations and maintenance (O&M)), щоб ці інвестиції та витрати були окупними.

Компенсація викидів вуглецю – це дії, що вживаються для збалансування або компенсації викидів вуглекислого газу шляхом фінансування проєктів, що зменшують або видаляють еквівалентний двоокис вуглецю з атмосфери. Ці проєкти можуть включати відновлювану енергетику, лісовідновлення чи інші ініціативи сталого розвитку, які знижують загальний обсяг парникових газів. По суті, такі проєкти дозволяють окремим особам або організаціям ефективно нейтралізувати свій вуглецевий слід, підтримуючи діяльність, яка зменшує викиди деінде. Дослідження здійснено в рамках проєкту «Розвиток розподіленої енергетики в умовах ринку електричної енергії України з використанням технологій та систем цифровізації» НАН України.

Список літератури:

1. Gorbachuk V., Bardadym T., Rybachok D. International practices and national transfer pricing in energy. *Transfer Pricing in Ukraine: a System of Analytical, Digital, and Control Management*. Riga, Latvia: Baltija Publishing, 2025. P. 29–56.
2. Горбачук В.М., Єрмольєв Ю.М., Єрмольєва Т.Ю. Двоетапна модель еколого-економічних рішень. *Вісник Одеського національного університету. Економіка*. 2016. Т. 21. Вип. 9. С. 142–147.
3. Горбачук В., Гавриленко С. Вплив ціноутворення хмарних сервісів на прибуток провайдера, споживчий надлишок і суспільний добробут. *Проблеми програмування*. 2020. № 2–3. С. 237–245.
4. Горбачук В.М., Макаренко О.С. Особливості прийняття рішень людиною для розв'язання складних міждисциплінарних проблем. *Системні дослідження та інформаційні технології*. 2017. № 3. С. 73–87.

5. Vassilopoulos P., Lahmar E. The trading of electricity. The Palgrave Handbook of International Energy Economics. M. Hafner, G. Luciani (eds.). Cham, Switzerland: Palgrave Macmillan, 2022. P. 407–437.
6. Ahlqvist V., Holmberg P., Tangerås T.P. Central- versus self-dispatch in electricity markets. IFN Working Paper. 2018. 1257. Stockholm, Sweden: Research Institute of Industrial Economics (Institutet för Näringslivsforskning (IFN)), 2018. 26 p.
7. Wilson R. Architecture of power markets. *Econometrica*. 2002. 70 (4). P. 1299–1340.
8. Stoft S. Power System Economics. Wiley-IEEE Press, 2002. 496 p.
9. Value of Lost Load (VoLL). European Union Electricity Market Glossary. URL: <https://www.emissions-euets.com/internal-electricity-market-glossary/966-value-of-lost-load-voll> (дата звернення: 11.01.2025).
10. Горбачук В.М., Дунаєвський М.С., Ніколенко Д.І. Принципи ціноутворення на ринках електроенергії. *Наука і техніка сьогодні*. 2025. № 8. С. 1246–1261.
11. Quarterly report on European electricity markets. 2017. 10 (4). Brussels, Belgium: Market Observatory for Energy; Directorate-General for Energy, 2018. 38 p.

References:

1. Gorbachuk V., Bardadym T., Rybachok D. (2025) International practices and national transfer pricing in energy. Transfer Pricing in Ukraine: a System of Analytical, Digital, and Control Management. Riga, Latvia: Baltija Publishing, pp. 29–56. (in Ukrainian)
2. Gorbachuk V.M., Ermoliev Y.M., Ermolieva T.Y. (2016) Dvoetapna model ekoloho-ekonomichnykh rishen' [Two-stage model of ecological and economic decisions]. *Visnyk Odes'koho nacional'noho universytetu. Ekonomika – Odesa National University Herald. Series: Economy*, 21, 9, pp. 142–147. (in Ukrainian)
3. Gorbachuk V., Garvilenko S. (2020) Vplyv tsinoutvorennia khmarnykh servisiv na prybutok provaidera, spozhyvchyi nadlyshok i suspilnyi dobrobut [The impact of cloud services pricing on provider profit, consumer surplus, and social welfare]. *Problemy prohramuvannia – Problems of Programming*, № 2–3, pp. 237–245. (in Ukrainian)
4. Gorbachuk V.M., Makarenko O.S. (2017) Osoblyvosti pryjnyattya rishen' lyudynoyu dlya rozv'yazannya skladnykh mizhdyscyplinarnykh problem [The features of human decision making for complex interdisciplinary problems solution]. *Systemni doslidzhennya ta informacijni tehnolohiyi – System Research and Information Technologies*, 3, pp. 73–87. (in Ukrainian)
5. Vassilopoulos P., Lahmar E. (2022) The trading of electricity. The Palgrave Handbook of International Energy Economics. M. Hafner, G. Luciani (eds.). Cham, Switzerland: Palgrave Macmillan, pp. 407–437.

6. Ahlqvist V., Holmber, P., Tangerås T.P. (2018) Central- versus self-dispatch in electricity markets. IFN Working Paper, 1257. Stockholm, Sweden: Research Institute of Industrial Economics (Institutet för Näringslivsforskning (IFN)), 26 p.
7. Wilson R. (2002) Architecture of power markets. *Econometrica*, 70 (4), pp. 1299–1340.
8. Stoft S. (2002) Power System Economics. Wiley-IEEE Press, 496 p.
9. Value of Lost Load (VoLL). European Union Electricity Market Glossary. Available at: <https://www.emissions-euets.com/internal-electricity-market-glossary/966-value-of-lost-load-voll> (accessed January 11, 2025).
10. Gorbachuk V.M., Dunaievskyi M.S., Nikolenko D.I. (2025) Pryntsyropy tsinoutvorennia na rynkakh elektroenerhii [Principles of pricing in electricity markets]. *Nauka i tehnika сьогодні – Science and Technology Today*, № 8, pp. 1246–1261. (in Ukrainian)
11. Quarterly report on European electricity markets. (2018) 2017, 10 (4). Brussels, Belgium: Market Observatory for Energy; Directorate-General for Energy, 38 p.