

СВІТОВА ЕКОНОМІКА ТА МІЖНАРОДНІ ВІДНОСИНИ

УДК 338.2
JEL Classification: Q48

СЦЕНАРІЇ ПРОГНОЗУВАННЯ АДЕКВАТНОСТІ РОЗВИТКУ ГЕНЕРУЮЧИХ ПОТУЖНОСТЕЙ І МЕХАНІЗМИ ПІДТРИМКИ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ ЄС

©2022 ГУБАРЄВА І. О., САЛАШЕНКО Т. І.

УДК 338.2
JEL Classification: Q48

Губарева І. О., Салашенко Т. І.

Сценарії прогнозування адекватності розвитку генеруючих потужностей і механізми підтримки розвитку електроенергетики ЄС

Наведено узагальнене тлумачення адекватності генеруючих потужностей. Досліджено методи оцінки адекватності генеруючих потужностей відповідно до регламентів і стандартів ЄС. Розкрито особливості прогнозування адекватності розвитку генеруючих потужностей на різних часових інтервалах (довгостроковому, середньостроковому та короткостроковому) за методологічним підходом ENTSO-E. Подано основні сценарії прогнозування адекватності розвитку генеруючих потужностей на середньостроковому та довгостроковому часових інтервалах. Зосереджено увагу на ключових етапах побудови ринкових стохастичних моделей прогнозування попиту та пропозиції електричної енергії відповідно до методологічного підходу ENTSO-E до прогнозування адекватності розвитку генеруючих потужностей: прогнозування погодинного навантаження в електроенергетичній системі; визначення ймовірнісних характеристик електрогенерації на основі кліматичної бази даних; оцінка гнучкості електроенергетичної системи; прогнозування розвитку трансграничних перетоків електричної енергії; оцінка критеріїв адекватності розвитку генеруючих потужностей. Наведено основні методологічні аспекти прогнозування й оцінки адекватності розвитку генеруючих потужностей за кожним з етапів. Для підтримки адекватного розвитку європейської електроенергетики запроваджуються ринкові механізми підтримки, а саме ринку потужностей і ринку відновлюваної електроенергії. Наведено основні типи механізмів функціонування ринку потужностей в ЄС. Розглянуто схеми державної підтримки розвитку відновлюваної електроенергетики в ЄС.

Ключові слова: ринок електричної енергії, державне регулювання, сценарії прогнозування, генеруючі потужності, попит і пропозиція.

DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2022-4-4-12>

Рис.: 1. **Табл.:** 4. **Формул.:** 2. **Бібл.:** 19.

Губарева Ірина Олегівна – доктор економічних наук, професор, заступник директора, Науково-дослідний центр індустріальних проблем розвитку НАН України (пров. Інженерний, 1а, 2 пов., Харків, 61166, Україна)

E-mail: gubarievairyna@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9002-5564>

Researcher ID: <https://publons.com/researcher/1645815/hubarieva/>

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57190439486>

Салашенко Тетяна Ігорівна – кандидат економічних наук, старший науковий співробітник відділу промислової політики та енергетичної безпеки, Науково-дослідний центр індустріальних проблем розвитку НАН України (пров. Інженерний, 1а, 2 пов., Харків, 61166, Україна)

E-mail: tisandch@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1822-5836>

Researcher ID: V-3701-2017

UDC 338.2
JEL Classification: Q48

Hubarieva I. O., Salashenko T. I. The Scenarios for Forecasting the Adequacy of the Development of Generating Capacities, the Mechanisms for Supporting the Development of the Electric Energy Industry of the European Union

A generalized interpretation of the adequacy of generating capacities is presented. Methods for assessing the adequacy of generating capacities correspondent to the EU regulations and standards are examined. The peculiarities of forecasting the adequacy of the development of generating capacities at different time intervals (long-term, medium-term and short-term) according to the methodological approach of ENTSO-E are covered. The main scenarios for forecasting the adequacy of the development of generating capacities at medium-term and long-term time intervals are provided. Attention is focused on the key stages of building the market-based stochastic models for forecasting the supply and demand of electric energy in accordance with the methodological approach of ENTSO-E to predict the adequacy of the development of generating capacities: forecasting the hourly load in the electric energy system; determination of probabilistic characteristics of power generation based on the climate database; assessment of the flexibility of the electric power system; forecasting the development of transboundary flows of electric energy; evaluation of criteria for the adequacy of the development of generating capacities. The methodological

aspects of forecasting and assessing the adequacy of the development of generating capacities for each of the stages are presented. To support the adequate development of the European electric energy industry, the relevant market supporting mechanisms are introduced, namely the capacity market and the renewable electric energy market. The main types of mechanisms for the functioning of the capacity market in the EU are provided. Schemes of government support for the development of renewable electric energy in the EU are considered.

Keywords: electric energy market, government regulation, forecasting scenarios, generating capacities, supply and demand.

Fig.: 1. **Tabl.:** 4. **Formulae:** 2. **Bibl.:** 19.

Hubarieva Iryna O. – Doctor of Sciences (Economics), Professor, Deputy Director, Research Centre of Industrial Problems of Development of NAS of Ukraine (2 floor 1a Inzhenernyi Ln., Kharkiv, 61166, Ukraine)

E-mail: gubarievairyna@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9002-5564>

Researcher ID: <https://publons.com/researcher/1645815/hubarieva/>

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57190439486>

Salashenko Tetiana I. – Candidate of Sciences (Economics), Senior Research Fellow of the Department of Industrial Policy and Energy Security, Research Centre of Industrial Problems of Development of NAS of Ukraine (2 floor 1a Inzhenernyi Ln., Kharkiv, 61166, Ukraine)

E-mail: tisanach@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1822-5836>

Researcher ID: V-3701-2017

Вступ. Відкриття конкуренції на ринку електричної енергії (РЕЕ) зумовлює збільшення невизначеності щодо можливості балансування попиту та пропозиції електроенергії (ЕЕ) як в середньостроковому, так і довгостроковому періодах. Ані держава, ані будь-який учасник РЕЕ окремо не може гарантувати надійності поставки ЕЕ в майбутньому, це можливо лише шляхом об'єднання спільних зусиль держави та учасників ринку на досягнення загальної мети – сталості розвитку електроенергетичної системи. На державному рівні можуть бути визначені механізми координації дій учасників ринку, спрямовані на забезпечення балансу попиту та пропозиції ЕЕ у майбутньому. Передчує впровадженню таких механізмів оцінка (прогнозування) адекватності розвитку генеруючих потужностей (ГП) електроенергетики, тобто здатності наявних джерел електрогенерації покривати споживчі інтереси в ЕЕ.

Аналіз досліджень і постановка завдання. Про актуальність проблеми розвитку РЕЕ свідчить кількість публікацій та активність цитування за цим напрямом у наукометричних базах Scopus та Web of Science. Так, у наукометричній базі Scopus за ключовими словами «ринок електричної енергії» («electricity market») зареєстровано 48111 публікацій, а у Web of Science – 58637 публікацій. Найбільшу кількість публікацій, які присвячені проблемам розвитку РЕЕ країн світу, що індексуються у наукометричній базі Scopus, мають такі автори: Vale Z. (250 публікацій), Wen F. (190 публікацій), Pinto T. (159 публікацій), а у Web of Science – Vale Z. (213 публікацій), Conejo AJ (134 публікацій), Wen F. (129 публікацій).

Серед найбільш цитованих публікацій на особливу увагу заслуговує оприлюднена у 2005 році монографія Т. Ackerhmann (2005) [1], яку було процитовано у журналах, проіндексованих наукометричною базою Scopus, 2308 разів. У цій роботі автор зосередив увагу на виробництві електроенергії з чистих і поновлюваних джерел.

Своєю чергою, серед найбільш цитованих публікацій, проіндексованих наукометричною базою Web of Science, необхідно зазначити статтю Mohsenian-Rad AH та ін. (2010)

[2] (процитовано 1834 рази), в якій представлено автономну і розподілену систему управління споживанням енергії на основі теоретико-ігрового планування.

Метою статті є розкриття особливостей сценаріїв прогнозування адекватності розвитку генеруючих потужностей і механізмів державної підтримки розвитку електроенергетики ЄС.

Результати дослідження. Під адекватністю ГП розуміється взаємозв'язок між наявними ресурсами генерації та попитом на ЕЕ, збалансовані через мережеву інфраструктуру (рис. 1). Адекватність розвитку електроенергетики відображає можливість постійного задоволення попиту на ЕЕ, що гарантує безпеку її постачання в поточному та майбутньому. Оцінка адекватності ГП будується на детерміністичному прогнозі попиту та пропозиції ЕЕ в поєднанні зі стохастичною невизначеністю (кліматичними змінними та ризиками збоїв в електропостачанні) [3].

В основу оцінки адекватності ГП в ЄС покладено вимогу Регламенту № 714 / 2009 щодо необхідності розробки 10-річного плану розвитку систем передачі кожні 2 роки [5]. Однак внутрішніми стандартами ENTSO-E визначено необхідність розробки такого плану на щорічній основі [4; 6] з метою якнайскорішого вжиття заходів щодо подолання невідповідності.

Оцінка адекватності розвитку ГП передчує та є вихідними даними для планування розвитку систем передачі, та проводиться оператором систем передачі (ОСП), хоча безпосередньо реалізація напрямів розвитку ГП знаходиться поза його компетенціями.

Останній виступає лише в якості агрегатора даних та аналітико-моделюючого центру для визначення майбутнього балансу попиту-пропозиції ЕЕ за різних режимів навантаження. Згідно з п. 8.4 Регламенту № 714/2009 прогноз адекватності розвитку ГП повинен охоплювати адекватність пропозиції ЕЕ в електроенергетичній системі для задоволення поточного та майбутнього попиту на ЕЕ як для наступних 5 років, так само як і строк між 5 та 15 роками з дати такого прогнозу [5]. З метою виконання п. 8.3 (b)

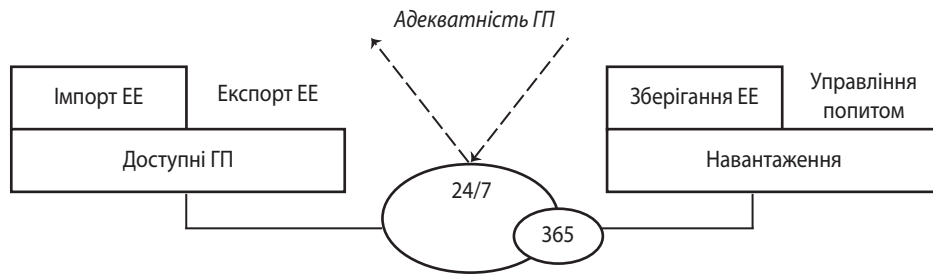


Рис. 1. Узагальнене тлумачення адекватності ГП

Джерело: складено на основі [4]

та п. 8.4 Регламенту № 714/2009 ENTSO-E розробила методологічний підхід до прогнозування адекватності розвитку

ГП, основу якого складає розподіл за різними категоріями використання (табл. 1).

Таблиця 1

Визначальні складові оцінки адекватності ГП

Показник	Тлумачення
Чиста ГП	Максимальна ГП електростанції за активною ЕЕ, яку вона може виробляти безперервно протягом тривалого часу в нормальних умовах. «Чиста» означає різницю між, з одного боку, валовою потужністю генераторів та, з іншого боку, навантаженням допоміжного обладнання та втратами в основних трансформаторах електростанції
Надійно наявна потужність	Частина чистої ГП, яка доступна для покриття навантаження в контрольній точці
Невикористана ГП	Сукупне скорочення чистих ГП з різних причин, включаючи, але не обмежуючись цим. Наприклад: умисні рішення операторів електростанцій; електростанції в експериментальній роботі; електростанції, чия вихідна ГП не може бути повністю введена через обмеження систем передачі; електростанції, чия ГП умисно зменшується на користь інших цілей, таких як виробництва тепла тощо; електростанції, для роботи яких немає достатніх запасів палива; тощо
ГП незаплановані	ГП, які не плануються до роботи в електромережах через різні обставини
ГП на обслуговуванні та капітальному ремонті	Планово недоступні ГП через виконання завдань регулярної перевірки, технічного обслуговування та капітальних ремонтів
ГП у системному резерві	ГП, необхідна для забезпечення безпеки постачання відповідно до правил експлуатації кожного ОСП, необхідна для балансування в годину реального часу
Навантаження	Чиста споживана потужність, яка відповідає середньогодинній активній потужності, що поглинається всіма установками, пов'язаними мережею передачі і / або розподільчою мережею, за винятком насосів ГАЕС. «Чиста» означає, що споживання додаткових послуг виключається, а мережеві втрати включаються при розрахунку навантаження
Запас ГП для покриття пікового сезонного навантаження	Різниця між середнім і максимальним навантаженням протягом сезону (літа або зима) у контрольній точці
Резервна ГП	Відображає додаткові потужності, які мають бути доступні в енергетичній системі для усунення будь-яких непередбачених екстремальних умов

Джерело: складено на основі [4]

Розробивши цей методологічний підхід, ENTSO-E запровадив оцінку та прогнозування розвитку ГП на різних часових горизонтах: довгостроковому – на 20 років; середньостроковому – на 5 років; короткостроковому – на наступні 6 місяців.

Означені часові рамки відбивають різні ризики безпеки функціонування електроенергетичної системи: операційні – у короткостроковому періоді, інвестиційні – у середньостроковому та політико-економічні – у довгостроковому [2; 4; 6]. За результатами розподілу ГП

за категоріями розраховуються 3 синтетичні показники, які є кількісним виміром адекватності їх розвитку [4]:

- надійно наявна потужність (Reliable Available Capacity) як різниця між чистою та недоступною ГП (тобто як знаходиться у системному резерві, на капітальному ремонті, відключена від електромережі або невикористана);
- залишкова потужність (Remaining Capacity) як різниця між надійно наявною потужністю та навантаженням в електромережі;

- запас адекватності (Adequacy Reference Margin) як сума резервної потужності та запасу ГП для покриття пікового сезонного навантаження, що повинна бути доступна у будь-який момент часу для гарантування безпеки поставки ЕЕ.

Для оцінки адекватності використовуються тільки коротко- та середньострокові прогнози, тоді як довгостроковий є кількісним відображенням задекларованих цілей стратегічного розвитку (табл. 2).

Прогнозування адекватності розвитку ГП на середньостроковому часовому інтервалі будується на трьох основних сценаріях [4; 7]:

- сценарій А «Консервативний» (базовий), який враховує всі попередньо прийняті інвестиційні рішення щодо будівництва нових та виводу із експлуатації старих ГП, спираючись на їх життєвий цикл. Прогноз навантаження враховує зміни в електроспоживанні, спираючись на прогнозу динаміку демографічних та економічних чинників та енергоефективності;
- сценарій В «Найкраща оцінка» (цільовий), який передбачає розвиток додаткових нових ГП, навіть якщо відповідні рішення ще неприйняті, виходячи із точки зору ОСП щодо техніко-економічної доцільності;
- сценарій С (стратегічний) передбачає прогнозування розвитку ГП на кінець стратегічного періоду, виходячи із заявлених цілей в енергетичній стратегії.

Кількість сценаріїв збільшується зі збільшенням часового горизонту прогнозування. Так, для короткострокового та середньострокового періодів використовуються 2 сценарії: консервативний (базовий) та найкращий (оптимальний), тоді як в довгостроковому періоді розробляються 3 та більше сценаріїв.

У [7] довгостроковими сценаріями розвитку ГП визначено такі:

- сценарій сталого переходу, який передбачає досягнення національних цілей розвитку електроенергетики через заходи національного регулювання із максимальним використанням наявних ГП та існуючої інфраструктури;
- сценарій дистрибутивної (розподільчої) генерації, в основі якого є збільшення питомої ваги просьюмерів і малих ГП, запровадження технологій зберігання ЕЕ та заміщення різних видів ПЕР у процесі електрогенерації;
- сценарій глобальних кліматичних змін, який зосереджує основну увагу на досягненні цілей із декарбонізації електрогенерації, впровадженні ГП на основі ВДЕ.

Методологічний підхід ENTSO-E до прогнозування адекватності розвитку ГП охоплює такі ключові етапи [4]:

- побудову ринкових стохастичних моделей прогнозування попиту та пропозиції ЕЕ;
- прогнозування погодинного навантаження в електроенергетичній системі;
- визначення ймовірнісних характеристик електрогенерації на основі кліматичної бази даних;
- оцінку гнучкості електроенергетичної системи;
- прогнозування розвитку транскордонних потоків ЕЕ;
- оцінку критеріїв адекватності розвитку ГП.

Далі наведемо основні методологічні аспекти прогнозування та оцінки адекватності розвитку ГП за кожним з етапів.

1 етап. Ринкові стохастичні моделі прогнозування попиту та пропозиції ЕЕ. Середньостроковий прогноз адекватності ГП ENTSO-E базується на стохастичних ринкових моделях і будується на основні ряду припущень і на-

Таблиця 2

Особливості прогнозування адекватності розвитку ГП на різних часових інтервалах за методологічним підходом ENTSO-E

Прогноз	Генеруючі потужності	Часові рамки	Сценарії
Короткостроковий	Загальна ГП визначається для кожного виду палива та ВДЕ. Враховується планова недоступність ГП та надійність ВДЕ-генерації	Прогноз розробляється на щотижневій основі та охоплює наступні 6 міс. Дані акумулюються за синхронним часом кожну середу. Крім того, збираються дані про мінімальний попит на ЕЕ, вимоги щодо резервів на розвантаження, рівень негнучких ГП, попит на зберігання ЕЕ	2 сценарії – для нормальних та найтяжчих умов
Середньостроковий	Передбачається поділ електростанцій за категоріями, із врахуванням деяких операційних обмежень, таких як технічне обслуговування	Прогноз охоплює декілька часових горизонтів та декілька сценаріїв. Контрольною точкою прогнозування є 3-тя середа січня о 18 годині та 3-тя середа липня об 11 годині за центральноєвропейським часом	3 сценарії – стратегічний, консервативний, цільовий
Довгостроковий	Оцінка можливості досягнення національних, європейських, глобальних цілей розвитку електроенергетики	Прогноз охоплює часовий горизонт до 2040 р.	3 сценарії – сталого переходу, розподільчої енергетики, глобальних кліматичних змін

Джерело: складено на основі [4]

ціональних прогнозів, які ENTSO-E акумулює від окремих ОСП.

Основа прогнозування розвитку ГП складає принцип «зустрічних потоків», що дозволяє поєднати національні детермінанти розвитку національних електроенергетичних систем із загальноєвропейським баченням довгострокового енергетичного розвитку майбутнього.

Кожний ОСП самостійно здійснює прогнозування попиту на ЕЕ, ГП та інших елементів, які є вихідною базою для розробки загальноєвропейського прогнозу адекватності розвитку ГП.

2 етап. Прогноз погодинного навантаження в електроенергетичній системі передбачає прогнозування річного середнього попиту на ЕЕ. Для прогнозування базового тренду в електроспоживанні використовуються дані ОСП, на основі яких розробляється середньостроковий консервативний сценарій та довгостроковий сценарій сталого переходу. Решта сценаріїв є похідним від них і враховують корегування для досягнення поставлених цілей. Основними драйверами, які враховуються для прогнозування базового попиту на ЕЕ, є:

- прогноз економічного зростання та зміни демографічних чинників;
- динаміка зміни в енергоефективності;
- розвиток сектора електротранспорту та теплових насосів;
- розвиток технологій зберігання та механізму управління попитом на ЕЕ.

Кінцевим результатом цього етапу є прогнозування тренду базового та пікового навантаження для кожної години в певній ринковій зоні.

Також на цьому етапі відбувається прогнозування споживання ЕЕ на довгострокову перспективу. Базовий прогноз визначається ОСП, тоді як ENTSO-E розробляє стратегічні сценарії виходячи із стратегічного бачення розвитку електроенергетики ЄС.

3 етап. Визначення ймовірнісних характеристик електрогенерації. Для моделювання розвитку потужностей електрогенерації ОСП використовують різні моделі стохастичного моделювання, які спираються на Монте-Карло симуляцію. Таке моделювання спрямовано на визначення маржинальних витрат електрогенерації за ринковими зонами, а не на моделювання поведінки учасників РЕЕ. Головним припущенням є досконалість функціонування РЕЕ. Інструменти ринкового моделювання дозволяють визначити лінійну функцію мінімізації витрат електрогенерації, враховуючи операційні обмеження електроенергетичної системи. Для моделювання сценаріїв розвитку електроенергетики ENTSO-E використовує 3 різні інструменти ринкового моделювання, такі як ANTARES, BID3, PowrSum. Різні програмні продукти спрямовані на різні завдання моделювання, зокрема:

- BID3 – моделювання враховує тільки енергосистему і не містить одиниць перетворення, які можуть виробляти кілька типів енергії;
- ANTARES доповнює BID3 оцінкою адекватності ГП;
- PowrSum – моделювання передбачає вирішення евристичного завдання щодо збалансування попиту та пропозиції ЕЕ.

У рамках цього етапу також відбувається визначення залежності електроспоживання від температури на основі кліматичної бази даних. Залежно від кліматичних умов виділяють декілька зон електроспоживання:

- комфортну зону, яка не потребує додаткового споживання ЕЕ ані для підігріву, ані для охолодження;
- зону підігріву – додаткове споживання ЕЕ для обігріву;
- зону охолодження – додаткове споживання ЕЕ для охолодження;
- зони насичення, в яких додатковий приріст ЕЕ припиняється внаслідок досягнення комфортних умов.

Відтак, оцінка та прогнозування сезонного навантаження в електроенергетичній системі відбуваються на основі регресійної залежності між температурним режимом та електроспоживанням.

4 етап. Оцінка гнучкості електроенергетичної системи впроваджена як додатковий елемент прогнозування розвитку ГП на вимогу розвитку відновлюваних джерел електрогенерації, які залежать від погодних умов. Така оцінка здійснюється з метою визначення швидкої адаптації гарантованих ГП до зміни виробництва ЕЕ негарантованими ГП.

Крива навантаження, що має обслуговуватися диспетчерськими тепловими та гідрогенераторами, визначається як залишкове навантаження (RL), яка представляє різницю між фактичним навантаженням (L) за вирахуванням ГП вітрової (W), сонячної (S) енергетики, а також неманевреними ГП ($mustrun$).

$$RL = L - W - S - mustrun. \quad (1)$$

В подальшому аналіз гнучкості охоплює кількісну оцінку погодинної зміни залишкового навантаження (*residual load ramps analysis*) та відбувається за формулою:

$$R(hi, i+1) = RL(hi+1) - RL(hi). \quad (2)$$

На останньому кроці цього етапу відбувається статистичний аналіз магнітуди позитивних та негативних коливань відновлюваних джерел електрогенерації та визначення обсягу додаткових потужностей для найскладніших умов навантаження в електроенергетичній системі.

5 етап. Прогноз розвитку транскордонних перетоків ЕЕ враховує національні та узгоджує із загальноєвропейськими плани розвитку щодо транскордонних потужностей із передачі ЕЕ з метою утворення єдиного європейського РЕЕ на території інтеграційного об'єднання та поза його межами.

6 етап. Завершується прогноз адекватності розвитку ГП оцінкою якісних індексів адекватності розвитку, які відображають здатність електроенергетичної системи забезпечити споживчий попит необхідними ГП з урахуванням її операційних обмежень. Зазначена оцінка передбачає розрахунок таких критеріїв:

- 1) критерій недопоставленої енергії (*Energy Not Supplied or Unserved Energy – EENS*) виражається у МВтг/рік та відображає кількість недопоставленої ЕЕ через дефіцит ГП і потужностей транскордонних інтерконекторів порівняно з погодинним попитом.

- 2) критерій ймовірності втрати навантаження (*Loss Of Load Expectation – LOLE*) – кількість годин за певний період (рік), коли доступні виробництво плюс імпорт не може покривати навантаження на певній контрольній території чи торговій зоні;
- 3) імовірність втрати навантаження (*Loss of load probability – LOLP*) виникає щоразу, коли навантаження в системі перевищує доступну ГП, тобто відображає нездатність системи задовольнити щоденне пікове навантаження.

Для підтримки адекватного розвитку європейської електроенергетики запроваджуються ринкові механізми підтримки, а саме ринку потужностей (РП) і ринку відновлюваної електроенергії (РВЕ).

У Четвертому енергетичному пакеті вперше була визнана необхідність впровадження ринку потужностей (механізмів потужності) для вирішення проблем адекватного розвитку національних РЕЕ країн – членів ЄС. У п. 50 пре-

амбули Регламенту 2019/943 зазначається, що механізми потужності не повинні призводити до надмірної компенсації, в той час як повинні гарантувати безпеку постачання. У п. 22 ст. 2 цього Регламенту визначено, що механізми потужності – це тимчасові заходи забезпечення досягнення необхідного рівня адекватності за рахунок винагороди ресурсів за їх доступність, виключаючи заходи, пов'язані із допоміжними послугами або управління перевантаженням [8]. АСЕР у 2013 р. [9] та ЄК у 2016 р. [10] визначили 2 підходи та 5 типів РП (табл. 3).

В обсягоорієнтованих механізмах на державному рівні визначається необхідний обсяг закупівлі потужностей, тоді як на РП встановлюється ціна за таку потужність. Ці механізми можна розділити на «цільові» та «ринкові», які обидва мають за мету забезпечення достатньої здатності до виконання стандартів надійності в національних енергосистемах. Цільові механізми надають підтримку лише додатковим потужностям, тоді як ринкові механізми

Таблиця 3

Основні типи механізмів функціонування РП в ЄС

Тип механізму потужності	Особливості механізму
Стратегічні резерви	Деякі ГП виводяться з товарного РЕЕ для забезпечення безпеки поставок у виняткових (стресових) ситуаціях, що може визначатися цінами на РДН, ВДР або БР, які перевищують певний пороговий рівень. ОСП або державний орган вирішує питання про розмір необхідних стратегічних резервів за кілька років наперед і укладає контракти на потужність зазвичай через конкурсні торги. Стратегічні резерви не можуть брати участь у товарному РЕЕ і активуються лише в разі нестачі ГП згідно із заздалегідь визначеними критеріями. Плата за потужність визначається за допомогою тендера, а витрати покриваються користувачами мереж
Аукціони на потужність	Представляють централізовану схему, в якій розмір загальної необхідної потужності визначається за кілька років наперед до фізичної поставки ЕЕ та закуповується через аукціон незалежним органом. Ціна встановлюється на підставі форвардного контракту і оплачується всім учасникам-переможцям аукціону. Згодом плата за потужність нараховується постачальникам, які стягують її з кінцевих споживачів. ЕЕ, згенерована новими об'єктами, в майбутньому бере участь у товарному РЕЕ. Аукціони на потужність хеджують цінові ризики інвестора нової, але можуть знижувати конкурентоспроможність існуючих ГП
Облігації на потужність	Децентралізована схема, в якій зобов'язання накладаються на великих споживачів і постачальників ЕЕ, які укладають контракти на певний рівень потужності, пов'язаний з їх самооцінкою майбутнього попиту, плюс резервна маржа. Остання, як правило, визначається незалежним органом. Зазвичай ці зобов'язання продаються у виді сертифікатів, що видаються виробниками потужності. Контрактвані ГП повинні надавати доступну на контрактній основі потужність на ринку в періоди дефіциту, що визначаються адміністративно або ринково, на підставі цін, які перевищують граничний рівень. Постачальники або споживачі несуть фінансову відповідальність, якщо вони не досягли необхідного рівня потужності
Опціони надійності	Ринковий інструмент, аналогічний опціону call, відповідно до якого постачальники контрактних ГП зобов'язані оплачувати різницю між оптовою ринковою ціною (наприклад, спотовою ціною) і заданою контрольною ціною (тобто «ціною виконання»), кожен раз, коли ця різниця є позитивною, тобто опціон реалізується. Постачальник ГП укладає опціонний контракт з контрагентом (ОСП, великим споживачем або постачальником), який пропонує контрагенту можливість купувати ЕЕ за заздалегідь встановленою ціною виконання. Контрагент буде використовувати цей варіант у ситуаціях дефіциту, коли ціна на спотовому ринку перевищує ціну виконання опціону. У такому випадку постачальнику ГП доведеться виконувати платежі за опціоном без отримання ринкового доходу
Плата за потужність	Встановлені фіксовані платежі постачальникам ГП, які встановлюються регулятором. Оператори ГП, які отримують такі платежі, продовжують брати участь в товарному РЕЕ, а обсяг та ціна ЕЕ, що поставляється, визначається незалежно діями учасників ринку

Джерело: складено на основі [10–12]

надають підтримку всім учасникам РП, які повинні відповідати визначеним стандартам надійності. В ціноорієнтованих механізмах визначається гранична ціна потужності, тоді як інвестори вирішують, скільки та в якій потужності вони готові інвестувати за задану ціну [9; 10].

Для уніфікації механізмів розвитку РП Єврокомісія розробила Наставову щодо державної допомоги з охорони навколишнього середовища та енергетики на період 2014–2020 рр. [13] в якій містяться 8 основних критеріїв оцінки дієвості механізмів потужності, зокрема вони:

- 1) є об'єктом спільного інтересу, тобто спрямовані на вирішення проблем коротко- та довгострокової адекватності розвитку електроенергетики. Короткострокові заходи повинні бути забезпечені існуючими потужностями, тоді як довгострокові заходи забезпечуватися новими інвестиціями;
- 2) компенсують лише витрати на потужність, а не вироблену ЕЕ;
- 3) є об'єктивно необхідними, передбачають визначення та вирішення основних проблем, зокрема, подолання можливих ринкових збоїв та регуляторних бар'єрів;
- 4) є технологічно нейтральними і не відрізняються для існуючих гравців та інвесторів. Враховує еволюцію їх взаємозв'язків;
- 5) є пропорційними;
- 6) мають стимулюючий ефект, тобто не покривають витрати, які зазвичай сплачуються бенефіціаром, або стандартні комерційні ризики;
- 7) уникають надмірного негативного впливу на конкуренцію та торгівлю на товарному РЕЕ, тобто не стримують інвестиції в транскордонні потужності та не перешкоджають з'єднанню окремих РЕЕ;
- 8) сприяють розвитку низьковуглецевих технологій.

Країни – члени ЄС повинні обов'язково повідомляти Єврокомісію про заплановані механізми потужності, якщо передбачувана сума державної допомоги перевищує 15 млн євро за проєкт [13].

Зазначені в Регламенті 2019/943 нормативно-організаційні засади функціонування механізмів потужності визначають, що вони мають комплементарну основу та застосовують виключно у випадках проблем адекватності розвитку в межах торгових зон та на час ліквідації цих проблем, якщо регуляторних і ринкових заходів недостатньо [8].

Отже, в ЄС було визнано необхідність впровадження РП як окремого механізму сегмента РЕЕ. Однак зазначається, що від цих механізмів потужностей можна відмовитися за умов вирішення всіх проблем адекватності. Механізми потужності мають впроваджуватися на строк не більше 10 років та від яких можна відмовитися за умов неукладання нових контрактів протягом 3 років поспіль [8].

Також ЄС має найамбітнішу енергетичну політику в світі в напрямку низьковуглецевого розвитку, тому в європейському просторі впроваджуються різні національні схеми підтримки розвитку ЕЕ із ВДЕ, які передбачають додаткові виплати виробниками «зеленої» ЕЕ. Запровадження таких схем підтримки було обумовлено вимогами Директиви 2009/28/ЄС від 23.04.2009 р. про ВДЕ (RED) [14], але з того часу ці схеми значно еволюціонували на вимогу

Керівних принципів надання державної підтримки у сфері охорони навколишнього середовища та енергетики, які впроваджено 28.06.2014 р. (EEAG) [15], що встановили загальні умови для надання інвестиційної та операційної підтримки для будь-яких нових схем підтримки ВДЕ до 2020 р.

Четвертий енергопакет ЄС дозволив встановити транспарентні, конкурентоздатні, недискримінаційні та витратоефективні стандартні механізми надання національної підтримки розвитку ВДЕ [16]. Сфера ВДЕ представлена в цьому пакеті Директивою «Про сприяння використанню енергії з відновлюваних джерел» 2018/2001 від 11.12.2018 [17], яка встановлює нову, обов'язкову ціль розвитку відновлюваної електроенергетики для ЄС на 2030 р. на рівні 32%. Наразі в ЄС існують різні національні схеми підтримки розвитку ВДЕ (табл. 4).

Виходячи із табл. 4, схеми № 2–4 є ринковими, для яких схема № 1 є надбудовою, яка визначає конкурентність торгів. Тоді як схеми 5–6 – державно регульованими. Країни ЄС можуть впроваджувати одразу декілька схем підтримки розвитку ВДЕ.

Згідно з Керівництвом ЄС 2014 р. [15] держави – члени ЄС повинні ввести тендерні процедури (конкурсні торги) для визначення рівня державної підтримки ВДЕ з 2017 р. Процедура конкурсних торгів повинна бути відкрита для всіх виробників ЕЕ із ВДЕ, тобто бути технологічно нейтральною.

Однак, якщо цей підхід призводить до субоптимальних результатів через обмеження мережі або виникає потреба в диверсифікації ВДЕ, процедура торгів може бути замінена технологічно спеціалізованою.

В аналітичному звіті CEER надало такі рекомендації до впровадження конкурсних торгів на РЕЕ в ЄС [19]:

- у певних випадках (тобто зі складними технологіями) може бути корисною попередня кваліфікація учасників РЕЕ, на основі їх фінансових і технічних можливостей. Також доцільно провести спільні з оператором мережі консультації, щоб оговорити тендерну процедуру та забезпечити розробку тендерної схеми з оптимізованим розподілом ризиків;
- забезпечити незалежність органу, що впроваджує тендерні процедури, щоб виключити політичне втручання і забезпечити довіру учасників ринку та споживачів енергії в системі;
- обмежити адміністративне навантаження на всіх учасників тендеру, гарантуючи справедливість, прозорість і якість тендеру;
- встановити фінансові гарантії та штрафні санкції за нереалізацію тендерних проєктів, щоб максимізувати рівень реалізації проєктів-переможців торгів. Додатковим варіантом є встановлення окремих попередніх кваліфікацій, наприклад, для забезпечення надійних бізнес-планів;
- уникнути різноманітності схем підтримки для одного проєкту з ВДЕ;
- заборонити учасникам торгів перемикатися між тендерними раундами, щоб реалізувати проєкт.

Таким чином, ЄС усвідомлює, що розвиток конкуренції на РЕЕ передбачає запровадження ринкових меха-

Схеми державної підтримки розвитку відновлюваної електроенергетики в ЄС

Схема підтримки	Визначальні відмінності
Тендерна процедура	Заснована на конкурсних торгах ЕЕ із ВДЕ, коли державні органи оголошують тендер на поставку ЕЕ із ВДЕ, контрактна ціна якої встановлюється на основі результатів торгів. Ця схема пов'язана з іншими схемами підтримки, такими як «зелені» тарифи, премії або сертифікати, які вважаються основою державної підтримки
Зелені премії	Цінова підтримка ГП на основі ВДЕ, коли виробникам виплачується преміальна ціна як додаток до оптової ціни. Ця премія є плаваючою та розраховується як різниця між середньою оптовою ціною і раніше встановленою гарантованою ціною. Крім того, за договорами на різницю, якщо оптова ціна піднімається вище гарантованої ціни, генератори повинні сплатити різницю між гарантованою ціною і оптовою ціною
Торгові квоти (сертифікати)	Торгові продукти, що підтверджують походження ЕЕ із ВДЕ. Для них можуть бути гарантовані мінімальні ціни. Квоти можуть продаватися окремо від виробленої ЕЕ. Учасники ринку зобов'язані щорічно купувати та скасовувати сертифікати на ЕЕ
Зелені тарифи	Цінова підтримка ЕЕ із ВДЕ, відповідно до якої виробникам виплачується фіксована ціна гарантована незалежно від ринкової на всю ЕЕ, відпущену в мережу
Повернення податків	Податкова підтримка, в якій ГП на основі ВДЕ платять нижчі ставки податків, ніж традиційні ГП
Інвестиційні гранти	Пряма підтримка розвитку ГП на основі ВДЕ через державні інвестиції
Чистий облік	Механізм розрахунку платежів за ЕЕ, який дозволяє споживачам, які виробляють частину або всю власну ЕЕ, використовувати цю ЕЕ в будь-який час, а не тоді, коли вона виробляється

Джерело: складено на основі [18]

нізми підтримки цілеспрямованого, адекватного та низьковуглецевого електроенергетики.

Висновки. У статті наведено результати дослідження формування сценаріїв прогнозування адекватності розвитку генеруючих потужностей і механізмів державної підтримки розвитку електроенергетики ЄС. Зосереджено увагу на методах оцінки адекватності генеруючих потужностей відповідно до регламентів і стандартів ЄС. Розкрито особливості прогнозування адекватності розвитку генеруючих потужностей на різних часових інтервалах за методологічним підходом ENTSO-E. Подано основні сценарії прогнозування адекватності розвитку генеруючих потужностей. Наведено основні типи механізмів функціонування ринку потужностей та схеми державної підтримки розвитку відновлюваної електроенергетики в ЄС.

ЛІТЕРАТУРА

- Ackermann T. Wind Power in Power Systems. 2005. 692 p. URL: https://library.uniteddiversity.coop/Energy/Wind/wind_power_in_power_systems.pdf
- Mohsenian-Rad A. H., Wong V. W. S., Jatskevich J., Schober R., Leon-Garcia A. Autonomous Demand-Side Management Based on Game-Theoretic Energy Consumption Scheduling for the Future Smart Grid. 2010. DOI: 10.1109/TSG.2010.2089069
- Mid-term Adequacy Forecast 2020. Appendix 1: Methodology and Detailed Results // ENTSO-E. URL: <https://www.entsoe.eu/outlooks/midterm/>
- ENTSO-E Target Methodology for Adequacy Assessment // ENTSO-E. 2014. URL: https://docstore.entsoe.eu/Documents/SDC%20documents/SOAF/141014_Target_Methodology_for_Adequacy_Assessment_after_Consultation.pdf
- Regulation (EC) No 714/2009 of the European Parliament and of the Council of 13 July 2009 on conditions for access to the network for cross-border exchanges in electricity and repealing Regulation (EC) No 1228/2003. EUR-LEX. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32009R0714>
- Scenario Outlook & Adequacy Forecast 2015 // ENTSO-E. URL: http://pfbach.dk/firma_pfb/references/150630_SOAF_2015_publication_wcover.pdf
- ENTSO-E ELECTRICITY ASSESSMENT IN EUROPE // CEER. 2016. URL: <https://www.ceer.eu/documents/104400/-/-/b26065b5-6aa4-aba8-3ef8-9344fce7ed4a>
- Regulation (EU) 2019/943 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on the internal market for electricity // EUR-LEX. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32019R0943>
- Capacity remuneration mechanisms and the internal market for electricity // ACER. 2013. URL: http://www.acer.europa.eu/official_documents/acts_of_the_agency/publication/crms%20and%20the%20iem%20report%20130730.pdf
- Final Report of the Sector Inquiry on Capacity Mechanisms // European Commission. 2016. URL: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/com2016752.en_.pdf
- Gregor Erbach. Capacity mechanisms for electricity // European Parliament. 2017. URL: [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2017/603949/EPRS_BRI\(2017\)603949_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2017/603949/EPRS_BRI(2017)603949_EN.pdf)
- Understanding the Capacity Market // ENGIE. 2017. URL: <http://www.engie.co.uk/wp-content/uploads/2016/07/capacitymarketguide.pdf>
- Communication from the Commission – Guidelines on State aid for environmental protection and energy 2014-2020 // EUR-LEX. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52014XC0628%2801%29>
- Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy

from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC // EUR-LEX. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex%3A32009L0028>

15. Guidelines on State aid for environmental protection and energy 2014-2020, European Commission, June 2014, 2014/C 200/01 // EUR-LEX. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52014XC0628%2801%29>

16. Clean energy for all Europeans // Eurocomission. URL: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy-and-energy-union/clean-energy-all-europeans>

17. Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources // EUR-LEX. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2018.328.01.0082.01.ENG&toc=OJ:L:2018:328:TOC

18. Status Review of Renewable Support Schemes in Europe // CEER. 2017. URL: <https://www.ceer.eu/documents/104400/-/41df1bfe-d740-1835-9630-4e4cccaf8173>

19. Tendering procedures for RES in Europe: State of play and first lessons learnt // CEER. 2018. URL: <https://www.ceer.eu/documents/104400/-/167af87c-5472-230b-4a19-f68042d58ea>.

REFERENCES

Ackermann, T. "Wind Power in Power Systems". 2005. https://library.uniteddiversity.coop/Energy/Wind/wind_power_in_power_systems.pdf

"Capacity remuneration mechanisms and the internal market for electricity". ACER. 2013. http://www.acer.europa.eu/official_documents/acts_of_the_agency/publication/crms%20and%20the%20iem%20report%20130730.pdf

"Clean energy for all Europeans". Eurocomission. <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy-and-energy-union/clean-energy-all-europeans>

"Communication from the Commission - Guidelines on State aid for environmental protection and energy 2014-2020". EUR-LEX. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52014XC0628%2801%29>

"Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources". EUR-LEX. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2018.328.01.0082.01.ENG&toc=OJ:L:2018:328:TOC

"Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repeal-

ing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC". EUR-LEX. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex%3A32009L0028>

"ENTSO-E ELECTRICITY ASSESSMENT IN EUROPE". CEER. 2016. <https://www.ceer.eu/documents/104400/-/b26065b5-6aa4-aba8-3ef8-9344fce7ed4a>

"ENTSO-E Target Methodology for Adequacy Assessment". ENTSO-E. 2014. https://docstore.entsoe.eu/Documents/SDC%20documents/SOAF/141014_Target_Methodology_for_Adequacy_Assessment_after_Consultation.pdf

"Final Report of the Sector Inquiry on Capacity Mechanisms". European Commission. 2016. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/com2016752.en_.pdf

"Gregor Erbach. Capacity mechanisms for electricity". European Parliament. 2017. [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2017/603949/EPRS_BRI\(2017\)603949_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2017/603949/EPRS_BRI(2017)603949_EN.pdf)

"Guidelines on State aid for environmental protection and energy 2014-2020, European Commission, June 2014, 2014/C 200/01". EUR-LEX. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52014XC0628%2801%29>

"Mid-term Adequacy Forecast 2020. Appendix 1: Methodology and Detailed Results". ENTSO-E. <https://www.entsoe.eu/outlooks/midterm/>

Mohsenian-Rad, A. H. et al. *Autonomous Demand-Side Management Based on Game-Theoretic Energy Consumption Scheduling for the Future Smart Grid*, 2010. DOI: 10.1109/TSG.2010.2089069

"Regulation (EC) No 714/2009 of the European Parliament and of the Council of 13 July 2009 on conditions for access to the network for cross-border exchanges in electricity and repealing Regulation (EC) No 1228/2003. EUR-LEX". <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32009R0714>

"Regulation (EU) 2019/943 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on the internal market for electricity". EUR-LEX. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32019R0943>

"Scenario Outlook & Adequacy Forecast 2015". ENTSO-E. http://pfbach.dk/firma_pfb/references/150630_SOAF_2015_publication_wcover.pdf

"Status Review of Renewable Support Schemes in Europe". CEER. 2017. <https://www.ceer.eu/documents/104400/-/41df1bfe-d740-1835-9630-4e4cccaf8173>

"Tendering procedures for RES in Europe: State of play and first lessons learnt". CEER. 2018. <https://www.ceer.eu/documents/104400/-/167af87c-5472-230b-4a19-f68042d58ea>

"Understanding the Capacity Market". ENGIE. 2017. <http://www.engie.co.uk/wp-content/uploads/2016/07/capacitymarket-guide.pdf>

Стаття надійшла до редакції 15.11.2022 р.