

БЕЗПЕКОВІ АСПЕКТИ БАЛАНСУ ВУГЛЕЦЕВМІСНИХ ПАЛИВ В УМОВАХ СТАНОВЛЕННЯ НОВІТНІХ СХЕМ ПАЛИВОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В УКРАЇНІ

Надано оцінки стану енергетичної безпеки при постачанні вуглецевмісних енергоносіїв за обсяговими критеріями на основі подання системи паливозабезпечення в трипаливній економіко-математичній моделі виробничого типу. Наведено результати розрахунків паливних потоків та відповідні рівні критеріїв енергетичної безпеки в умовах суттєвої перебудови традиційних схем паливозабезпечення країни.

Ключові слова: система паливозабезпечення, енергетична безпека, вугілля, природний газ, потокова модель.

енергетичний сектор України протягом всього періоду незалежності держави зберіг орієнтацію на постачання природного газу, нафтопродуктів, палива для ТЕС та АЕС з країн пострадянського простору. Кардинальна зміна зовнішньополітичних, економічних умов життя і розвитку країни, що мала місце на межі 2013–2014 рр., спричинила втрату об'єктів ПЕК та перспективних територій для розробки вуглеводневих ресурсів внаслідок анексії Криму і військових дій на Сході країни, а також руйнування нафтогазової інфраструктури в Донецькій і Луганській областях [1]. Частка сукупного імпорту у загальному надходженні

палива в систему за 2012–2014 рр. для України наведена у табл. 1.

Проте, у 2015 р. були закладені та певною мірою реалізовані базові засади паливозабезпечення сучасної європейської країни, що активно виробляє незалежну енергетичну політику: диверсифікація постачання природного газу, та відповідне значне скорочення його імпорту з Росії; зменшення загального споживання та збільшення його транзиту територією України; прийняття та імплементація законодавства в різних секторах енергетики, що відповідає європейським стандартам; продовження програми з енергоефективності та енергозбере-

Таблиця 1 – Частка імпорту у загальному надходженні палив

Показник	Частка імпорту у загальному надходженні, %		
	2012	2013	2014
Природний газ	60,1	55,5	45,88
Вугілля	24,2	37,19	н.д.
Бензини	61,2	75,8	81,46
Диз.паливо	77,3	84,02	89,24

ження тощо.

Паливний баланс країни забезпечено шляхом підвищення ролі імпортування та розширення переліку джерел імпорту, істотного скорочення споживання. Важливим чинником досягнення балансу були зміни в структурі споживання палив у напрямку переважного використання наявних недефіцитних енергоносіїв власного видобутку, зокрема вугілля марок газової групи.

Тому, **метою** даної статті є оцінка рівнів енергетичної безпеки, досяжних при різних варіантах функціонування системи паливозабезпечення в умовах скорочення обсягів власного видобутку окремих видів палива, впливу на них диверсифікації джерел постачання, а також змін у структурі споживання. Важливою особливістю методики розрахункового аналізу стану енергетичної безпеки у даному дослідженні є використання критеріїв безпеки на етапі безпосереднього розрахунку паливного балансу у вигляді обмежень на потоки енергоносіїв у мережному поданні балансово-оптимізаційної моделі паливозабезпечення.

Проблематика паливозабезпечення у різних аспектах дослідження енергетичних балансів, систем виробництва й постачання паливних продуктів, а також дотичні напрямки їх математичного моделювання широко представлені в роботах вітчизняних і зарубіжних дослідників. Серед них А.П. Меренков, В.Я. Хасилев, Н.И. Илькевич, М.Г. Сухарев, В.А. Ефремов, В.Є. Лір, Ahuja R.K., Alves de Freitas A.M., Bazaraa M.S., Bertsekas D.P., Suwala W., Cooper L та ін., колектив ИСЭМ РАН. Таким чином, серед розглянутих існуючих підходів до моделювання паливозабезпечення країни, лише обмежена кількість з них розглядає більше одного виду палива у межах однієї моделі. Крім того, вимоги енергетичної безпеки, що чинять безпосередній вплив на обсяги видобутку та імпортування паливних продуктів, у явному вигляді в розглянутих моделях не використовуються.

Основні тенденції розвитку нової моделі паливозабезпечення протягом цього періоду характеризуються такими показниками.

Загальний обсяг видобутку природного газу в Україні у 2015 р. знизився на 3% у порівнянні із 2014 р. до 19,9 млрд м³. Незважаючи на це, газовий сектор України у 2015 р. зберіг пози-

тивний тренд розвитку, зокрема імпорт природного газу скоротився до 16,5 млрд м³ (що на 15% менше, ніж у 2014 р.), при цьому частка закупівлі у ВАТ «Газпром» зменшилась до 37,6% у загальному обсязі імпорту. У загальному обсязі імпортування частка ВАТ «Газпром» становила 6,140 млрд м³ – на 57,7% менше, ніж у 2014 р.; імпорт з ЄС – 10,302 млрд м³.

Обсяг транзиту територією України в напрямку ЄС у 2015 р. дорівнював 67,1 млрд м³, що на 13% більше, ніж у 2014 р. – 59,4 млрд м³.

Обсяг споживання природного газу в Україні у 2015 р. знизився на 20,9%, порівняно з 2014 р., і становив 33,727 млрд м³. Зокрема, промисловістю – 11,416 млрд м³ (на 19,2% менше), населенням і бюджетними організаціями – 12,178 млрд м³ (на 22,6% менше), підприємствами теплокомуненерго – 6,938 млрд м³ (на 19,2% менше). Виробничо-технологічні витрати становили 3,196 млрд м³ (на 15,5% менше). Крім того, було введено в експлуатацію нове устаткування на біоенергетичних ресурсах, що дало можливість додатково замінити 500 млн м³ природного газу у загальному обсязі заміщення 3 млрд м³ природного газу на рік.

За даними Міністерства енергетики та вугільної промисловості, у 2015 р. обсяг видобутку нафти і газового конденсату в Україні становив 2 461,7 тис. т (на 9,9% менше, ніж у 2014 р.), у т.ч. нафти – 1 805,6 тис. т (на 10,9% менше). З них підприємствами НАК «Нафтогаз України» – 2 181,8 тис. т (на 9,9% менше), у т.ч. нафти – 1 695,1 тис. т (на 10% менше), іншими нафтогазовидобувними компаніями – 279,8 тис. т нафти і газового конденсату (на 9,7% менше), у т.ч. 110,5 тис. т нафти (на 22,4% менше).

У 2015 р., порівняно з 2014 р., скоротилося промислове споживання бензинів на 17% – до 542 тис. т, а дизельного палива – на 7% – до 3,220 млн т. Загальне споживання бензину в Україні (без урахування АР Крим) у 2015 р. скоротилося на 24% – до 2,340 млн т, дизельного палива – на 13% – до 4,560 млн т.

У 2015 р. обсяг видобутку вугілля в Україні становив 39,746 млн т, що на 38,8% менше, порівняно з 2014 р., у т.ч. вугледобувними підприємствами, що належать до сфери управління профільного міністерства – 6,742 млн т, що на 62% менше, порівняно з 2014 р.

Видобуток коксівного вугілля за минулий рік знизився на 49,8% (на 7,984 млн. т) – до 8,155 млн т, енергетичного – на 35,3% (на 17,252 млн т) – до 31,604 млн т. У т.ч. вугледобувні підприємства, що належать до сфери управління міністерства, знизили видобуток коксівного вугілля на 57,6% (на 2,652 млн т) – до 1,950 млн т, енергетичного – на 63,5% (на 8,332 млн т) – до 4,792 млн т

У 2015 р. мали місце суттєві проблеми з постачанням вугілля дефіцитних марок на українські ТЕС. Згідно з даними Міністерства, загальний рівень споживання вугілля у 2015 р. становив 28,64 млн т, що на 9,3% менше, порівняно з 2014 р. (31,56 млн т). Також, у 2015 р. спостерігалася тенденція збільшення використання на ТЕС вугілля газової марки, оскільки антрацитове вугілля в Україні залишається дефіцитним. Частка споживання газового вугілля була на рівні 65–70%, тоді як у 2014 р. вугілля газової групи і антрацити використовувались в однакових частках.

Наведені вище обсягові показники функціонування паливно-енергетичного комплексу країни було використано для оцінки стану енергетичної безпеки у трипаливній балансово-оптимізаційній моделі виробничого типу. Економіко-математична модель паливозабезпечення являє собою оптимізаційну задачу відшукування вектора інтенсивностей технологічних способів постачання, що мінімізує його сумарну вартість при обмеженнях на обсяги надходження та заданому кінцевому споживанні [2].

Вимоги енергетичної безпеки при постачанні палива в країну враховуються за допомогою лінійних функціональних обмежень [3], що дописуються до додаткової підсистеми рівнянь та побудовані на основі співвідношень обсягів власного видобутку та імпортування, що задаються критеріями енергетичної безпеки.

Цільовою функцією моделі є сукупні витрати на видобуток, транспортування, імпортування та переробку різних видів палива при задоволенні повної потреби споживачів у заданих видах палива. Змінними моделі є обсяги власного видобутку та імпортування. В праву частину системи рівнянь вміщено сукупні обсяги споживання, диференційовані за типами палива. Модель має обмеження на пропускну здатність транспортних магістралей та обся-

ги власного видобутку, які знаходяться у межах потенційно досяжних обсягів:

$$\sum_{i \in I} \left(\sum_{j=1}^{N_{eg}} C_{ij} \cdot x_{ij} + \sum_{k=1}^{N_{imp}} C_{ik} \cdot x_{ik} \right) \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$\sum_{i \in I, j=1}^{N_{eg}} g_{ij} \cdot x_{ij} + \sum_{i \in I, k=1}^{N_{imp}} g_{ik} \cdot x_{ik} \geq X_i, \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I, k=1}^{N_{imp}} x_{ik} \leq X_{i, nzu}, \quad (3)$$

$$0 \leq x_{ij} \leq X_{ij, max}, \quad (4)$$

$$\sum_{i \in I, k=1}^{N_{imp}} x_{ik} = e_{il} + \gamma \cdot \left(\sum_{i \in I, j=1}^{N_{eg}} x_{ij} + \sum_{i \in I, k=1}^{N_{imp}} x_{ik} \right), \quad (5)$$

$$x_{ik, imn} = e_{ik} + \lambda \cdot \sum_{i \in I, k=1}^{N_{imp}} x_{ik}, \quad (6)$$

У рівняннях (1) – (6):

I – множина видів палива;

x_{ij}, x_{ik} – обсяги постачання з джерела власного видобутку j та джерела імпортування k палива виду i , відповідно;

C_{ij}, C_{ik} – вартість видобутку та імпортування з джерела власного видобутку j та джерела імпортування k палива виду i , відповідно;

N_{eg}, N_{imp} – кількість джерел власного видобутку та імпортування, відповідно;

g_{ij}, g_{ik} – технологічні коефіцієнти процесу постачання з джерела власного видобутку j та джерела імпортування k палива виду i , відповідно;

X_i – потреба у паливі типу i ;

$X_{i, nzu}$ – пропускну здатність транспортної інфраструктури по паливу типу i ;

$X_{ij, max}$ – максимально досяжний обсяг видобутку палива i з джерела j ;

e_{il} – значення вирівнювальних змінних, що визначають величину небалансу обсягів палива типу i при виконанні умови енергетичної безпеки «Частка імпорту у загальному постачанні палива в систему»;

e_{ik} – значення вирівнювальних змінних, що визначають величину небалансу палива типу i при виконанні вимоги енергетичної безпеки «Частка імпорту з одного джерела».

Повна потреба у паливі типу i , що задається у правій частині системи рівнянь, включає у

себе обсяги транзиту, які мають бути транспортовані національною транспортною мережею:

$$X_i = X_{i, \text{внутр}} + X_{i, \text{транзит}}, \quad (7)$$

де $X_{i, \text{внутр}}$, $X_{i, \text{транзит}}$ – обсяги споживання палива типу i в межах країни та обсяги його транзиту, відповідно.

Модель побудована на основі підходу, що поєднує у собі властивості поточкових моделей та моделей виробничого типу. Система паливозабезпечення країни в межах даного підходу подається як впорядкований направлений граф, що містить вузли технологій власного видобутку та імпортування палив різного типу, їх переробки та споживання, а також підсистему транспортування, яка, разом із технологіями переробки, являє собою підсистему постачання, що здійснює надходження палив до споживачів.

Описаний вище підхід до моделювання змін у структурі паливозабезпечення покладено в основу трипаливної мережної моделі паливозабезпечення. Модель містить підсистеми нафтопостачання, газопостачання та вуглепостачання. Обсяг надходження нафти з Росії розподіляється між Придніпровськими нафтопроводами, постачанням на Лисичанський НПЗ та спрямовується у вузол транзиту. Нафта власного видобутку, а також нафта з інших джерел імпорту надходить на переробку на Дрогобицький та Надвірнянський НПЗ. Паливні продукти НПЗ – бензин, дизельне паливо та мазути, а також нафтовий газ спрямовуються у вузли їх накопичення, з яких надходять безпосередньо у вузли споживання. У цих вузлах передбачено також споживання імпортованих нафтопродуктів, які постачаються безпосередньо споживачам з вузлів імпорту. Крім того, є вузол накопичення нафтового газу, виробництво якого становить близько 1% від обсягу перероблюваної нафти.

У моделі газ може надходити в систему з джерел власного видобутку, Росії та низки європейських країн. Газ власного видобутку надходить у магістральні газопроводи. Імпортований газ також надходить у магістральні газопроводи, які здійснюють його транспортування до газорозподільних пунктів розподільних мереж та підземних сховищ газу. Безпосередній транзит газу з Росії враховується у моделі окремим вузлом та лінією. Розподільні газопроводи постачають газ для споживачів 4-х

груп – теплова енергетика, промисловість, побутові потреби та інші.

Вуглепостачання в моделі здійснюється двома окремими підсистемами, диференційованими за типами вугільної продукції – енергетична та коксівна. Енергетичне вугілля надходить з вузлів власного видобутку та імпорту. Імпорт коксівного вугілля з країн близького та далекого зарубіжжя представлено одним вузлом. Переробка імпортованого вугілля та вугілля власного видобутку енергетичних та коксівних марок здійснюється у окремих вузлах. В межах вугільної галузі передбачено можливість переспрямування продуктів переробки коксівного вугілля у енергетичну галузь і навпаки, наприклад, з енергетики у чорну металургію. Обсяг кінцевого споживання вугілля всіх марок утворюється підсумовуванням обсягів споживання енергетичного та коксівного вугілля у сумарному вузлі.

Заміщення палив здійснюється у цій схемі на основі умови рівності кількості теплоти, що утворюється при їх спалюванні, із врахуванням середніх значень теплотворних здатностей.

У межах транспортних технологій враховано перевезення різними видами транспорту – залізничними та морськими шляхами [4], а також трубопроводами. В запропонованій моделі можуть бути виділені ланцюги будь-яких викопних та органічних палив. Вибір переліку джерел імпортування здійснюється на етапі підготовки вихідних даних для моделювання шляхом співставлення фізико-хімічних параметрів палив, що котируються на світових ринках від різних постачальників, вимог споживачів щодо якості палива, а також наявних та історично складених шляхів надходження.

Наведені нижче результати розрахунків паливних потоків в описаній вище моделі подають можливі баланси вуглецевмісних палив та відповідні величини порушення обсягових критеріїв енергетичної безпеки за даними споживання палив 2015 р.

Баланс нафти та нафтопродуктів розраховувався при економічно доцільних значеннях переробки на Кременчуцькому НПЗ (I), а також при фактичних значеннях обсягів цих обсягів (II) (табл. 2).

Розрахунки балансів газу було виконано за припущення повної відсутності постачання газу з Росії для потреб України та фактичних обсягах транзиту «Газпромом» українською

Таблиця 2 – Баланс нафти та окремих нафтопродуктів

Показник	Варіант I	Варіант II
Власний видобуток нафти, тис. т	2461,7	
Імпорт нафти, всього, тис. т	26608,6	15803,9
у т.ч. з Росії	15153	
з інших джерел	11455,6	650,9
Транзит нафти, тис. т	15153	
Переробка нафти Кременчуцьким НПЗ, тис. т	13917,3	3112,6
Власне виробництво нафтопродуктів, тис.т:		
Бензинів	6820,174	1525,33
Дизпалива	4560,0	1019,842
Мазутів	2260,174	505,487
Газ для побутових потреб	1,0	1,0
Імпорт нафтопродуктів, тис. т:		
Бензинів	0,0	814,67
Дизпалива	0,0	3540,16
Мазутів	0,0	0,0

Таблиця 3 – Баланс газу

Показник	Варіант I	Варіант II	Варіант III
Власний видобуток, млрд м ³	19,896	20,0	20,0
Імпорт, всього, млрд м ³ (%)	12,831 (38,04)	12,727 (37,74)	12,727 (37,74)
у т.ч. Росія (на транзит)	67,084	67,084	67,084
Словаччина (%)	5,0 (38,97)	5,0 (39,29)	3,818 (29,99)
Угорщина (%)	2,0 (15,59)	2,0 (15,71)	2,0 (15,74)
Польща (%)	1,5 (11,69)	1,5 (11,79)	1,5 (11,79)
Румунія (%)	4,331 (33,75)	4,227 (33,21)	3,818 (29,99)
Інші (%)	0,0	0,0	0,0
Транзит, млрд м ³	67,084	67,084	67,083
Споживання газу, млрд м ³	33,727	33,727	33,727
у т.ч. газ для побутових потреб	12,142	12,142	12,142
Промисловість	11,467	11,467	11,467
Теплова енергетика	7,083	7,083	7,083
Інші	3,035	3,035	3,035

Таблиця 4 – Небаланси газових потоків

Показник	Варіант I	Варіант II	Варіант III
Частка імпорту у загальному постачанні, млрд м ³	-3,533	-3,637	-3,637
Частка імпорту з одного джерела, у т.ч. Росія	3,849	3,818	2,227
Словаччина	<u>-1,151</u>	<u>-1,182</u>	0,0
Угорщина	1,849	1,818	1,818
Польща	2,349	2,318	2,318
Румунія	<u>-0,482</u>	<u>-0,409</u>	0,0
Інші	3,849	3,818	3,818

Таблиця 5 – Баланс вугілля

Показник	Варіант I	Варіант II
Власний видобуток енергетичного вугілля, млн т	26,64	26,64
Імпорт енергетичного вугілля, млн т	0,0	0,0
Власний видобуток коксівного вугілля, млн т	8,33	8,33
Імпорт коксівного вугілля, млн т (% від загального постачання)	5,56 (50,299)	5,56 (50,299)
у т.ч. Австралія (% у сукупному імпорті)	0,0 (0,0)	1,67 (30,04)
США (%) (% у сукупному імпорті)	0,0 (0,0)	0,56 (10,072)
Росія (%) (% у сукупному імпорті)	5,56 (100)	1,67 (30,04)
Казахстан (%) (% у сукупному імпорті)	0,0 (0,0)	1,67 (30,04)
Коефіцієнт збагачення енергетичного вугілля, %	0,66	0,66
Коефіцієнт збагачення коксівного вугілля, %	0,66	0,66
Споживання вугілля всього, млн т	28,637	28,637
Частка енергетичного вугілля у сукупному споживанні, %	61,4	61,4
Пропускна здатність портів, млн т	9,0	9,0
Імпорт вугілля через порти, млн т	0,0	2,22

ГТС (I). У другому варіанті розрахунку була закладена можливість імпортування російського газу українським споживачам з більшим ціновим коефіцієнтом у порівнянні з цінами надходження з інших джерел (II). Третій варіант розрахунку проводився із врахуванням критерію енергетичної безпеки щодо частки

імпортування з одного джерела. Результати описаних розрахунків наведено у табл. 3.

Порушення енергетичної безпеки, що визначаються за величиною небалансів потоків природного газу у розрахунках, наведені у табл. 4. Порушення критерієм «Частка імпорту з одного джерела» виділено підкресленням.

Таблиця 6 – Небаланси вугільних потоків

Показник	Варіант I	Варіант II
Частка імпорту у загальному постачанні енергетичного вугілля, млн т	-8,792	-8,792
Частка імпорту у загальному постачанні коксівного вугілля, млн т	<u>0,03</u>	<u>0,03</u>
Частка імпорту з одного джерела (коксівне вугілля), у т.ч. Австралія	1,668	0,0
США	1,668	1,112
Росія	<u>-3,892</u>	0,0
Казахстан	1,668	0,0

Баланси вугільних продуктів, розраховані при обмеженні на пропускну здатність українських портів, що відповідає фактичному значенню (I), а також з урахуванням обсягового критерію «Частка імпорту з одного джерела» (II), наведено у табл. 5.

Небаланси вугільних продуктів, утворені при розрахунках, наведено у табл. 6. Порушення обсягових критеріїв енергетичної безпеки у таблиці виділено підкресленням.

ВИСНОВКИ

1. Розрахунковий аналіз стану енергетичної безпеки при постачанні вуглецевмісних палив при суттєвій перебудові схем паливозабезпечення показав ефективне зростання рівня надійності забезпечення країни природним газом за рахунок диверсифікації джерел надходження та значного скорочення кінцевого споживання, заміщення недефіцитними видами палив.

2. Постачання вугільних продуктів є надійним за критеріями «Частка власних джерел у сукупному постачанні» та «Частка імпорту з одного джерела» для енергетичного й коксівного вугілля в цілому із незначним порушенням 0,03 млн т, що пояснюється скороченням власних джерел видобування на підконтрольній державі території країни.

3. Стан енергетичної безпеки в частині балансу нафти та нафтопродуктів є незадовільним у зв'язку із значним скороченням обсягів виробництва на вітчизняних нафтопереробних підприємствах та низького рівня глибини переробки сирової нафти.

4. Моделювання балансу вугільних продуктів за допомогою розробленої економіко-математичної моделі показує покращення стану енергетичної безпеки при вимушеному скороченні шахтного фонду за рахунок зменшення загальної потреби на вугільне паливо.

5. Врахування обмежень енергетичної безпеки на етапі розрахунку потоків палива в системі паливозабезпечення здійснює значний вплив на обсяги надходження з різних джерел, і може генерувати схеми постачання, що суперечать економічній доцільності.

1. Енергетична галузь України: підсумки 2015 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://gazumkov.org.ua/upload/2016_ENERGY.pdf

2. Білан Т.Р. Методи та засоби економіко-математичного моделювання розвитку вугільної промисловості в умовах світового ринку: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.14.01 «Енергетичні системи та комплекси» / Т.Р. Білан. – Київ, 2015. – 20 с.

3. Каплін М.І. Оптимізація системи паливозабезпечення на основі мережного подання модифікованої моделі виробничого типу: Автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.14.01 «Енергетичні системи та комплекси» / М.І. Каплін. – К., 2015. – 20 с.

4. Стогній О.В. Економіко-математична модель імпортування вугілля в Україну / О.В. Стогній, М.І. Каплін, Т.Р. Білан // Проблеми загальної енергетики. – 2012. – №1(28). – С.29–34.

Надійшла до редколегії: 24.10.2016.