

УДК 620.9:519.8:339.9:504

Б.А. КОСТЮКОВСЬКИЙ, канд. техн. наук, ст. наук. співр., ORCID: 0000-0001-7123-3096
ГО «Бюро комплексного аналізу та прогнозів», вул. Артема, 60, м. Київ, 04050, Україна
О.О. РУБАН-МАКСИМЕЦЬ, ORCID: 0000-0002-7018-5122
НЕК «Укренерго», вул. Симона Петлюри, 25, м. Київ, 01032, Україна

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ФОРМУВАННЯ ПРОГНОЗНОГО БАЛАНСУ ПАЛИВА ДЛЯ ТЕС ГЕНЕРУЮЧИХ КОМПАНІЙ ПРИ ФОРМУВАННІ ПРОГНОЗНОГО БАЛАНСУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ОЕС УКРАЇНИ

Однією з важливих задач при короткостроковому прогнозуванні роботи об'єднаної електроенергетичної системи (ОЕС) України є забезпечення виконання вимог балансової надійності, одним з ключових елементів можливості виконання яких є надійність забезпечення ТЕС паливом. На сьогодні в Україні для її вирішення розробляється прогнозний баланс електроенергії, в межах якого формується баланс палива ТЕС, але методологія його розробки має певні вади та може бути вдосконалена, зокрема, впровадженням у практику розробки прогнозного балансу палива спеціалізованої оптимізаційної математичної моделі, опис якої, результати тестових розрахунків та порівняння з офіційними даними наведено у статті.

К л ю ч о в і с л о в а: електроенергетична система, теплові електростанції, баланс палива, прогнозний баланс електроенергії, запаси палива.

Формування прогнозного балансу палива (ПБП) для ТЕС генеруючих компаній здійснюється згідно Порядку формування прогнозного балансу електричної енергії об'єднаної енергетичної системи України на розрахунковий рік [1] – далі Порядок.

В умовах максимально конкурентної моделі ринку електроенергії – моделі вільного доступу до мереж [1, 2], яка запроваджена в Україні у 2019 р. згідно вимог Закону про ринок електроенергії [1], прогнозний баланс електроенергії (ПБЕ) має, у першу чергу, інформаційне значення – для можливості генеруючих компаній, зокрема, генеруючих компаній ТЕС, прогнозувати свою виробничо-фінансову діяльність на розрахунковий рік і в значній мірі є певним консенсусом між ними.

Але з точки зору забезпечення надійності постачання паливом Порядок має зобов'язуючи норми у пункті 15, а саме: «15. Під час розроблення прогнозної структури палива виробники електричної енергії, що у своєму складі мають ТЕС, зобов'язані забезпечити:

1) постачання вугілля в обсязі запланованих витрат відповідно до затвердженого прогнозного балансу електроенергії;

2) утворення гарантованих запасів вугілля, що відповідають 10-денному (для марки Г + Д) або 20-денному (для марки АШ + П) обсягу середньодобових витрат вугілля, визначених таким чином:
з 01 листопада по 31 березня як добуток середньодобової витрати вугілля в аналогічний період за останні три роки і вагового коефіцієнта, який дорівнює: 1,1 у листопаді; 1,2 у грудні; 1,3 у січні; 1,2 у лютому та 1,1 у березні;

з 01 квітня по 31 жовтня як добуток середньодобової витрати вугілля в аналогічний період за останні три роки і вагового коефіцієнта, який дорівнює: 0,8 у квітні–червні та вересні та 1,0 у липні–серпні та жовтні.

У разі відсутності статистичних даних за відповідний період останніх трьох років або у випадку переведення обладнання на іншу марку вугілля враховуються прогнозні дані щодо середньодобових витрат вугілля;

3) утворення 10-денного запасу резервного палива (мазуту) на електростанціях, для яких основним паливом є вугілля, для пусків блоків та можливого підсвічування.»

Аналіз показує певні недоліки в методології формування ПБП, що обумовлено наступним.

Ефективне вирішення задач оцінки необхідних прогнозних витрат вугілля та необхідних його запасів в умовах змін клімату та прискореного роз-

© Б.А. КОСТЮКОВСЬКИЙ, О.О. РУБАН-МАКСИМЕЦЬ, 2021

витку електростанцій, що працюють з використанням ВДЕ, а також враховуючи необхідність виконання вимог щодо обмеження викидів забруднювачів у повітря, потребує урахування таких факторів:

– суттєва нерівномірність виробництва електроенергії на ТЕС обумовлена як сезонними змінами потреб в електричній енергії, так і різними обсягами виробництва електроенергії на ВДЕ в окремі періоди року;

– можливість значних змін у необхідному обсязі виробництва електроенергії на ТЕС в залежності від погодних умов конкретного року, водності та режимів роботи АЕС. При цьому, якщо при формуванні ПБЕ вплив виробництва електроенергії на АЕС враховується безпосередньо, то при розрахунку потреби в гарантованих резервах палива це не враховується, що може привести до значних помилок при оцінці потреби в цих резервах;

– завантаження енергоблоків ТЕС може суттєво відрізнятись у сформованому ПБЕ та у ретроспективі, що може також привести до додаткових помилок при оцінці гарантованих резервів палива. Тому більш доцільно розраховувати гарантовані запаси палива по потребі в паливі ТЕС для спрогнозованого виробництва електроенергії в окремі місяці на основі ПБЕ;

– схваливши Національний план скорочення викидів від великих спалювальних установок (НПСВ), Україна прийняла зобов'язання щодо обмеження у перспективі загального обсягу викидів пилу, окислів сірки та азоту у викидах від генеруючих установок, які входять до НПСВ. Тому важливе значення має забезпечення виконання означених умов, що потребує урахування наступних факторів:

– тимчасова втрата контролю над окремими районами Донецької та Луганської областей обумовила різке ускладнення ситуації із забезпеченням електростанцій на підконтрольній території низькорекційним вугіллям марок АШ;

– генеруючі компанії надають свої пропозиції щодо балансу палива своїх ТЕС незалежно одна від одної, що створює ризики того, що різні компанії можуть орієнтуватися на одне й те саме джерело постачання палива, ресурсів якого може бути недостатнім для цього. Тобто, відсутня системність урахування можливостей власного видобутку, який має достатньо стабільний обсяг протягом року, та імпорту палива;

– відсутнє урахування наявності енергоблоків ТЕС, що працюють на природному газі, та можливості роботи на ньому вугільних енергоблоків. Необхідно зазначити, що при невиконанні заходів передбачених НПСВ, цілком реальною буде ситу-

ація необхідності заміщення вугілля природним газом для забезпечення вимог щодо обмеження викидів забруднювачів у повітря.

Для урахування означених чинників доцільно удосконалити методологію розробки Порядку, що можна зробити, зокрема, шляхом впровадження в практику формування ПБЕ використання оптимізаційної моделі, яка забезпечує можливість формування ПБП при оптимальній загрузці різних енергоблоків ТЕС з урахування обмеження на викиди забруднювачів у довкілля, потреби в паливі, обмежень на видобуток та імпорт, вимоги НПСВ, тощо, яка формалізується наступним чином.

Баланс електроенергії:

$$\sum_{i=1}^I W_{it} = B_t, \quad (1)$$

де i – індекс групи енергоблоків з близькими техніко-економічними показниками, $i = 1 \div I$, t – індекс місяця, $t = 1 \div 12$, B_t – необхідний обсяг виробництва електроенергії на ТЕС протягом місяця t , млн кВт·год, W_{it} – обсяги виробництва електроенергії технології i протягом місяця t , млн кВт·год.

Обмеження на викиди забруднювачів повітря згідно НПСВ:

$$\sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K \alpha_{kpt} \cdot W_{kit} - H_p \leq B_p, \quad (2)$$

де k – індекс групи енергоблоків, які входять до НПСВ з близькими техніко-економічними показниками і які працюють на однаковому виді палива, $k = 1 \div K$, p – індекс забруднювачів повітря, в якості яких розглядаються пил, NO_x та SO_2 , $p = 1 \div 3$, B_p – обмеження на викиди забруднюючих речовин типу p для року, що розглядається, для енергоблоків ТЕС, які входять до НПСВ, тис. т, α_{kpt} – питомі викиди забруднюючих речовин типу p технологією k протягом місяця t , тис. т/млн кВт·год; H_p – штрафна функція, яка приймає ненульове значення при порушенні обмежень для викидів забруднюючих речовин та парникових газів типу p , тис. т.

Баланс палива:

$$\sum_{i=1}^I \alpha_{ijt} \cdot W_{it} - VI_{jt} - VV_{jt} - ZZ_{jt} + ZR_{jt} - H_{jt} \leq B_p, \quad (3)$$

де VI_{jt} – обсяги постачання імпортованого палива j технології i протягом місяця t , тис. т, VV_{jt} – обсяги постачання палива j українського виробництва для технології i протягом місяця t , тис. т, α_{ijt} – питомі витрати палива технологією i протягом місяця t , тис. т/млн кВт·год, H_{jt} – штрафна функція, яка приймає ненульове значення при порушенні обмежень на можливість використання палива типу j , тис. т, ZZ_{jt} – обсяги зменшення запасів вугілля протягом місяця t , тис. т, ZR_{jt} – обсяги збільшення запасів вугілля протягом місяця t , тис. т.

Обмеження на можливість постачання палива:

$$VI_{jt} \leq BI_{jt}, \quad (4)$$

$$VV_{jt} \leq BV_{jt}, \quad (5)$$

Зміна гарантованих запасів палива:

– необхідний обсяг гарантованих запасів на початок місяця – ZG_{jt} , тис. т:

$$ZG_{jt} = \sum_{i=1}^I \alpha_{ijt} \cdot W_{it} \cdot k_{jt} \cdot \frac{KD_{jt}}{D_{jt}}, \quad (6)$$

де k_{jt} – коефіцієнт місячної зміни гарантованих запасів палива згідно Порядку, безрозмірна величина, KD_{jt} – кількість днів, на які розраховані гарантовані запаси палива, днів, D_{jt} – кількість днів у місяці t , днів;

– необхідна (можлива) зміна обсягу гарантованих запасів палива протягом місяця, тис. т:

$$ZG_{j(t+1)} - ZG_{jt} - ZZG_{jt} + ZRG_{jt} = 0, \quad (7)$$

де ZZG_{jt} – обсяги зменшення гарантованих запасів вугілля протягом місяця t , тис. т, ZRG_{jt} – обсяги збільшення гарантованих запасів вугілля протягом місяця t , тис. т.

Зміна оперативних запасів палива:

$$ZZO_{jt} \leq ZO_{jt}, \quad (8)$$

$$ZO_{j(t+1)} = ZO_{j(t-1)} - ZZO_{jt} + ZRO_{jt}, \quad (9)$$

де ZRO_{jt} – збільшення оперативних запасів палива j протягом місяця t , тис. т, ZZO_{jt} – зменшення оперативних запасів палива j протягом місяця t , тис. т, $ZO_{j(t+1)}$ – оперативні запаси палива j на початок наступного місяця $t = t + 1$, тис. т, ZO_{jt} – оперативні запаси палива j на початок поточного місяця t , тис. т.

Загальна зміна запасів:

$$ZZO_{jt} + ZZG_{jt} = ZZ_{jt}, \quad (10)$$

$$ZRO_{jt} + ZZRG_{jt} = ZR_{jt}. \quad (11)$$

Обмеження на виробництво:

$$W_{it} \leq B_{it}, \quad (12)$$

$$W_{it} \geq BR_{it}, \quad (13)$$

де B_{it} – максимальний обсяг можливого виробництва електроенергії енергоблоками типу i протягом місяця t , млн кВт·год, BR_{it} – мінімальний обсяг необхідного виробництва електроенергії енергоблоком i протягом місяця t , млн кВт·год.

Функціонал:

$$\sum_{t=1}^{12} \sum_{i=1}^I (c_i \cdot W_{it} + cV_{jt} \cdot VV_{jt} + cI_{jt} \cdot VI_{jt} + c_j \cdot H_{jt} + c_p \cdot H_{pt}) \Rightarrow \min, \quad (14)$$

де c_i – умовно-постійна складова ціни на електроенергію, млн грн/млн кВт·год, cV_{jt} – ціна j виду палива українського виробництва протягом місяця t , млн грн/тис. т, cI_{jt} – ціна j виду імпортованого палива протягом місяця t , млн грн/тис. т, c_j – штрафний коефіцієнт при порушенні можливостей забезпечення теплової енергетики паливом; c_p – штрафний коефіцієнт при порушенні обмежень на викиди забруднювачів в атмосферу.

З використанням цієї моделі були проведені розрахунки з оцінки обсягів помісячних поставок палива та його гарантованих і оперативних запасів, які необхідні для забезпечення потреб в паливі ТЕС за відсутності форс-мажорних обставин для ПБЕ 2021 р. [3]. показники якого, зокрема, обсяг виробництва електроенергії окремими технологіями, були прийняття як вхідна інформація при проведенні моделювання. При їх проведенні можливі поставки палива оцінювались експертним шляхом на основі аналізу ретроспективної інформації та консультацій з експертами.

Аналіз результатів розрахунків, які наведені на рис. 1, а також їх порівняння з прогнозним графі-

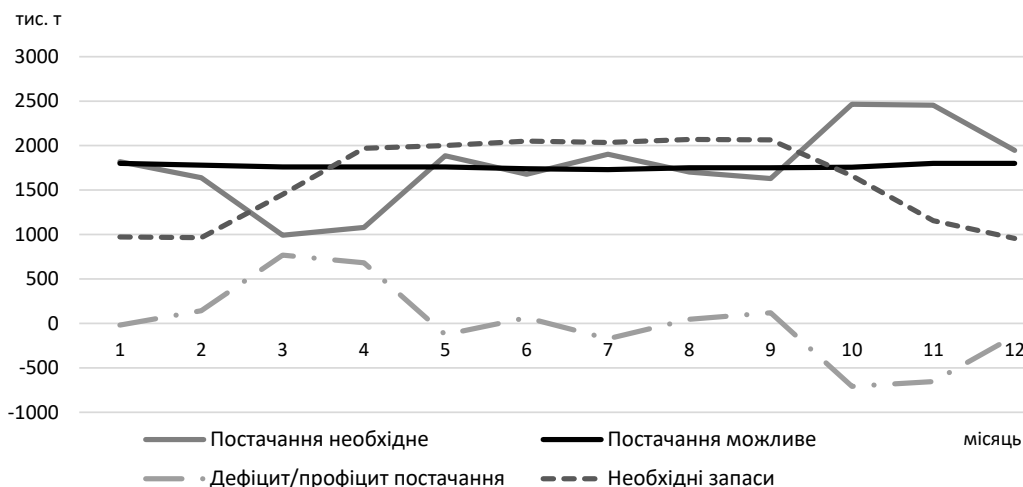


Рис. 1. Основні показники розрахунку забезпечення паливом ТЕС генеруючих потужностей відповідно до ПБЕ 2021 р., отримані при моделюванні

ком накопичення вугілля сформованим Міненерго України – від 10 серпня 2021 р. [6], яке наведено на рис. 2, показали наступне.

Найбільш реальним, при підтримці на необхідному рівні гарантованих запасів палива, є накопичення оперативних запасів палива для проходження опалювального сезону, коли потреба в паливі максимальна, в період квітня–червня, що обумовлено, як правило, мінімальною потребою у виробництві електроенергії ТЕС через повільні, сприятливі для цього умови роботи ВЕС та СЕС, а також відносно низькими споживанням електроенергії і потребою в гарантованих запасах палива, що певним чином ілюструє рис. 1.

Відносно порівняння отриманих результатів з графіком накопичення вугілля, який затверджений Міненерго України, то можливість його виконання здається малореалістичною задачею, бо для цього необхідно поряд з поточним споживанням палива забезпечити збільшення накопичення його запасів для ТЕС у обсягах біля

2,1 млн т у період вересня–жовтня 2021 р. на тлі прогнозного зростання виробництва електроенергії на ТЕС (рис. 3). При цьому попередня редакція графіка накопичення палива визначала значно нижчі, приблизно в 2,3 рази, на рівні жовтня 2021 р., необхідні запаси вугілля на ТЕС. Такий обсяг запасів, як свідчать розрахунки, є заниженим, бо не забезпечують можливість виробництва електроенергії на ТЕС у необхідних обсягах.

Поряд з цим, як видно з рис. 1, при можливості постачання вугілля для ТЕС генеруючих компаній, на яких використання природного газу недоцільно з економічних причин, у обсягах біля 1,8 млн т щомісячно, загальний рівень запасів може складати на рівні жовтня біля 1,7 млн т.

Таким чином, впровадження в практику розробки ПБЕ запропонованої математичної моделі може суттєво підвищити якість його розробки, а також надати учасникам ринку більш детальну інформацію щодо прогнозних умов роботи ТЕС ГК України з загальносистемних позицій.

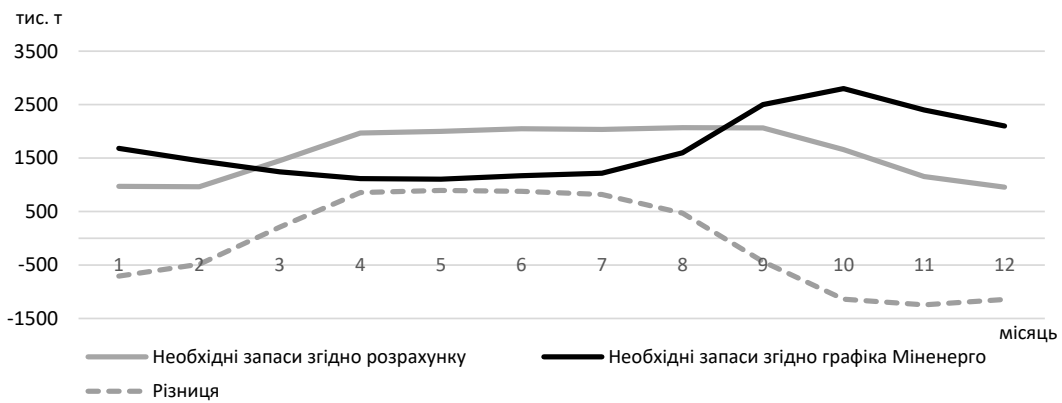


Рис. 2. Порівняння необхідних загальних запасів палива на ТЕС генеруючих потужностей згідно виконаних розрахунків та офіційного прогнозу Міненерго

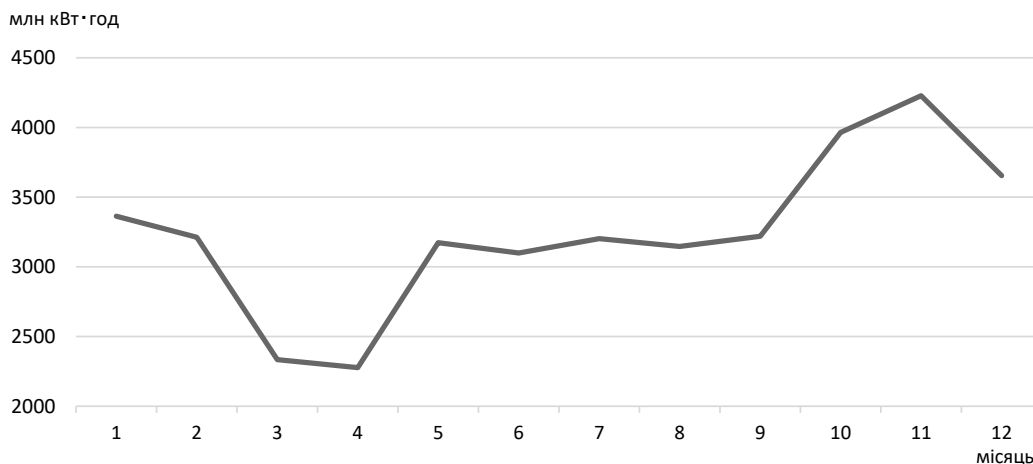


Рис. 3. Виробництво електроенергії на ТЕС генеруючих компаній відповідно до ПБЕ 2021 р.

ВИСНОВКИ

Методику Порядку формування Прогнозного балансу електроенергії моделювання з використанням доцільно удосконалити для забезпечення урахування цілої низки факторів для підвищення якості прогнозу, зокрема, урахувати наявність обмежень на викиди забруднювачів у повітря при визначенні можливості виробництва електроенергії на різних групах енергоблоків, можливості загального постачання палива для всіх ТЕС, більшу надійний прогноз виробництва електроенергії на окремих ТЕС передбачених ПБЕ ніж згідно ретроспективних даних. Удосконалення методики формування ПБЕ може базуватися на розробленій математичній моделі оптимізації покриття помісячних балансів електроенергії окремими групами енергоблоків ТЕС з близькими техніко-економічними показниками.

Отримані результати розрахунків з використанням розробленої моделі суттєво відрізняються від прогнозованої потреби в накопичуванні запасів палива, які сформовані Міненерго України. При цьому, останній такий прогноз є малореалістичним з точки зору можливості його реалізації – необхідність у стислий термін часу забезпечити різке зростання запасів палива на тлі зростання виробництва електроенергії на ТЕС, в той же час попередній прогноз мав занижену оцінку потреби в запасах палива.

Результати виконаних тестових розрахунків для ПБЕ 2021 р. показали, що накопичення запасів палива, у першу чергу, необхідно здійснювати у квітні–червні.

Впровадження запропонованої моделі в практику формування прогнозного балансу електроенергії забезпечить урахування низки важливих факторів, які не враховуються існуючим Порядком його розробки. Це дозволить підвищити на-

дійність постачання електроенергії споживачам за рахунок мінімізації ризиків відсутності необхідних запасів палива на ТЕС, що підвищить надійність постачання електроенергії споживачам.

1. Костюковський Б.А. Методи та засоби прогнозування розвитку структури генеруючих потужностей об'єднаних електроенергетичних систем в умовах ринкового регулювання діяльності в електроенергетиці: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.01. Інститут загальної енергетики НАН України. Київ, 2007. 162 с.

2. Костюковський Б.А., Лещенко І.Ч., Спітківський А.І., Іваненко Н.І. Теоретичні засади аналізу ефективності моделей регулювання діяльності в електроенергетиці та оцінка наслідків впровадження ринкових моделей в Україні. *Проблеми загальної енергетики*. 2012. Вип. 4(31). С. 21—28.

3. Про ринок електричної енергії: Закон України від 13.04.2017 № 2019-VIII. *Відомості Верховної Ради (ВВР)*. 2017. № 27-28. ст. 312.

4. Про затвердження Порядку формування прогнозного балансу електричної енергії об'єднаної енергетичної системи України на розрахунковий рік: Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 26.10.2018 № 539. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1312-18> (дата звернення 10.08.2021)

5. Прогнозний баланс електроенергії об'єднаної електроенергетичної системи України на 2021 року станом на 26.04.2021. Міністерство енергетики України, 2021. URL: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art_id=245530059&cat_id=245183250 (дата звернення 10.08.2021)

6. Графік накопичення вугілля на кінець кожного місяця 2021 року для теплових електростанцій та теплоелектроцентралей. Міністерство енергетики України, 2021. URL: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art_id=245566184&cat_id=245183250 (дата звернення 25.08.2021).

Надійшла до редколегії: 30.08.2021