

УДК 004.942:622.68

## МОДЕЛЮВАННЯ ІМПОРТУ ВУГЛЕЦЕВМІСНИХ ЕНЕРГОНОСІЇВ ДЛЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО КОМПЛЕКСУ КРАЇНИ З УРАХУВАННЯМ ВИМОГ ЇЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ

**О.В. Стогній**, канд. техн. наук, **М.І. Каплін**, ст. наук. співроб., **Т.Р. Білан**, мол. наук. співроб.

Інститут загальної енергетики НАН України,  
вул. Антоновича, 172, Київ, 03150, Україна  
e-mail: [stogniy@ienenergy.kiev.ua](mailto:stogniy@ienenergy.kiev.ua)

*Розглянуто структуру імпорту вугілля, нафти й природного газу в межах економіко-математичної моделі паливозабезпечення країни вуглецевмісним паливом, у тому числі для генерування електроенергії з урахуванням розширення переліку джерел імпортування, можливостей транспортної інфраструктури, міжгалузевого переспрямування надлишкових обсягів вугільної продукції, дотримання умов енергетичної безпеки. Задача визначення доцільних обсягів імпорту вирішується у контексті загальної проблеми оптимізації структури паливозабезпечення країни за умов значного скорочення власного видобутку вугілля й необхідності заміщення природного газу в енергетичному балансі держави. Бібл. 10, рисунок, таблиця.*

**Ключові слова:** енергетична безпека, імпортування вугілля, диверсифікація, природний газ, скорочення власного видобутку, заміщення.

Дотримання обмежень енергетичної безпеки при моделюванні взаємоузгоджених балансів вуглецевмісного палива [4] істотно впливає на формування результуючих потоків такого палива, вимагаючи заміщення його видів [5], а також асортиментних заміщень у межах одного виду [1, 2, 9]. Зокрема, співвідношення загальних обсягів імпорту та надходження палива в країну при істотному скороченні власного видобутку передбачає необхідність заміщення іншими видами палива, постачання якого також підлягає обмеженням енергетичної безпеки, що породжує проблему оптимізації надходження всіх видів палива, що розглядається, включно з визначенням доцільних обсягів імпортування та диверсифікації імпорту [3]. Наприклад, у випадку вугільного палива економічно обґрунтоване скорочення імпорту в свою чергу може призвести до заміщення певних обсягів коксівного вугілля енергетичним або навпаки. Крім того, зростання потреби та скорочення власного видобутку може спричинити необхідність імпортування як енергетичного, так і коксівного вугілля, що має забезпечуватися необхідними логістичними можливостями та вимогами споживачів щодо якості палива [4].

Для вирішення проблеми одночасного дефіциту вугілля й природного газу в цьому дослідженні використана економіко-математична модель паливозабезпечення економіки країни вуглецевмісним паливом (нафта, природний газ, вугілля), що містить низку механізмів відтворення паливного балансу, а також відповідні цим механізмам структурні підсистеми моделі, а саме: 1) імпортування вугільної продукції з розширеного переліку джерел, передусім країн далекого зарубіжжя; 2) імпортування газових видів палива з країн ЄС в гранично допустимих обсягах, що задаються технічними можливостями європейської та української газотранспортних систем, будівництво потужностей приймання, зберігання скрапленого газу, його регазифікації; 3) заміщення природного газу вугільним паливом у межах потенціалу переорієнтування споживачів на спалювання вугілля, потужностей газифікації вугілля; 4) асортиментні заміщення в промисловості та паливно-енергетичному комплексі шляхом переспрямування коксівного вугілля в теплову енергетику й енергетичного – у промисловість, залежно від досяжних обсягів власного видобутку й кон'юнктури світових ринків вугілля. Тільки при єдиній дії цих механізмів видається можливим задоволення потреби країни у вуглецевмісному паливі, що в свою чергу вимагає їх одночасного врахування в моделях балансу паливних продуктів. Зокрема, збільшення обсягів імпортування вугілля, що значно підвищує диверсифікаційні можливості паливозабезпечення у цілому, спрямовано як на безпосереднє постачання споживачів вугільних продуктів, так і на заміщення природного газу, потребує врахування обмежень транспортної підсистеми і одночасно граничних потужностей перетворення для споживачів газу.

Модель паливозабезпечення економіки країни, використана у цьому дослідженні для оцінки варіантів паливного балансу країни, побудована на основі системи мережних аналогій, які відображають процеси виробітку, перетворення та споживання палива у термінах абстрактної мережі паливозабезпечення. Процес паливозабезпечення одним видом палива в межах цього підходу виглядає як сегмент впорядкованого спрямованого графа, що містить вузли технологій виробітку палива, його перероблення та споживання, а також підсистему транспортування, яка разом із технологіями перероблення є підсистемою постачання палива, що здійснює надходження палива безпосередньо до споживачів. Цей підхід до моделювання структури паливозабезпечення покладено в основу трипаливної мережної моделі паливозабезпечення. Схема містить підсистеми нафто-, газо- та вуглепостачання. У підсистемі нафтопостачання надходження нафти забезпечується власним видобутком, надходженням її з Російської Федерації та інших джерел імпорту. Обсяг надходження нафти розподіляється між магістральними нафтопроводами, постачанням на НПЗ та спрямовується у вузол транзиту. 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. Нафтовий газ, виробництво якого становить близько 1 % від обсягу перероблюваної нафти, може споживатися на самих НПЗ або надходити для споживання населенням у підсистему газопостачання.

Видобуток газу у моделі подається вузлом власного видобутку. Крім того, газ може надходити в систему з РФ та інших країн – Словаччини, Угорщини, Польщі, Румунії й інших джерел. Газ власного видобутку надходить у магістральні газопроводи. Імпортований газ з РФ та інших джерел спрямовується у вузол, вміщений у систему штучним способом як елемент модельної конструкції підсумовування для врахування його загального обсягу в критеріях енергетичної безпеки. 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. Розподільні газопроводи постачають газ для споживачів чотирьох груп – теплової енергетики, промисловості, для побутових потреб та інших. Загальне споживання газу утворюється підсумовуванням потоків до цих споживачів, які, в свою чергу, підлягають пропорціонуванню згідно з фактичними обсягами споживання в галузях [10].

Вуглепостачання в моделі здійснюється двома окремими підсистемами, диференційованими за типами вугільної продукції – енергетичного та коксівного вугілля. Енергетичне вугілля видобувається у вузлі власного видобутку та імпортується з джерел близького (Росія, Казахстан), а також потенційно – Німеччини, Польщі та далекого (Австралія, ПАР, Колумбія, Нова Зеландія, США, Індонезія) зарубіжжя. Коксівне вугілля також надходить у систему паливозабезпечення з країн БЗ (Росія, Казахстан) та ДЗ (Австралія, США). Вибір саме таких джерел імпортування енергетичного та коксівного вугілля обумовлений наявністю відповідних типів вугільної продукції в згаданих країнах. Обсяги вугільної продукції, що надходить за імпортом, підсумовуються в уявних вузлах, що характеризують транспортну інфраструктуру – морські порти та Укрзалізниця. Для визначення сумарних обсягів енергетичного та коксівного вугілля, що надходить морським шляхом, у модель вміщено фіктивний вузол, змінна якого використовується в обмеженнях пропускної здатності портів. Надалі сукупний обсяг цього вузла розподіляється на енергетичну та коксівну складові для подальшого диференційованого використання на етапах перероблення та розподілення між споживачами різних галузей економіки. Отримані таким чином обсяги імпортованої з далекого зарубіжжя вугільної продукції підсумовуються з обсягами, що надходять залізницею, утворюючи сукупні обсяги імпорту за видами вугільної продукції. Вказані операції підсумовування забезпечуються абстрактними конструкціями моделі – множиною вузлів і ліній, які не мають відповідників у реальних технологічних ланцюгах системи постачання палива, і введені в модель з метою отримання обсягових величин, що використовуються у підсистемі додаткових обмежень моделі, зокрема, вимог енергетичної безпеки. Детальний опис цього механізму наведено в [4].

Перероблення імпортованого й вугілля власного видобутку енергетичних та коксівних марок здійснюється у вузлах перероблення і збагачення. Можливість переспрямування продуктів перероблення коксівного вугілля у енергетичну галузь і навпаки, наприклад, з енергетики у чорну металургію, подається лініями (потоками вугільної продукції) між вузлами сукупних обсягів постачання енергетичного та коксівного вугілля в ланцюгах постачання цих видів вугільної продукції. Обсяги споживання енергетичного та коксівного вугілля підсумовуються у вузлі загального споживання. Потоки енергетичного та коксівного вугілля, що надходять у цей вузол, пропорціонуються згідно зі статистичними даними щодо споживання в галузях економіки.

Заміщення газу в промисловості при впровадженні технологій спалювання коксівного вугілля та надходження енергетичного вугілля для заміщення обсягів споживання газу тепловою енергетикою, зокрема теплоелектроцентралями (ТЕЦ), забезпечується у моделі окремими лініями з урахуванням коефіцієнтів перетворення за теплотворною здатністю. Модельні аспекти заміщення розглянуто у роботі [5]. Утворену таким чином модель паливозабезпечення країни вуглецевмісним паливом зображено на рисунку.

Розрахунки збалансованих обсягів паливозабезпечення за допомогою моделі з описаною структурою виконувались за середнього річного споживання газу на рівні 43 млрд. м<sup>3</sup>, власного видобутку – 20 млрд. м<sup>3</sup> та транзиту газу – на рівні 84,261 млрд. м<sup>3</sup>. Споживання бензину, дизельного пального та мазуту становило 4197,3, 6014,8 та 314,0 тис. т відповідно. Транзит сирої нафти при цьому покладено рівним 14557 тис. т. Сукупний обсяг споживання вугілля взято на рівні його фактичного значення у 2012 році – 69,0 млн. т, з них 41,522 млн. т – енергетичного та 27,478 млн. т – коксівного. З огляду на відсутність всієї сукупності вартісних (цінових) показників функціонування технологічних ланок системи паливозабезпечення, цільовий вектор задачі лінійної оптимізації сформовано на основі таких припущень: ціна (собівартість) палива власного видобутку обиралась нижчою за ціну відповідного імпортованого паливного продукту. Собівартість виробітку кінцевих продуктів у процесах заміщення – вищою за собівартість власного видобутку та імпортування. Затрати на транспортування вважались незалежними від відстані перевезень, а їх співвідношення визначалось лише видом транспорту. Такі цінові співвідношення встановлювались для всіх підсистем постачання палива – природного газу, нафти, вугілля.

У базовому варіанті розрахунку обсяги власного видобутку енергетичного та коксівного вугілля покладено на рівні, зазначеному у звітності Мінпаливенерго за 2013 рік [7] – 55,7 та 23,725 млн. т відповідно. Переспрямування коксівної вугільної продукції в енергетику не відбувається, обмеження на пропускну здатність транспортних магістралей відсутні. За таких умов імпортування коксівного вугілля здійснюється як з країн далекого зарубіжжя – Австралії (4,866 млн. т) та США (1,622 млн. т), так і з країн близького зарубіжжя – Російської Федерації (4,866 млн. т) та Казахстану (4,866 млн. т).

Заміщення природного газу енергетичним вугіллям у технологіях теплової енергетики та коксівним для потреб промисловості відбувається на рівні 1 та 7 млн. т відповідно.

Імпорт природного газу з країн Європи обмежений технічно-досяжними рівнями. Транзит газу становить 84,261 млрд. м<sup>3</sup> і забезпечується тільки з джерела «Росія», об'єми надходження з якого встановлено на рівні 85 млрд. м<sup>3</sup>.

Обсяги надходження вугільного палива та природного газу з різних джерел, а також сукупного імпорту підлягають дії вимог енергетичної безпеки «Імпорт з одного джерела» та «Частка імпорту у загальному надходженні палива в систему» [8]. Врахування цих вимог здійснюється за допомогою підсистеми додаткових рівнянь моделі виробничого типу, яку детально описано в роботі [4]. Порушення вимог енергетичної безпеки за змінними обсягами імпорту з окремих джерел встановлюються у розрахунку за від'ємними значеннями вирівнювальних змінних відповідних рівнянь-обмежень. Для обсягу сукупного надходження палива в систему, навпаки, – за додатним. Закріплення нижніх меж вирівнювальних змінних на нульових значеннях гарантує виконання умов енергетичної безпеки для всіх розраховуваних потоків паливних продуктів.

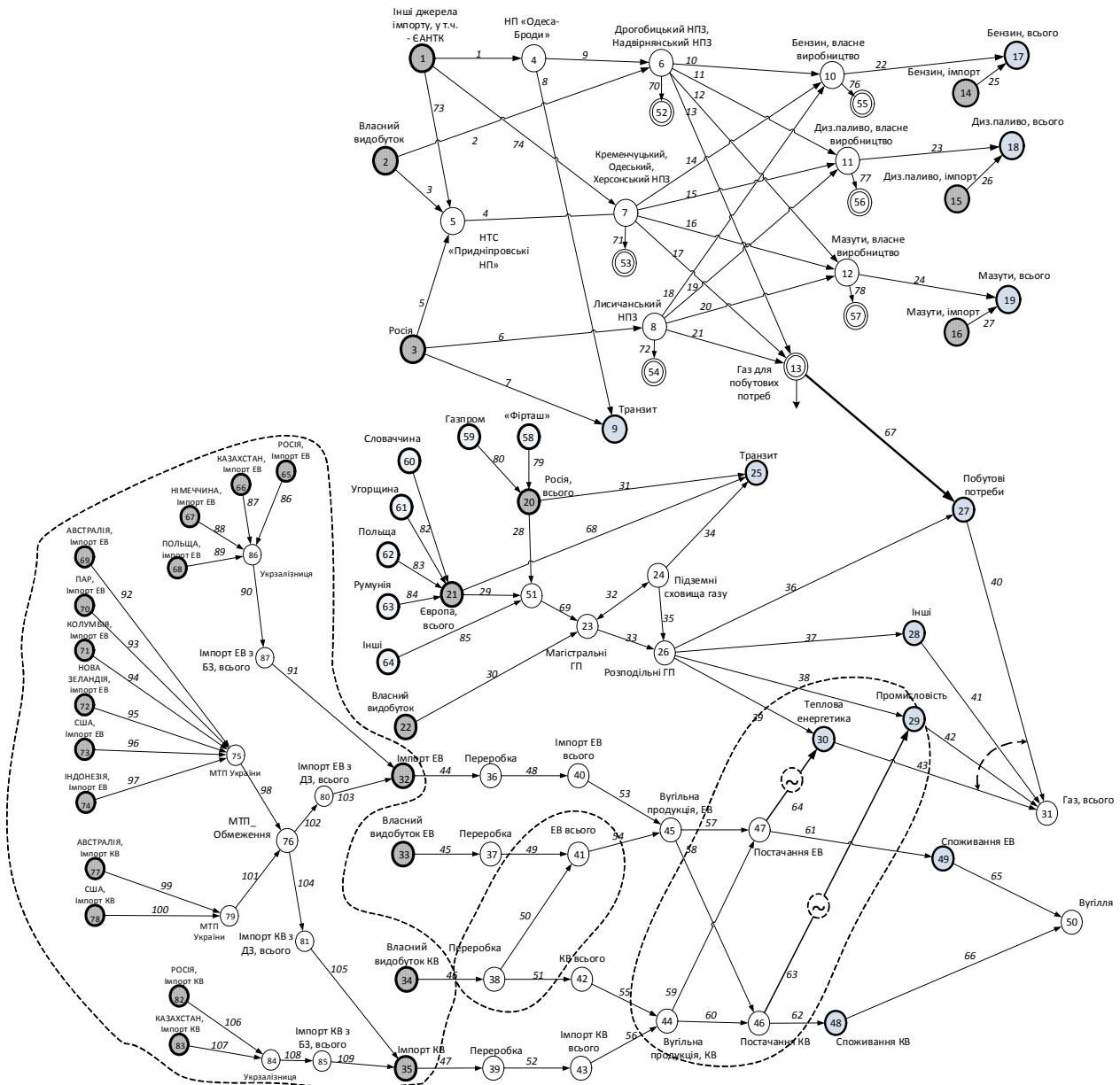
Варіантні розрахунки заміщення газу вугільним паливом показують, що за вказаних обсягів споживання вугілля та природного газу, а також їх власних видобутків, сукупна потреба у вугільному паливі для заміщення становить 8,6 млн. т. На розподіл цього обсягу між галузями-споживачами впливають пропорції споживання цих галузей. Зокрема, при заданих пропорціях споживання у промисловості та енергетичному секторі, як впливає з розрахунків, існує нижня межа обсягу заміщення газового палива в тепловій енергетиці, поза якою при заданих обсягах надходження природного газу балансу в підсистемі постачання газу досягти не вдається. Розрахунковим шляхом встановлено, що при описаних вище умовах балансу газу ця межа становить 1,6 млн. т. При цьому 7 млн. т із загального обсягу заміщення спрямовується для потреб промисловості. Очевидно, таке розподілення обсягів вугільного палива на заміщення газового можна вважати наразі актуальним, оскільки значна частина споживачів газу енергетичного сектора вже використовує вугільне паливо. За цих умов необхідні для задоволення прямої потреби у вугільному паливі й заміщення природного газу обсяги імпортування енергетичного та коксівного вугілля становлять 0,122 та 16,162 млн. т відповідно. Аналіз розрахованих значень небалансів постачання вугілля й природного газу в обмеженнях енергетичної безпеки свідчить про абсолютне виконання цих обмежень, тобто про достатній рівень диверсифікації постачання. У випадку заміщення природного газу переважно в енергетиці отримуємо значення імпорту енергетичного та коксівного вугілля – 6,522 та 9,762 млн. т відповідно.

Вказані обсяги імпортування вугільної продукції розраховані для випадку ізольованих підсистем паливозабезпечення споживачів енергетичного сектора та промисловості. Разом з цим, як було показано в роботі [5], існує можливість часткового задоволення галузей економіки в паливі за рахунок взаємного переспрямування надлишків – запасів на площадках ТЕС та шахтах енергетичних марок вугілля в промисловість, а також коксівних – у теплову енергетику. Так, за даними вугільного балансу 2012-2013 рр. розрахована в [5] величина обсягу вугілля, перенаправленого з енергетики в металургію, становила 3,326 млн. т. У іншому розрахунку загальна потреба в енергетичному вугіллі забезпечувалась за рахунок переспрямування вугілля в обсязі 2,713 млн. т з металургійного комплексу. Якщо використати ці дані, зокрема, щодо заміщення коксівного вугілля з енергетики у розрахунку трипаливного балансу з описаними вище обсягами власного видобутку та споживання, отримаємо можливість скорочення імпорту коксівного вугілля з 9,762 до 6,436 млн. т, тобто на 34 %.

У подальшій серії розрахунків для визначення обсягів імпортування вугільної продукції та джерел їх надходження здійснювалось поетапне зменшення обсягів власного видобутку енергетичного та коксівного вугілля. Ці варіанти розрахунків відповідають припущенням щодо можливого скорочення видобутку в Луганській та Донецькій областях, сумарні обсяги видобутку у яких сягають близько 75 % від загальнодержавного, на 30, 60 та 90 %.

За таких умов обсяги імпорту енергетичного та коксівного вугілля збільшуються, а саме: у випадку зменшення видобутку на 30 % імпорт енергетичного вугілля становив 7,24 млн. т., коксівного – 20,312 млн. т; при зменшенні обсягів власного видобутку на 60 % – 17,712 та 24,403 млн. т відповідно; при зменшенні видобутку на 90 % – 28,075 та 28,523 млн. т відповідно.

Обмеження обсягів імпортування відповідно до вимог енергетичної безпеки істотно впливає на розподіл потоків палива у схемі паливозабезпечення. Зокрема, вимога виконання обмеження за критерієм «Частка імпорту з одного джерела» для природного газу зменшує надходження цього виду палива з джерел, технічні можливості яких переважають допустимий за цим критерієм обсяг. У розрахунковому прикладі схеми, зображеної на рисунку, це Словаччина (вузол 60) та Румунія (вузол 63). Незважаючи на передбачену у моделі можливість заміщення газу вугільним паливом, що подається лініями 63 та 64, баланс палива за таких умов не виконується. Це пов'язано з наявністю у моделі споживачів, які не можуть бути переведені на вугільне паливо, – вузли «Побутові потреби» (27) та «Інші» (28). Варто зазначити, що обмеження за критерієм «Частка імпорту у загальному постачанні в систему» за цих же умов задовольняється з надлишком 2,38 млрд. м<sup>3</sup>, що пов'язано з низьким рівнем



власного видобутку – 20 млрд. м<sup>3</sup>. Баланс палива у цьому випадку забезпечується переважно заміщенням природного газу вугіллям (лінії 63 та 64) та переспрямуванням наявних обсягів природного газу споживачам, не переведеним на вугілля. Необхідне порушення умови безпеки постачання газу зі Словаччини та Румунії для збалансування потокорозподілу палива сукупно становить – 0,8574 млрд. м<sup>3</sup> за використаних у розрахунку технічних можливостей 10 млрд. м<sup>3</sup>.

Скорочення власного видобутку на 90 % унеможливило надійне забезпечення вугіллям. Порушення умов енергетичної безпеки за критерієм «Частка імпорту у загальному постачанні в систему» становить 6,454 та 11,312 млн. т для енергетичного та коксівного вугілля відповідно. Вплив критерію «Частка імпорту з одного джерела» позначається істотними змінами потоків вугілля з країн-експортерів. Незважаючи на велику кількість можливих джерел імпортування, що у загальному випадку забезпечує широкі можливості диверсифікації, обсяги надходження вугілля з цих джерел суттєво обмежуються особливостями транспортної інфраструктури. Якщо не вимагати виконання вимог за вказаним критерієм для всіх країн-експортерів, то баланс вугільного палива легко досягається надходженням з Росії та Казахстану і передбачає перевезення залізничним транспортом (обмеження пропускної здатності залізниць у цьому дослідженні не

Параметр	Варіанти розрахунку з відносним зменшенням видобутку вугілля в Донецькій та Луганській областях, %, на			
	базовий, 0	-30	-60	-90
Власний видобуток газу, млрд.м <sup>3</sup>	20	20	20	20
Імпорт газу, млрд. м <sup>3</sup> (51), всього	15,239	15,239	15,239	15,239
Газпром, млрд. м <sup>3</sup> (59)	85	85	85	85
Словаччина, млрд. м <sup>3</sup> (60)	5	5	5	5
Угорщина, млрд. м <sup>3</sup> (61)	2	2	2	2
Польща, млрд. м <sup>3</sup> (62)	1,5	1,5	1,5	1,5
Румунія, млрд. м <sup>3</sup> (63)	5	5	5	5
Інші джерела імпорту газу, млрд. м <sup>3</sup> (64)	0,948	0,948	0,948	0,948
Величина порушення умов енергетичної безпеки за змінними обсягів імпортування газу (вирівнювальні змінні)				
Загальний імпорт природного газу	-2,406	-2,406	-2,406	-2,406
Імпорт з				
Росії	3,817	3,817	3,817	3,817
Словаччини	-0,444	-0,444	-0,444	-0,444
Угорщини	2,556	2,556	2,556	2,556
Польщі	3,056	3,056	3,056	3,056
Румунії	-0,444	-0,444	-0,444	-0,444
інших джерел	3,608	3,608	3,608	3,608
Власний видобуток енергетичного вугілля, млн. т (33)	55,699	46,479	32,915	19,491
Імпорт енергетичного вугілля, млн. т (32), всього	0,122	7,24	17,712	28,075
Росія, млн. т (65)	0,037	0,6	0,6	1,2
Казахстан, млн. т (66)	0,037	2,172	5,314	8,423
Австралія, млн. т (69)	0,012	2,172	5,314	8,423
ПАР, млн. т (70)	0	0,124	5,314	8,423
Колумбія, млн. т (71)	0	0	1,171	2,208
Нова Зеландія, млн. т (72)	0	0	0	0
США, млн. т (73)	0	0	0	0
Індонезія, млн. т (74)	0,037	2,172	0	0
Власний видобуток коксівного вугілля, млн. т (33)	23,725	18,35	13,051	7,714
Імпорт коксівного вугілля, млн. т (35)	16,1662	20,312	24,403	28,523
Австралія, млн. т (77)	4,849	6,094	7,321	8,557
США, млн. т (78)	1,616	2,031	2,44	2,852
Росія, млн. т (82)	4,849	6,094	7,321	8,557
Казахстан, млн. т (83)	4,849	6,094	7,321	8,557
Заміщення природного газу енергетичним вугіллям, (64)	1,6	1,6	1,6	1,6
Заміщення природного газу коксівним вугіллям, (63)	7	7	7	7
Величина порушення умов енергетичної безпеки за змінними обсягів імпортування вугілля (вирівнювальні змінні)				
ЕВ, загальний обсяг	-21,439	-14,321	-3,849	6,514
КВ, загальний обсяг	-1,077	3,073	7,164	11,284
КВ з Казахстану	0	0	0	0
КВ з Росії	0	0	0	0
КВ з Австралії	0	0	0	0
КВ з США	3,232	4,062	4,881	5,705
ЕВ з Індонезії	0	0	5,314	8,423
ЕВ зі США	0,037	2,172	5,314	8,423
ЕВ з Нової Зеландії	0,037	2,172	5,314	8,423
ЕВ з Колумбії	0,037	2,172	4,142	6,815
ЕВ з ПАР	0,037	2,048	0	0
ЕВ з Австралії	0,024	0	0	0
ЕВ з Польщі	0,037	2,172	5,314	8,423
ЕВ з Німеччини	0,037	2,172	5,314	8,423
ЕВ з Казахстану	0	0	0	0
ЕВ з Росії	0	1,572	4,714	7,223

розглядалися через відсутність відповідних даних, зокрема, диференційовано за обсягами перевезення вугілля у загальному вантажопотокі залізниці). Скорочення імпорту з Росії призводить до відповідного зростання обсягу ввезення з Казахстану. Вимога обмеження індивідуальних обсягів всіх джерел імпортування призводить у цих умовах до витіснення надлишкових обсягів з підсистеми надходження з БЗ у підсистему імпортування з ДЗ. Незважаючи на відсутність будь-яких передбачуваних обмежень закупівлі палива в цих країнах, окрім можливих економічних чинників (ціни), весь імпортований обсяг з необхідністю транспортується морським шляхом. У цьому ланцюгу постачання вирішальний вплив на можливості нарощування обсягів мають потужності морських торговельних портів (МТП) країни. Розрахунок потоків палива у схемі, представленій на рисунку, при діючих індивідуальних обмеженнях на джерелах, показує перерозподіл 19,054 млн. т енергетичного вугілля, що надходило з Казахстану у випадку відсутності обмеження енергетичної безпеки, між Австралією – 8,423 млн. т, ПАР – 8,423 млн. т та Колумбією – 2,208 млн. т. У той же час необхідні обсяги постачання коксівного вугілля з Австралії та США становлять 8,557 та 2,852 млн. т відповідно. Загальний потік вугільної продукції через МТП, таким чином, становить 30,463 млн. т. Ця величина перевищує наявну наразі загальну пропускну здатність МТП країни 29,9 млн. т. Цілком актуальними у цьому випадку можуть виявитись і пропускі здатності залізниць при транспортуванні вугілля з портів до кінцевого споживача.

Результати розрахунків з розподілом обсягів надходження вугільної продукції та природного газу за джерелами імпортування та обмеженнями на пропуску здатність МТП, обсяги постачання з країн БЗ наведено у таблиці. У дужках вказано порядковий номер елемента (вузла або лінії) схеми системи паливозабезпечення (рисунок).

### **Висновки**

1. Пиловугільні ТЕС виробляють близько 46 % електричної енергії в Україні. Вони працюють у базовій частині графіка електричних навантажень і беруть участь у покритті максимумів навантаження у зв'язку з недостатньою встановленою потужністю маневрених енергоблоків ГЕС і ГАЕС. Тому проблема постачання вугільного палива у сектор теплової генерації ОЕС України має розглядатися в контексті всіх основоположних задач функціонування енергосистеми — від покриття потреби в електроенергії до забезпечення стійкості й регулювання частоти, а оптимальний вибір джерел та шляхів надходження вугілля на ТЕС з вітчизняних паливних баз та імпортованого має бути базовою передумовою надійної й безперебійної роботи електроенергетичної галузі, гарантування енергетичної безпеки країни.

2. Запропонований підхід до побудови структури балансово-оптимізаційної економіко-математичної моделі паливозабезпечення країни, заснований на одночасному врахуванні всіх джерел надходження палива в економіку, засобів їх перетворення та постачання, дав змогу досягти енергетичного балансу в підсистемі постачання вуглецевмісного палива в умовах гострого дефіциту природного газу, а також очікуваного дефіциту вугілля. Застосування мережного подання моделі дало можливість природним чином поєднати ці джерела та засоби, врахувавши технологічні особливості різномірних процесів постачання палива за допомогою альтернативного представлення системи паливозабезпечення у вигляді набору технологічних способів моделей виробничого типу.

3. Отримані розрахункові баланси за реально досяжного наразі споживання природного газу 43,0 млрд м<sup>3</sup>, а вугілля – 69,0 млн. т вказують на необхідність імпортування як газу, так і вугільного палива в обсягах 15,239 млрд. м<sup>3</sup> та 16,218 млн. т відповідно. В цих умовах балансу можна досягти шляхом заміщення природного газу вугільним паливом у обсязі 8,6 млн. т. За наявних пропорцій споживання газу промисловістю, енергетичним сектором, побутовими та іншими споживачами розподіл обсягу цього заміщення має нижню межу в енергетиці на рівні 1,6 млн. т.

4. Оцінка стану енергетичної безпеки за критерієм «Частка імпорту з одного джерела» за отриманих обсягів паливозабезпечення свідчить про недостатній рівень диверсифікації постачання природного газу. Зокрема, порушення умов за цим критерієм спостерігається для постачання із Словаччини та Румунії, що пояснюється відносно великими технічними мож-

ливостями постачання з цих країн і, натомість, низькими технічно можливими обсягами для інших джерел. За критерієм «Частка сукупного імпорту у загальному обсязі надходження в систему» стан енергетичної безпеки є задовільним. При цьому достатньо низький обсяг загального імпорту відносно до обсягу власного видобутку пояснюється технічними можливостями країн-експортерів, а баланс у системі газопостачання забезпечується більшою мірою заміщенням з вугільної підсистеми.

5. Міжгалузеве переспрямування обмежених обсягів вугільної продукції, наприклад з енергетичного сектора в промисловість (металургія), зберігає доцільність в умовах вугільного дефіциту. При наявній різниці цін на енергетичне та коксівне вугілля переспрямування окремих асортиментних груп енергетичного вугілля в промисловість (виробництво пиловугільного палива (ПВП), коксу для ПВП) може істотно зменшити витрати на паливні продукти.

6. Обсягові критерії енергетичної безпеки, що задаються у формі лінійних обмежень балансово-оптимізаційної моделі паливозабезпечення, істотно впливають на розподіл потоків палива вже на етапі їх розрахунку. Критерій «Частка імпорту з одного джерела» для природного газу обмежує технічні можливості окремих джерел (Словаччина та Румунія) на 0,857 млрд.м<sup>3</sup>, що знижує загальний обсяг імпорту і унеможливує задоволення критичної потреби «чисто газових» споживачів. Критерій «Частка імпорту у загальному постачанні в систему» за цих умов задовольняється з надлишком 2,38 млрд.м<sup>3</sup> через низьке значення обсягу власного видобутку. Баланс палива в системі забезпечується заміщенням природного газу вугіллям у межах потенціалу можливого переведення споживачів на вугілля.

7. Аналіз показників енергетичної безпеки в підсистемі постачання вугілля показує задоволення вимог безпеки за обома критеріями за стабільного функціонування всіх вуглевидобувних підприємств. За умови поетапного скорочення власного видобутку порушення критерію «Частка сукупного імпорту у загальному обсязі надходження в систему» має місце вже при 30 %-вому скороченні. Скорочення власного видобутку на 90 % унеможливує надійне забезпечення вугіллям з порушенням умов енергетичної безпеки за критерієм «Частка імпорту у загальному постачанні в систему» на 6,454 та 11,312 млн. т для енергетичного та коксівного вугілля відповідно.

Вплив критерію «Частка імпорту з одного джерела» визначається перерозподілом 19,054 млн. т. енергетичного вугілля, що надходило з країн БЗ у випадку відсутності обмеження енергетичної безпеки, між Австралією – 8,423 млн. т, ПАР – 8,423 млн. т. та Колумбією – 2,208 млн. т та коксівного – з Австралії та США – 8,557 млн. т та 2,852 млн. т відповідно. Загальний потік вугільної продукції через МТП – 30,463 млн. т перевищує наявну наразі загальну пропускну здатність МТП країни – 29,9 млн. т. У цьому випадку можуть виявитись актуальними пропускну здатності залізниць при транспортуванні вугілля з портів до кінцевого споживача.

1. *Ливень О.* Бездефицитный год. Прогнозный баланс рынка энергетического угля в Украине в 2010 г. [Електронний ресурс] UA Energy, 2012. Режим доступу: <http://uaenergy.com.ua/post/4609>
2. *Ливень О.* Неустойчивое равновесие. Прогнозный баланс рынка энергетического угля в Украине в 2011 г. [Електронний ресурс] UA Energy, 2012. Режим доступу: <http://www.uaenergy.com.ua/c225758200614cc9/0/d465824d78686a04c225787000542600>.
3. *Стогній О.В., Каплін М.І., Білан Т.Р.* Економіко-математична модель імпортування вугілля в Україну // Проблеми загальної енергетики. – 2012. – № 1 (28). – С. 29–34.
4. *Стогній О.В., Каплін М.І., Білан Т.Р.* Методи та засоби врахування факторів енергетичної безпеки в економіко-математичній моделі паливозабезпечення країни // Проблеми загальної енергетики. – 2012. – № 4(31). – С. 38–45.
5. *Стогній О.В., Каплін М.І., Білан Т.Р.* Особливості моделі виробничого типу системи паливозабезпечення для розрахунку перспективних обсягів заміщення видів палива в економіці країни // Проблеми загальної енергетики. – 2012. – № 3(30). – С. 30–36.
6. *Стогній О.В., Макаров В.М., Каплін М.І., Білан Т.Р.* Визначення оптимальної марки вугілля ТЕЦ при переведенні їх котлоагрегатів на пиловугільне спалювання // Проблеми загальної енергетики. – 2013. – № 1(32). – С. 28–37.
7. Інформаційно-аналітичний звіт про розвиток вугільної промисловості України за січень-грудень 2013 року (за фактичними даними) [Електронний ресурс]. – Режим доступу:



- [http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art\\_id=244911607&cat\\_id=194359](http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art_id=244911607&cat_id=194359). – Назва з екрану.
8. Методика розрахунку рівня економічної безпеки України. Затверджена наказом Мінекономіки від 02.03.2007 р. №60 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://me.kmu.gov.ua/control/uk/publish/article?art\\_id=97980&cat\\_id=38738](http://me.kmu.gov.ua/control/uk/publish/article?art_id=97980&cat_id=38738). – Назва з екрану.
  9. Оцінка варіантів диверсифікації постачання газу в Україну [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ier.com.ua>
  10. Цены. Статистика. Уголь // Энергобизнес. – 2010. – № 6 (692).

УДК 004.942:622.68

**А.В. Стогний**, канд. техн. наук, **Н.И. Каплин**, ст. науч. сотр., **Т.Р. Белан**, мл. науч. сотр.

Институт общей энергетики НАН Украины,

ул. Антоновича, 172, Киев, 03150, Украина

**Моделирование импорта углеродосодержащих энергоносителей для энергетического комплекса страны с учётом требований её энергетической безопасности**

*Предложена абстрактная схема системы топливообеспечения для расчета объемов поступления в экономику углеродосодержащего топлива, включающая технологические продуктовые связи процессов топливоснабжения, а также абстрактные элементы для отображения замещений видов топлива в топливном балансе страны. Схема содержит структурные элементы моделирования процессов выработки, транспортирования, переработки и потребления топлива, спецификации замещения видов топлива, учета пропорций потребления, ограничений энергетической безопасности по его потокам.*

*Приведены расчетные оценки топливных потоков системы топливообеспечения страны углеродосодержащим топливом в условиях острого дефицита природного газа и предполагаемого сокращения собственной добычи угля. Рассмотрена структура поступления в экономику угля, нефти и природного газа в рамках экономико-математической модели топливообеспечения страны с учетом расширения множества источников импорта, возможностей транспортной инфраструктуры, межотраслевого перенаправления избыточных объемов угольной продукции, соблюдения условий энергетической безопасности.*

*Предложен подход к построению модели системы топливообеспечения, использующий сетевое представление структуры системы при формировании технологических способов моделей производственного типа по Канторовичу. В рамках этого подхода естественным образом сочетаются источники и способы поступления топлива в экономику с учетом технологических особенностей разнородных процессов поставки топлива.*

*Задача определения целесообразных объемов импорта угля решается в контексте общей проблемы оптимизации структуры топливообеспечения страны в условиях значительного сокращения собственной добычи угля и необходимости замещения природного газа в энергетическом балансе государства. Исследована зависимость расчетных объемов импорта от уровня собственной добычи угольного топлива, а также влияния факторов энергетической безопасности на источники и объемы поступления. Библ. 10, рисунок, таблица.*

**Ключевые слова:** энергетическая безопасность, импортирование угля, диверсификация, природный газ, сокращение собственной добычи, замещение.

**A. Stogniy, M. Kaplin, T. Bilan**

Institute of General Energy of the National Academy of the Sciences of Ukraine,

Antonovich str., 172, Kyiv, 03150, Ukraine

**Modeling of carbon-energy imports to the country's energy sector in view of requirements of its energy security**

*The estimates of product flows in carbonaceous fuel supply system of the country under conditions of severe shortage of natural gas and the expected reduction of domestic coal production is proposed. The structure of coal, crude oil, oil products and natural gas income to the economy is evaluated in the framework of economic and mathematical model of fuel supply system taking into account the increase the number of import sources and capacities, transport infrastructure, cross-sectorial redirection of excessive amounts of coal products, compliance with energy security requirements.*

*The modeling approach to construction of a fuel supply system model that utilities a network representation of system structure in the formation of production activities by Kantorovich is proposed. This approach naturally combines the sources and methods of fuel inputs to the economy, taking into account technological features of heterogeneous processes in fuel supply system. Problem of determining the appropriate volume of coal imports is solved in the context of general optimization problem of the country's fuel supply structure at significant reduction of the coal domestic production and the need for replacement of natural gas in the energy balance of the state. The dependence of calculated volume of imports from the level of domestic coal production, as well as the energy security factors impact to the sources and amount of inputs is done. Referenses 10, figure, table.*

**Key words:** energy security, coal imports, diversification, natural gas, reducing domestic production, substitution.

Надійшла 17.04.2014

Received 17.04.2014