

ОГЛЯД МОЖЛИВОСТЕЙ УЧАСТІ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА НА РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

В роботі проведено аналіз ринку електричної енергії України, визначено основні можливості участі промислового підприємства в різних сегментах цього ринку. Проаналізовані типи договорів купівлі-продажу електричної енергії, включаючи ринок двосторонніх договорів, ринок «на добу наперед», та внутрішньодобовий ринок. Проаналізована процедура участі у балансуєчому ринку. Проаналізовано фактори, які впливають на ціну постачання. Визначено напрям майбутніх досліджень ефективності споживання підприємством електричної енергії, одним з яких є створення моделі прогнозування, яка включає техніки і методи проаналізовані в цій роботі. Приведена класифікація методів прогнозування згідно кількісного та якісного підходів. Визначені обмеження та ризики сегментів ринку та їх вплив на вартість «помилки» прогнозування. Запропоновано проведення оцінки економічної ефективності методів і моделей прогнозування, що буде враховувати вартість «помилки» прогнозування, як результат участі на різних сегментах ринку електричної енергії.

Ключові слова: електрична енергія, ринок, договір, балансуєчий ринок, прогнозування.

Вступ.

Відносини між різними суб'єктами галузі електроенергетики України на сьогодні виконуються на ринку електричної енергії України, який базується на європейських принципах та стандартах. Така модель ринку передбачає вільний вибір постачальника електроенергії для всіх споживачів, конкуренцію між виробниками, постачальниками та трейдерами, формування ціни на електроенергію за допомогою ринкових механізмів.

Для промислових підприємств, які є великими споживачами електроенергії, нова модель ринку відкриває нові можливості та виклики. З одного боку, промислові підприємства можуть скористатися перевагами ринкових умов, а саме вибір постачальників або участь у ринку «на добу наперед» та внутрішньодобовому ринку. З іншого боку, на підприємство покладається відповідальність за свої небаланси та вводяться вимоги до якості, надійності та безперебійності постачання електроенергії.

Отже, важливим є питання аналізу можливостей участі підприємства на ринку в контексті підвищення його конкурентоспроможності за рахунок зменшення вартості за споживання електричної енергії.

Метою роботи є зменшення вартості за споживання електричної енергії за рахунок участі підприємства на ринку електроенергії.

Викладення основного матеріалу

Роль промислового підприємства на ринку електричної енергії

Основна мета роботи великого промислового підприємства є підвищення своєї конкурентоспроможності, що вимагає створення стратегії для більш ефективного використання ресурсів підприємства. Одними з яких є фінансові ресурси, а саме у частині витрат на споживання або виробництво електричної енергії. У зв'язку з цим, одним із завдань є визначення ролі промислового підприємства на ринку електричної енергії в Україні з аналізом усіх можливостей впливу на ціну, а відповідно і на вартість спожитої електричної енергії. Тому необхідно проаналізувати різні можливості участі на ринку та роботу його організованих сегментів, а саме: ринку "на добу наперед"; внутрішньодобового ринку; балансуєчого ринку.

Згідно Закону про ринок електричної енергії учасники ринку провадять свою діяльність на договірних засадах [1]. Тому важливо визначити такі види договорів, які може укласти промислове підприємство в процесі своєї діяльності на ринку електричної енергії.

Промислове підприємство, як споживач електричної енергії, може брати участь у роздрібному ринку електричної енергії і вільно обирати електропостачальника (за умови, що у нього не має власного виробництва електричної енергії) [1, 2]. У такому випадку між електропостачальником і споживачем укладається договір постачання електричної енергії споживачу. Але промислове підприємство може як споживати, так і виробляти електричну енергію, що в даному випадку робить його повноцінним учасником ринку і прибирає необхідність в укладанні такого договору. Це відкриває можливість для підприємства брати участь у різних сегментах та використовувати різні можливості на ринку електричної енергії. Треба

зауважити, що всі учасники ринку, крім споживачів, які купують електроенергію за цим договором, несуть фінансову відповідальність за свої небаланси електричної енергії [1], що фактично покладає на учасника ринку більшу відповідальність.

Двосторонній договір купівлі-продажу електричної енергії (ринок двосторонніх договорів - РДД).

Цей вид договору може бути укладений з метою купівлі споживачем електричної енергії для власного споживання за умови укладення ним договору про врегулювання небалансів та договору про надання послуг з передачі електричної енергії з оператором системи передачі [1]. Сторони повинні проводити реєстрацію обсягів купівлі-продажу за двостороннім договором на електронній платформі оператора системи передачі (ОСП). Учасники мають право вільно змінювати договірні обсяги необмежену кількість разів, але до «закриття воріт РДД», що настає о 10:00 за один день до торгового дня. [3]

Договір про участь у ринку "на добу наперед" та/або внутрішньодобовому ринку.

Цей договір укладається з Оператором ринку для того щоб стати учасником ринку «на добу наперед» (РДН) та внутрішньодобового ринку (ВДР). Промислове підприємство може бути учасником РДН та ВДР, як споживач, за умови укладання з ОСП договору про врегулювання небалансів електричної енергії. [4]

Договір про купівлю-продаж електричної енергії на ринку "на добу наперед".

Цей договір укладається з Оператором ринку і дає можливість учасникам здійснювати купівлю-продаж електричної енергії на ринку «на добу наперед». Учасник може подавати заявки на торги на РДН за 7 календарних днів до доби постачання і до 12:00 години доби, що передує добі постачання, а також мають право вільно коригувати або скасовувати подані ними заявки на торги на РДН до цього часу [4]. Купівля-продаж електричної енергії на РДН проходить для окремої доби постачання.

Договір про купівлю-продаж електричної енергії на внутрішньодобовому ринку.

Цей договір укладається з Оператором ринку і дає можливість учасникам здійснювати купівлю-продаж електричної енергії на внутрішньодобовому ринку. Учасник може подавати заявки на торги на ВДР, починаючи з 15:00 години доби, що передує добі постачання, і до «закриття воріт ВДР», що настає за 60 хвилин до початку розрахункового періоду, на який подається заявка [4]. Купівля-продаж електричної енергії на ВДР проходить для окремої години доби постачання.

Договір про участь у балансуєчому ринку.

Даний договір може бути підписаний між виробниками електричної енергії та ОСП. За цим договором учасник ринку отримує статус постачальника послуг з балансування і зобов'язується надавати балансуєчу електричну енергію на завантаження або розвантаження для здійснення ОСП балансування об'єднаної енергетичної системи України [3]. ОСП зобов'язується продавати балансуєчу електричну енергію постачальником послуг з балансування (ППБ) або купувати балансуєчу електричну енергію у ППБ та отримувати оплату за продану ППБ балансуєчу електричну енергію або сплачувати кошти за куплену балансуєчу електричну енергію у ППБ відповідно до умов цього Договору та Правил ринку [3]. Участь у балансуєчому ринку є обов'язковою для всіх ППБ, які управляють одиницями відпуску [3], тому промислове підприємство, за умови наявності у такого точки відпуску, є учасником балансуєчого ринку.

Договір про врегулювання небалансів.

Як було зазначено вище, частина учасників ринку несе фінансову відповідальність за свої небаланси електричної енергії. Ця вимога вимагає укладення договору з Оператором системи передачі і фактично надає учаснику ринку статус сторони, відповідальної за баланс і встановлює порядок та умови врегулювання небалансів. Цей договір необхідний для того, щоб стати повноцінним учасником ринку електричної енергії, тобто мати змогу брати участь у РДД, РДН та ВДР, але і покладає обов'язки з врегулювання небалансів. Врегулювання небалансів здійснюється за результатами балансуєчого ринку і є останньою можливістю для учасників ринку зменшити величину небалансу, що дає змогу зменшити фінансові витрати.

Відповідальність учасника ринку за небаланси може бути делегована іншому учаснику шляхом приєднання до його балансуєчої групи. Балансуєча група створюється на підставі договору про створення балансуєчої групи, а визначений договором учасник ринку, який входить до такого об'єднання, несе відповідальність за баланс електричної енергії всіх інших учасників ринку, що входять до цієї групи [1].

Інші договори, які зазначені в Законі про ринок електричної енергії, але необхідні для забезпечення нормальної роботи енергосистеми і не впливають на участь промислового підприємства на організованих сегментах ринку. До таких можна віднести договори: про надання послуг з розподілу; про надання послуг з передачі; про надання допоміжних послуг; про надання послуг з диспетчерського (оперативно-технологічного) управління; про приєднання до системи передачі; про участь у розподілі пропускнує спроможності; про постачання електричної енергії постачальником універсальних послуг; про постачання електричної енергії постачальником "останньої надії"; про надання послуг комерційного обліку електричної енергії; про купівлю-продаж електричної енергії за механізмом самовиробництва та інші договори [1].

Аналіз ціноутворення на ринку електричної енергії

Одним із шляхів оцінки ефективності участі у ринку електричної енергії є аналіз ціноутворення на різних його сегментах. Це дасть можливість порівнювати ефективність за показником вартості електричної енергії різних моделей участі у ринку.

Якщо розглядати ринок двосторонніх договорів, то згідно Правил ринку [3] обсяги електричної енергії, що купується, а отже і ціна є предметом домовленостей. Можлива також купівля електричної енергії за результатами електронних аукціонів [5], де середньозважена ціна купівлі-продажу буде залежати від попиту на конкретну позицію. Прогнозування ефективності витрат у цьому сегменті ринку є ускладненим у зв'язку з необхідністю прогнозування попиту та пропозиції на ринку на довгостроковий період.

Ціноутворення на ринку «на добу наперед» так само залежить від попиту та пропозиції на ринку, але період прогнозу обмежується одним днем. Це вимагає застосування короткострокового прогнозу, що робить його більш ліквідним даючи можливість ефективніше впливати на витрати купівлі електричної енергії.

Внутрішньодобовий ринок, в свою чергу, вимагає оперативного реагування на попит та пропозицію, що може значно підвищити ціну у порівнянні з іншими сегментами.

Ціна за результатами врегулювання небалансів на балансуєчому ринку та ринку небалансів буде найбільшою, враховуючи методику розрахунків небалансу [3]. Отже, витрати за врегулювання небалансів залежать від результатів участі у попередніх сегментах ринку.

Враховуючи зазначене, можна визначити сумарні витрати (вартість) за електричну енергію, що купується на ринку електричної енергії, як:

$$C_{\Sigma} = C_{РДД(t)} + C_{РДН(t)} + C_{ВДР(t)} + C_{БР(t)} + C_{Уч(t)}$$

де $C_{РДД(t)}$ – вартість закупленої електричної енергії за результатами участі у сегменті двосторонніх договорів за період t ;

$C_{РДН(t)}$ – вартість закупленої електричної енергії за результатами участі у сегменті ринку «на добу наперед» за період t ;

$C_{ВДР(t)}$ – вартість закупленої електричної енергії за результатами участі у сегменті внутрішньодобового ринку за період t ;

$C_{БР(t)}$ – вартість врегулювання небалансів між замовленими та фактично спожитими обсягами електричної енергії у сегменті балансуєчого ринку за період t ;

$C_{Уч(t)}$ – платежі, пов'язані з участю на ринку електричної енергії за період t . Сюди входить платежі оператору ринку, платежі за регуляторну діяльність НКРЕКП та інші.

Отже, розглядаючи різні механізми участі у ринку електричної енергії, можна визначити різницю у підходах до прогнозування витрат на купівлю електричної енергії в залежності від певного сегменту. Тому для планування та оперативного управління режимами функціонування підприємства необхідно визначити наступні часові діапазони: оперативний (доба); короткостроковий (день); довгостроковий (місяць). Такі діапазони фактично відповідають діапазонам роботи у сегментах ВДР, РДН та РДД відповідно.

Також підприємству необхідно враховувати характеристики кожного сегменту ринку, наприклад, участь у ВДР вимагає гнучкого прогнозування, тоді як участь у РДН або у балансуєчому ринку вимагає вищої точності.

Огляд можливостей прогнозування споживання електричної енергії в умовах ринку

З метою зменшення витрат підприємства на спожиту електричну енергію, враховуючи зазначені вище можливості участі у ринку та ціноутворення на різних його сегментах, важливим є пошук шляхів до підвищення ефективності його діяльності на ринку. Одним із шляхів можна вважати підвищення точності прогнозування електроспоживання.

В даній роботі під прогнозуванням електроспоживання мається на увазі процес, в результаті якого отримуються значення спожитої електричної енергії підприємством наперед на певний часовий діапазон.

Класифікація методів прогнозування.

Виділяють два підходи до прогнозування, а саме: кількісний і якісний [6].

Кількісні методи прогнозування можуть бути застосовані за умов, по перше, доступності числової інформації про минуле та, по друге, враховуючи можливе припущення, що деякі аспекти минулих моделей збережуться у майбутньому. У свою чергу, якщо неможливо забезпечити такі умови, тоді доцільно застосовувати якісні методи прогнозування [6].

В роботі [7] методи прогнозування поділено на дві основні групи: самостійні (застосовують одну техніку для аналізу тенденцій) та гібридні (більше ніж одну техніку). Самостійні техніки можуть бути віднесені до таких категорій [7]: статистичні, обчислювальний інтелект (СІ) та математичне

програмування (MP). А гібридні в свою чергу можуть бути групами: статистичні-статистичні, статистичні-CI, статистичні-MP, CI-CI.

У свою чергу, в роботі [8], техніки прогнозування поділяються на дві категорії: статистичні та штучного інтелекту (AI). У роботах [7,8] використання статистичних технік представлено регресійними моделями та моделями аналізу часових рядів (TSA). Треба зауважити, що техніки віднесені до CI або AI у роботах [7,8] є спільними. Одними з таких є техніки машинного навчання (ML), що включають в себе: штучні нейронні мережі (ANN), методи опорних векторів (SVM), дерево ухвалення рішень та інші.

З іншого боку в [7] окремо виділено методи невизначеності та метаевристичні методи. Методи невизначеності включають в себе техніки нечіткої логіки, що у роботі [8] віднесені до методів AI, та теорії сірих систем. Аналогічно представлено метаевристичні методи: генетичний алгоритм (GA), еволюційний алгоритм (EA), меметичний алгоритм (MA), метод рою часток (PSO), оптимізація штучного бджолиного рою (ABCO), алгоритм оптимізації мурашиної колонії (ACO), диференціальна еволюція (DE), алгоритм імітації відпалу (SA), алгоритм зозулі (CSA) та інші [7].

Загалом дискусія щодо класифікації методів прогнозування є відкритою. Наприклад в роботі [9] аналізується доцільність класифікації методів прогнозування на статистичні та ML. В цій роботі представлено для обговорення «виміри» за якими можуть бути класифіковані методи прогнозування.

Запропоновано виділити «виміри», що відповідають математичним властивостям моделей, а саме [9]: глобальні або локальні; імовірнісні або точкові прогнози; обчислювальна складність; лінійність або опуклість. Іншою умовною категорією є моделі, що відносяться до вимірів які мають методологічну або культурну природу, а саме [9]: на основі даних або моделі; групова або окрема модель; розрізнявальна або породжувальна модель; статистичні гарантії; пояснювальна/інтерпретована або прогнозна модель.

Така класифікація має помітні припущення, але є цікавою з точки зору її подальшого обговорення.

Метрики для оцінки якості прогнозу.

Правильний вибір методу прогнозування є одним із факторів підвищення якості прогнозування. Одним із показників, що впливає на визначення ефективності результату прогнозування обраного методу можна вважати значення «помилки», тобто, у випадку роботи промислового підприємства, різниці для окремого моменту часу між прогнозованим значенням попиту на електричну енергію і фактично спожитою електричною енергією. З метою аналізу «помилки» визначені такі категорії мір «помилки» [10]:

- залежні від розміру (RMSE, MdAE, GMAE, тощо);
- на основі відсоткових «помилки» (MAPE, RMSPE, тощо);
- на основі відносних «помилки» (NRMSE, MRAE, GMRAE, тощо);
- відносні міри (RelMAE, RelMSE, RSE, тощо);
- на основі масштабованих «помилки» (MASE, RMSSE, тощо);
- та інші категорії мір, які можуть залежати від певних рангів, ставок та трансформації.

Порівняльна оцінка економічної ефективності різних методів прогнозування може бути представлена як залежність вартості допущеної «помилки» від вартості їх розробки та впровадження.

Враховуючи особливості роботи зазначених вище сегментів ринку електричної енергії, вартість допущеної «помилки» буде залежати від ціни за яку буде виконано купівлю-продаж електричної енергії під час участі у певному сегменті ринку. А отже, важливим є диференціація різних методів прогнозування, для участі у певних сегментах ринку, а власне для різних часових діапазонів прогнозування, з метою створення прогнозної моделі, та оцінки її ефективності із застосуванням різних метрик.

Висновки.

Проаналізовані можливості участі промислового підприємства в різних сегментах ринку електричної енергії дозволяють проводити подальше дослідження у цьому напрямку, з метою підвищення ефективності споживання підприємством електричної енергії.

Основним напрямком визначено можливість створення окремої моделі прогнозування, використовуючи різні техніки і методи.

Промислове підприємство, як повноцінний учасник ринку електричної енергії, повинно враховувати всі особливості роботи конкретного сегменту ринку: його вимоги, характеристики та попит. Це додає нові умови до вибору методів, наприклад, часові обмеження, що вимагають від них різну швидкість реагування на зміни (гнучкість) та швидкість отримання кінцевого результату. Також присутній ризик коливання цін, що буде негативно впливати на значення вартості «помилки» методу прогнозування. Все це змінює складність моделей, що буде суттєво впливати на їх вартість та ефективність прогнозування.

Проаналізовано існуючі метрики, для оцінки «помилки», що дасть змогу проведення аналізу точності прогнозу, а економічна ефективність окремого методу чи моделі може бути представлена відносною залежністю вартості «помилки» прогнозу від вартості впровадження такого методу прогнозування на конкретному сегменті ринку. Оцінка економічної ефективності різних методів, у подальшому дослідженні, дасть змогу сформулювати найбільш ефективну модель прогнозування, враховуючи особливості та фінансові можливості конкретного підприємства.

Список використаної літератури

1. Про ринок електричної енергії : Закон України від 13.04.2017 № 2019-VIII : станом на 03.09.2023 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19> (дата звернення: 04.10.2023).
2. Про затвердження Правил роздрібного ринку електричної енергії : Постанова НКРЕКП від 14.03.2018 № 312 : станом на 01.07.2023 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0312874-18> (дата звернення: 30.04.2023).
3. Про затвердження Правил ринку : Постанова НКРЕКП від 14.03.2018 № 307 : станом на 19.01.2023 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0307874-18> (дата звернення: 30.04.2023).
4. Про затвердження Правил ринку «на добу наперед» та внутрішньодобового ринку : Постанова НКРЕКП від 14.03.2018 № 308 : станом на 02.12.2022 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0308874-18> (дата звернення: 30.04.2023).
5. Про затвердження Порядку проведення електронних аукціонів з продажу електричної енергії за двосторонніми договорами та Порядку відбору організаторів електронних аукціонів з продажу електричної енергії за двосторонніми договорами : Постанова Кабінету Міністрів України від 05.06.2019 № 499 : станом на 30.11.2022 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/499-2019-п> (дата звернення: 30.04.2023).
6. M. Lovric, Ed., “International Encyclopedia of Statistical Science,” 2011, doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-04898-2>.
7. K. B. Debnath and M. Mourshed, “Forecasting methods in energy planning models”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 88, pp. 297–325, May 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.002>.
8. T. Hong and S. Fan, “Probabilistic electric load forecasting: A tutorial review,” *International Journal of Forecasting*, vol. 32, no. 3, pp. 914–938, Jul. 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2015.11.011>.
9. T. Januschowski et al., “Criteria for classifying forecasting methods,” *International Journal of Forecasting*, vol. 36, no. 1, pp. 167–177, Jan. 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2019.05.008>.
10. H. Hewamalage, K. Ackermann, and C. Bergmeir, “Forecast evaluation for data scientists: common pitfalls and best practices,” *Data Mining and Knowledge Discovery*, Dec. 2022, doi: <https://doi.org/10.1007/s10618-022-00894-5>.

V. Kalinchyk¹, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof, ORCID 0000-0003-4028-0185

O. Kopchykov¹, Ph. D. student, ORCID 0000-0001-7885-4055

¹**National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»**

OVERVIEW OF THE OPPORTUNITIES OF INDUSTRIAL ENTERPRISE PARTICIPATION IN THE ELECTRICITY MARKET

The paper analyzes the electricity market of Ukraine, identifies the main opportunities for the participation of an industrial enterprise in various segments of this market. The types of electricity purchase and sale contracts were analyzed, including the bilateral contract market, the day-ahead market, and the intraday market. The procedure of participation in the balancing market is analyzed. Factors affecting the supply price were analyzed. The direction of future studies of the efficiency of the enterprise's consumption of electric energy is determined, one of which is the creation of a forecasting model that includes the techniques and methods analyzed in this work. The classification of forecasting methods according to quantitative and qualitative approaches is given. Limitations and risks of market segments and their impact on the cost of forecasting "error" are defined. It is proposed to carry out an assessment of the economic efficiency of forecasting methods and models, which will take into account the cost of forecasting "error" as a result of participation in various segments of the electric energy market.

Keywords: *electricity, market, contract, balancing market, forecasting.*

References

1. On Electricity Market : Law of Ukraine on April 13, 2017 № 2019-VIII : Revision on 03.09.2023 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19> (date of access: 04.10.2023).
2. On the approval of the Rules of the retail electricity market : Resolution of the NEURC on 14.03.2018 № 312 : Revision on 01.07.2023 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0312874-18> (date of access: 30.04.2023).
3. On the approval of the Market Rules : Resolution of the NEURC on 14.03.2018 № 307 : Revision on 19.01.2023 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0307874-18> (date of access: 30.04.2023).

4. On the approval of the Rules of the “day-ahead market” and the “intraday market” : Resolution of the NEURC on 14.03.2018 № 308 : Revision on 02.12.2022 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0308874-18> (date of access: 30.04.2023).

5. On the approval of the Procedure for conducting electronic auctions for the sale of electrical energy under bilateral contracts and the Procedure for selecting organizers of electronic auctions for the sale of electrical energy under bilateral contracts : Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine on 05.06.2019 № 499 : Revision on 30.11.2022 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/499-2019-п> (date of access: 30.04.2023).

6. M. Lovric, Ed., “International Encyclopedia of Statistical Science,” 2011, doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-04898-2>.

7. K. B. Debnath and M. Mourshed, “Forecasting methods in energy planning models”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 88, pp. 297–325, May 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.002>.

8. T. Hong and S. Fan, “Probabilistic electric load forecasting: A tutorial review,” *International Journal of Forecasting*, vol. 32, no. 3, pp. 914–938, Jul. 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2015.11.011>.

9. T. Januschowski et al., “Criteria for classifying forecasting methods,” *International Journal of Forecasting*, vol. 36, no. 1, pp. 167–177, Jan. 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2019.05.008>.

10. H. Hewamalage, K. Ackermann, and C. Bergmeir, “Forecast evaluation for data scientists: common pitfalls and best practices,” *Data Mining and Knowledge Discovery*, Dec. 2022, doi: <https://doi.org/10.1007/s10618-022-00894-5>.

Надійшла: 30.01.2024

Received: 30.01.2024