

УДК 621.311

Стрелков М.Т., канд.техн.наук;  
Стрелкова Г.Г., канд.фіз.-мат.наук;  
Романченко О.С., магістр.  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна

## ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРАКТНИХ СИСТЕМ НА ЄВРОПЕЙСЬКИХ РИНКАХ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ЗА НАЯВНОСТІ ГЕНЕРАЦІЇ З ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ<sup>1</sup>

**Анотація.** У роботі розглянуто контрактну систему ринку електричної енергії як підсистему інтегрованої системи ринку електроенергії. На прикладі низки європейських ринків електроенергії проаналізовано існуючі підходи до організації контрактних систем за наявності генерації з відновлюваних джерел енергії у контексті зменшення ризику небалансу в енергетичній системі. Надана оцінка щодо стану впровадження в Україні конкурентних ринкових інструментів для ефективного залучення генерації з відновлюваних джерел енергії.

**Ключові слова:** ринок електричної енергії, контрактна система, субринки товарного ринку електроенергії, генерація з відновлюваних джерел енергії, небаланс енергосистеми.

**Abstract.** The paper considers the contract system of the electricity market as a subsystem of the integrated electricity market system. On the example of a number of European electricity markets, the existing approaches to the organization of contract systems in the presence of generation from renewable energy sources in the context of reducing the risk of imbalance in the energy system are analyzed. An assessment of the state of implementation of competitive market instruments in Ukraine for the effective involvement of generation from renewable energy sources is given.

**Key words:** electricity market, contract system, submarkets of commodity electricity market, generation from renewable energy sources, energy system imbalance.

### Вступ

За останні десятиліття у великій кількості країн відбувся динамічний розвиток переривчастих відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), серед яких вітер та сонце грають ключову роль [1]. Лише з 2005 по 2014 роки генерація за рахунок ВДЕ в країнах Європейського союзу зросла на 87,8%, з 495,7 ГВт-год. до 930,9 ГВт-год. У 2016 році вона складала 29,6% від загальної валової генерації електроенергії. Збільшення введених в роботу ВДЕ впливає як на ринок електроенергії, так і на систему розподілу електроенергії. З одного боку, це приводить до зменшення кількості викидів CO<sub>2</sub> та зниженню оптових цін на електроенергію. З іншого ж боку, поширення використання ВДЕ створює нові виклики для учасників ринку. Обсяги електроенергії, генеровані вітровими та фотоелектричними установками, сильно залежать від погодних умов, а отже, є мінливими і важко прогнозованими. У деяких країнах, таких як Німеччина, Іспанія, Італія, Польща, електроенергії, виробленій за рахунок відновлюваних джерел енергії, надається пріоритет під час розподілу, а також фіксований тариф на передачу. Як результат, ціни на ринку на добу наперед набувають більш непередбачуваної поведінки, такої як сплески або негативні значення. Генерація електроенергії з ВДЕ збільшує ризик небалансу в енергетичній системі, оскільки нееластичний попит має покриватися стохастичною пропозицією.

### Мета та завдання

<sup>1</sup> Робота виконана в рамках Міжнародного проекту в сфері освіти «Підготовка та впровадження програми спільного навчання другого ступеня – Енергетика нового покоління» за програмою КАТАМАРАН Польського національного агентства академічних обмінів NAWA

Метою роботи є визначення підходів до організації контрактних систем європейських ринків електричної енергії за наявності генерації електроенергії з ВДЕ у контексті зменшення ризику небалансу в енергетичній системі.

Досягнення поставленої мета потребує вирішення наступних завдань.

1. Розглянути контрактну систему в складі інтегрованої системи ринку електричної енергії.
2. Проаналізувати існуючі підходи на європейських ринках електроенергії до організації контрактних систем за наявності генерації з відновлюваних джерел енергії.
3. Оцінити стан впровадження в Україні інструментів контрактної системи для залучення генерації електроенергії з відновлюваних джерел енергії.

### **Матеріал і результати досліджень**

#### **Контрактна система як складова інтегрованої системи ринку електричної енергії.**

Ринок електроенергії разом із його внутрішнім та зовнішнім середовищем утворює складну адаптивну соціально-технічну систему, яка складається з великої кількості різномірних за своєю природою елементів. Як наслідок, система ринку електроенергії є штучно створеною інтегрованою системою, яка складається з ринкових, інфраструктурних та інституційних компонент [2].

В інтегрованій системі ринку електроенергії існують товарний ринок електроенергії, ринок транспортних послуг та ринок допоміжних послуг. Ці ринки взаємозалежні та взаємопов'язані між собою, утворюючи тим самим так звану систему вбудованих (задіяних) ринків. Вбудовані ринки входять до системи першого порядку та мають часові і просторові рамки, оскільки економічна цінність електроенергії диференціюється за часом використання та місцем споживання.

До інфраструктурної системи, як системи другого порядку, входять технологічна система та комерційна система. Технологічна система складається з технічної та виробничої систем, які є її дзеркальними відображеннями. Комерційна система включає в себе торгівельну та контрактну системи, які є її доповнюваними відображеннями.

До складу торгівельної системи входять оптовий та роздрібний ринки електроенергії. Контрактну систему, як упорядковану у часі сукупність торгових операцій, утворюють спотовий та контрактний ринки електроенергії, поділяючи останні на ринки фізичних і фінансових контрактів. Якщо торгівельна система відповідальна за побудову (структуру) комерційної системи, то контрактна система відповідальна за її функціонування (просторову та часову організацію). Прикладами організації контрактної системи є субринки товарного ринку електроенергії, а саме, ринок двосторонньої торгівлі (форвардний та ф'ючерсний ринки), ринок на добу наперед, внутрішньодобовий ринок та балансуючий ринок.

Системою третього порядку є інституційна система, яка як сукупність формальних і неформальних інституцій, складається з політичної, адміністративної та поведінкової систем.

Комерційна система, не маючи просторових та часових обмежень, може існувати невизначено довго та розвиватись екстенсивно, поступово розширюючи комерційний простір інтегрованої системи ринку електроенергії.

**Аналіз існуючих європейських підходів до організації контрактних систем ринків електроенергії за наявності генерації з відновлюваних джерел енергії.** В даний час в Європі основна частка електроенергії продається та купується на енергетичних біржах, таких, наприклад, як Nord Pool Spot (Скандинавський і Балтійський регіон), EPEX Spot (Франція, Німеччина, Австрія та Швейцарія), Omel (Іспанія), IPEX (Італія), через короткострокові форвардні угоди «на добу наперед». Ціни «на добу наперед», які в Європі ще називають «спотовими цінами», встановлюються близько полудня в день, що передуює фізичному виконанню контрактів з постачання електроенергії. У 2014 році на території Європи 21 ринок

на добу наперед був об'єднаний в один інтегрований європейський ринок на добу наперед.

Для того, щоб дозволити прийняття торгових контрактів у разі незапланованих подій та мінливих погодних умов, ринки на добу наперед доповнюються внутрішньодобовими і балансуєчими ринками. Внутрішньодобові ринки, що організуються біржами електроенергії, можуть мати форму аукціонів (Іспанія) або безперервної торгівлі (Німеччина). Вони дозволяють купувати та продавати електроенергію впродовж усього дня. Остаточне врівноваження попиту та пропозиції досягається за рахунок балансуєчих ринків, які контролюються операторами систем передачі (ОСП) та спрямовані на забезпечення стабільності енергетичних системи. Однак у деяких країнах (Польща), вони застосовуються також для короткострокових операцій замість внутрішньодобових ринків. Серед європейських ринків електроенергії національні ринки Іспанії та Німеччини є найбільш розвинутими та досвідченими за кількістю субринків товарного ринку електроенергії [3-5].

Німеччина добре відома своїми успіхами у впровадженні ВДЕ, які вже у 2019 році склали 40,2% від загальної кількості виробництва електроенергії. В країні існує енергетична біржа EPEX Spot для ринку на добу наперед і внутрішньодобового ринку та енергетична біржа EEX для форвардних і ф'ючерсних угод. Формою організації торгівлі на внутрішньодобовому ринку є безперервна торгівля за принципом «рау-as-bid», яка доповнюється аукціонами. Внутрішньодобовий ринок є доволі ліквідним і дозволяє адаптувати торгові контракти до різних умов, наприклад, до переривчастої генерації електроенергії з ВДЕ. Негативні ціни дозволені як на ринку на добу наперед, так і на внутрішньодобовому ринку. Система врегулювання дисбалансів являє собою єдину систему ціноутворення, де ціни на відхилення балансуєчої групи розраховуються на 15-хвилинній основі [3].

Генерація електроенергії в Польщі базується на вугіллі, з часткою ВДЕ лише на рівні 8,4% від загальної кількості виробництва електроенергії. Продаж та закупівля електроенергії здійснюється переважно через POLPX, Польську біржу електроенергії, на ліцензованому енергетичному ринку у формі стандартних угод та контрактів. ОСП укладає угоди на балансуєчому ринку і ціна дисбалансу є граничною ціною на цьому ринку. Балансуєчий ринок, який є основним щодо коригування контрактів, застосовує систему двох цін. Балансуєчі ціни завжди залишаються додатними та мають знаходитись у певному ціновому інтервалі [5].

У Великій Британії наразі діє єдиний ринок електроенергії, який обслуговується біржею APX (Велика Британія, Нідерланди, Бельгія) та складається із форвардного та ф'ючерсного ринків, а також балансуєчого ринку. На останньому за годину до кожного півгодинного періоду розподілу виробники зобов'язані повідомити ОСП про обсяги електроенергії, які вони мають за контрактами, та очікуваний ними виробіток електроенергії. Постачальники електроенергії повинні задекларувати суму грошей, на яку вони уклали угоди та яку очікують отримати від своїх клієнтів. Процес врегулювання небалансу здійснює платежі тим та від тих учасників ринку електроенергії, чії договірні позиції не відповідають їх фактичному виробітку чи споживанню. Ціна дисбалансу єдина, але її неможливо точно спрогнозувати [5].

У Скандинавському і Балтійському регіонах ринки електроенергії на добу наперед та внутрішньодобові ринки керуються енергетичною біржею Nord Pool Spot. Безперервна внутрішньодобова торгівля, так само як в Німеччині та Великій Британії, охоплює 15-хвилинну, 30-хвилинну, погодинну та блочну продукцію. Ціни встановлюють за принципом, хто перший прийшов, того першого і обслуговують, де пріоритет мають найнижча ціна продажу та найвища ціна купівлі. Врегулювання небалансу на ринку Швеції відбувається кожні два місяця за системою двох цін, які є різними для небалансів в тому ж і протилежному напрямку до загального небалансу енергетичної системи. На ринку Норвегії розрахунок й оплата небалансу відбувається щотижня за єдиною ціною небалансу, яка дорівнює граничній ціні балансування. На ринку Данії врегулювання небалансу відбувається щомісяця за системою двох цін. На ринку Фінляндії врегулювання небалансу відбувається щомісяця, але

небаланси виробництва врегульовуються за системою двох цін, а небаланси споживання – за єдиною ціною [3].

Виробництво електроенергії з ВДЕ є важливим фактором, що впливає на функціонування ринку електроенергії в Італії. Частка ВДЕ збільшилася завдяки суттєвій підтримці та пріоритету під час розподілу, що надаються на ринку на добу наперед, на якому заявки на величину прогнозу переривчастої генерації з ВДЕ подаються з нульовою ціною. Торгівля на біржі електроенергії не є обов'язковою, оскільки дозволені позабіржові операції. Власники генерації з ВДЕ можуть торгувати на ринку на добу наперед та використовувати сесії внутрішньодобового ринку для коригування обсягів свого виробництва на основі більш точних прогнозів сонячного випромінювання або швидкості вітру. У міру наближення часу фізичної доставки вирішується невизначеність щодо фактичної генерації з переривчастих ВДЕ і забезпечення необхідного для цього регулювання потужності традиційними маневреними електростанціями. Тому ринок електроенергії з високою часткою ВДЕ значною мірою покладається на балансуючий ринок [3, 6].

**Стан впровадження в Україні конкурентних ринкових інструментів для залучення генерації з відновлюваних джерел енергії.** Розвиток ВДЕ є одним з пріоритетних напрямків енергетичної політики України [7-8]. Сьогодні розвиток сектору генерації електроенергії з ВДЕ базується на Законах України «Про ринок електричної енергії» та «Про альтернативні джерела енергії», які, зокрема, визначають систему підтримки ВДЕ та засади стимулювання проектів з виробництва електроенергії. Діюча система підтримки ВДЕ базується на законодавчо визначеному, фіксованому «зеленому» тарифі, за яким держава зобов'язується викуповувати всю електроенергії з ВДЕ.

Чинна в Україні система «зелених» тарифів свого часу дала поштовх розвитку ВДЕ, але з часом накопичила цілу низку проблем, які стосуються як товарного ринку електроенергії, так і самої об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України. Останні обумовлені обмеженими можливостями ОЕС України до інтеграції об'єктів з негарантованим відпуском електроенергії, що піднімає питання забезпечення балансової надійності ОЕС України.

В Україні середня похибка прогнозування виробництва електроенергії з ВДЕ на ринку на добу наперед є значною, що спричиняє додаткові витрати за врегулювання небалансів, які залежать від цін на балансуючому ринку. Для вирішення цієї проблеми потрібен ефективний внутрішньодобовий ринок.

Відповідальність виробників електроенергії з ВДЕ за свій небаланс фактично відсутня, і вартість врегулювання небалансів перекладається на споживачів. Як наслідок, збільшення в енергобалансі частки ВДЕ із фіксованим «зеленим» тарифом збільшує загальну вартість електроенергії.

Україні слід перейти від діючої системи фіксованих «зелених» тарифів до конкурентних механізмів визначення тарифів на викуп електроенергії з ВДЕ, які б стимулювали конкурентні процеси та швидко реагували на виклики ринку. На сьогодні найбільш розповсюдженим механізмом є проведення аукціонів для визначення величини державної підтримки у вигляді тарифів на електроенергію з ВДЕ. За таких підходів електроенергія з ВДЕ може продаватись на конкурентному ринку, а держава гарантуватиме доплату різниці між ринковою ціною та визначеною ціною підтримки.

## **Висновки**

Контрактна система як упорядкована у часі сукупність торгових операцій на ринку електричної енергії є складовою комерційної системи ринку електроенергії, яка у свою чергу входить до інтегрованої системи ринку електричної енергії.

Проведений аналіз контрактних систем ринків електричної енергії європейських країнах показав різноманітність підходів до їх організації, спрямованої на синхронізацію виробництва і споживання електроенергії за наявності генерації з відновлюваних джерел енергії.

Порівнюючи організацію контрактних систем ринків електричної енергії європейських країн та України, підґрунтям подальшого розвитку сектору відновлюваної енергетики України має стати оновлення діючої системи підтримки відновлюваних джерел енергії, зокрема, шляхом запровадження аукціонів для визначення величини державної підтримки.

Створення розвиненого конкурентного ринку електричної енергії, в першу чергу за рахунок ефективних внутрішньодобового та балансуючого ринків, дозволить зменшити невизначеність щодо обсягів генерації з відновлюваних джерел енергії та підвищити відповідальність за небаланси, сприяючи тим самим забезпеченню балансової надійності об'єднаної енергетичної системи України.

### **Перелік використаних джерел**

1. Виробництво електроенергії сонячними електростанціями: світові тенденції і стан в Україні / Г.Г.Стрелкова // Енергетика: економіка, технології, екологія. – № 2 (40). – 2015. – С.78-86.
2. Integrated Electricity Market System / Strelkov M., Strelkova H., Ishchenko O. //2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (ESS). – IEEE, 2019. – P.359-364.
3. Overview of European Electricity Markets /European Commission // METIS Technical Notes. – February 2016.
4. Auction design in day-ahead electricity markets / J. Contreras, O. Candiles, J.I. de la Fuente and T. Gomez // IEEE Transactions on Power Systems. – Vol. 16, no. 3. – Aug. 2001. – P. 409-417.
5. Day-Ahead vs. Intraday – Forecasting the Price Spread to Maximize Economic Benefits / Maciejowska Katarzyna, Nitka Weronika, Weron Tomasz // Energies. – 2019, 12, 631.
6. The Impact of RES in the Italian Day-Ahead and Balancing Markets / Gianfreda Angelica, Parisio Lucia, Pelagatt Matteo // The Energy Journal. – December 2015.
7. Аналіз розвитку відновлювальної енергетики в Україні / Стрелкова Г.Г., Андрушков О.В., Іщенко О.С., Далібожак І.І. // Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку: Збірник праць IV Міжнар. наук.-практ. та навч.-метод. конф., 25-27 квітня 2017 р., Київ. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – С.118-119.
8. Prerequisites for Regulatory Innovations in Ukraine under Renewable Energy Sector Development / Strelkova H., Ghaderi A., Strelkov M., Ishchenko O. // 2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (ESS). – IEEE, 2019. – P.365-370.