

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ І СИСТЕМ

УДК 004.942:620.9

Т.Р. БІЛАН, М.І. КАПЛІН,
Інститут загальної енергетики НАН України,
вул. Антоновича, 172, м. Київ, 03680, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ ПОСТАЧАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ВУГІЛЛЯ ЗА МАРКАМИ В ЕКОНОМІКУ КРАЇНИ В УМОВАХ СВІТОВОГО РИНКУ ТА СКОРОЧЕННЯ ОБСЯГІВ ВЛАСНОГО ВИДОБУТКУ

Запропоновано економіко-математичну модель постачання енергетичного вугілля за марками в економіку країни в умовах світового ринку та скорочення обсягів власного видобутку. Модель побудовано на основі потокового подання системи вуглепостачання. Виконано розрахунки забезпечення енергетичним вугіллям економіки країни за різних значень співвідношення у потребі окремих марочних груп в умовах дефіциту окремих марок вугілля та загального скорочення вуглевидобутку, спричиненого скороченням шахтного фонду країни внаслідок окупації частини її території.

Ключові слова: енергетичне вугілля, антрацит, газова група, потокове подання, система вуглепостачання.

Порівняльний аналіз обсягів постачання основних вуглецевмісних палив в економіку України [1, 2], наведений в табл. 1, показує значне скорочення як виробництва, так і споживання вугілля, природного газу і нафтопродуктів, й пов'язане з ним зменшення виробітку електричної енергії.

Найбільш суттєвий негативний вплив на систему вуглезабезпечення країни здійснило порушення територіальної цілісності держави, яке відбулося в 2014 році й триває наразі.

В частині системи вуглезабезпечення наслідки окупації для економіки є такі:

- змінилася структура виробничого фонду в напрямку зменшення кількості видобувних підприємств;

- зменшилася кількість підприємств-споживачів вугільного палива, знизилася обсяги споживання;

© Т.Р. БІЛАН, М.І. КАПЛІН, 2016

- змінилася асортиментна структура видобутку, зокрема практично припинено власний видобуток антрацитової групи марок вугілля;

- порушено продуктові зв'язки виробників і споживачів палива через руйнування транспортної підсистеми;

- з'явилися «непрозорі» приховані схеми постачання, що виникають на основі тимчасових економічних інтересів нових суб'єктів виробничої діяльності.

Крім того, існують проблеми з отриманням об'єктивної статистичної інформації з неподконтрольних Україні територій, а отже ґрунтовний та об'єктивний аналіз економічної ситуації провести практично неможливо [3].

Порушення вугільного балансу тимчасово подолано за рахунок оперативних заходів: імпортування з країн далекого зарубіжжя, укладанням угод на постачання з окупованої частини країни. Проте такий стан системи вуг-

Таблиця 1 – Зміни обсягів виробництва і споживання вугілля в Україні протягом 2013 – 2015 рр.

Показник	2013 р.	2015 р.	Різниця
Видобуток, млн т	83,697	39,744	-43,952
у т.ч. коксівного	23,724	8,325	-15,399
енергетичного	59,973	31,419	-28,553
Споживання, млн т	37,641	28,637	-9,004

лезабезпечення не можна розглядати як економічно доцільний й безпечний. Тому, актуальною наразі задачею є розроблення моделі постачання енергетичного вугілля в умовах світового ринку та скорочення обсягів власного видобутку, яка надала б можливості врахування змін у структурі постачання окремих марок енергетичного вугілля, а також містила б засоби формування енергетичної інфраструктури цілісної системи вуглепостачання, у тому числі її видобувної, переробної та транспортної підсистем, а також підсистеми споживання.

Залучення світового ринку для забезпечення потреб споживачів у вугіллі здійснює істотний вплив на формування результуючих потоків палива у системі його постачання, тому при моделюванні постачання енергетичного вугілля за марками в економіку країни в умовах світового ринку та скорочення обсягів власного видобутку, необхідно враховувати вимоги енергетичної безпеки, регламентовані в [4].

Серед основних досліджень з проблематики забезпечення потреби у вугільному паливі шляхом імпортування вугілля J. Green, J. Henderson, W. Suwala, C.M. Liu, L.H. Shih, A. Yusekaya, H.D. Sherali, R. Puri та ін. У розглянутих роботах обсяги імпортування з окремих джерел враховуються з точки зору їх співвідношення «ціна – кількість» при заданих повних обсягах імпортування. Разом з тим, вимоги енергетичної безпеки, які регламентують граничні (порогові) співвідношення обсягів імпортованого вугілля й вугілля власного видобутку у системі вуглепостачання, а також можливі обсяги надходження за імпортом з одного джерела, породжують проблему одночасного врахування цих рекомендацій при дослідженнях обсягової структури надходження енергетичного вугілля в економіку країни.

Структурні зміни, що мають місце у вугле-видобувній промисловості України, скорочення шахтного фонду, а також зміна марочної структури видобутку, вимагають залучення потужностей світового ринку вугілля для задоволення повної потреби національної соціально-економічної сфери у вугільній продукції належної якості. Відсутність у покладах або низька якість необхідних марок також спричиняє необхідність їх імпортування.

З цією метою розроблено схему постачання енергетичного вугілля в економіку країни, що містить окремі підсистеми надходження вугільного палива за групами – газової (вугілля марок Д, ДГ, Г) та антрацитової (вугілля марок А та П).

У кожній з цих підсистем постачання вугілля подається вузлами власного видобутку та імпортування, забезпечуючи таким чином конкуренцію джерел надходження та вплив світового ринку на розподіл вугільних потоків у системі. Джерела надходження для кожної марки вугілля вибрано з припущення щодо відповідності енергетичного вугілля, що надходить з країн-експортерів на світовий ринок [5], та вугілля власного видобутку. З огляду на відмінність у класифікації вугілля [6, 7], співставлення видів імпортованого вугілля та певних марок вітчизняного, виконувалось за показником виходу летких речовин. Фізико-хімічні параметри енергетичного вугілля, що постачаються на світовий ринок окремими країнами, подано у табл. 2.

При моделюванні постачання марочних груп енергетичного вугілля закладено можливість одночасного надходження різними видами транспорту: морським шляхом – з країн далекого зарубіжжя (ДЗ). Окрім морського шляху, вугілля антрацитової та газової груп

Таблиця 2 – Фізико-хімічні характеристики вугілля з країн далекого зарубіжжя

Країна	Вугільний басейн	Теплотворна здатність, МДж/кг	Вміст вологи, %	Вміст золи, %	Вихід летких, %	Вміст сірки, %	Аналог з вітчизняного ДСТУ
Австралія	Drayton	28,4	9,9	13,3	34,5	0,9	Г
	Hunter Valley	29,6	8	11,2	34	0,6	Г
	Newcastle	н/д*	8,1	8,1	35,3	н/д	ДГ
	Gunnedah	н/д	н/д	6,5	37,9	н/д	ДГ
	Nantong	28,4	8	16	36,2	0,8	ДГ
Канада	Obed Marsh	25,3	8	14	37	0,6	ДГ
Індонезія	Satui	28,8	9,5	7,9	41,9	0,8	ДГ
ПАР	Exxaro Grooteluk	н/д	3,4	10,5	36,8	1,13	ДГ
	Vele	н/д	1,7	12,5	36,1	0,98	ДГ
США	Pinacle	27,2	8,3	13,4	40,9	0,7	ДГ
	Plato	25,1	9,8	9,3	41,8	0,9	ДГ

Примітка: * – значення даного показника відсутнє.

може надходити залізницею з країн близького зарубіжжя (БЗ) – Росії та Казахстану [8]. Варто зазначити, що потужності з видобутку згаданих марочних груп вугілля є й на частині території України, що нині не контролюється державною владою (далі – НТУ), тому у схемі постачання вугілля за групами передбачено можливість надходження вугілля з цих територій зі своїми ціновими та обсяговими показниками.

Структурна схема постачання антрацитової групи, до якої належить вугілля марок А та П, наведена на рис. 1. Постачання газової групи – вугілля марок Д, ДГ та Г – на рис. 2.

Джерелами імпортування антрациту з далекого зарубіжжя вибрано В'єтнам та ПАР (вузли 35, 36 відповідно) з огляду на їх частку у сукупному обсязі торгівлі на світовому ринку [9]. До джерел надходження антрациту з близького зарубіжжя окрім Росії (вузол 37), включено також тимчасово окуповані території України (вузол 38), оскільки існують схеми постачання вугілля з них на основну частину території [10]. Вузлом надходження пісного вугілля в економіку країни за імпортом є Росія (вузол 39). Інші джерела імпортування вугілля марки П не розглядалися, а імпортування пісного вугілля з далекого зарубіжжя подано пунктиром, як

можливий напрям постачання цього виду палива. Це спричинене тим, що за міжнародною класифікацією вугілля з фізико-хімічними властивостями, притаманними вугіллю марки П за вітчизняною класифікацією, входить до класу антрацитів, який в доступних статистичних даних не розподіляється за групами.

Постачання вугілля марки Д за імпортом відбувається тільки з країн близького зарубіжжя – Росії, Казахстану та окупованих територій України (вузли 42, 43 та 51 відповідно). Надходження марки ДГ за імпортом можливе з країн як далекого – Австралія, Індонезія, ПАР, США (вузли 44, 45, 46, 47 відповідно), так і близького зарубіжжя – Росія, а також сюди включені НТУ (вузли 48, 53). Можливими джерелами імпорту газового вугілля є Австралія, Росія та НТУ (вузли 40, 41, 52). Ця структура надходження за імпортом пропонується як результат дослідження наявності окремих марок вугілля у пропозиції вказаних країн.

Вугільна продукція, що надходить з окремих джерел імпортування, підсумовується у вузлах, утворюючи обсяги сукупного імпорту з країн ДЗ та БЗ (вузли 1, 2, 5, 8, 10, 11 та 14 відповідно). Вугілля, що імпортується морським шляхом, надходить у вузол, який подає сумарну

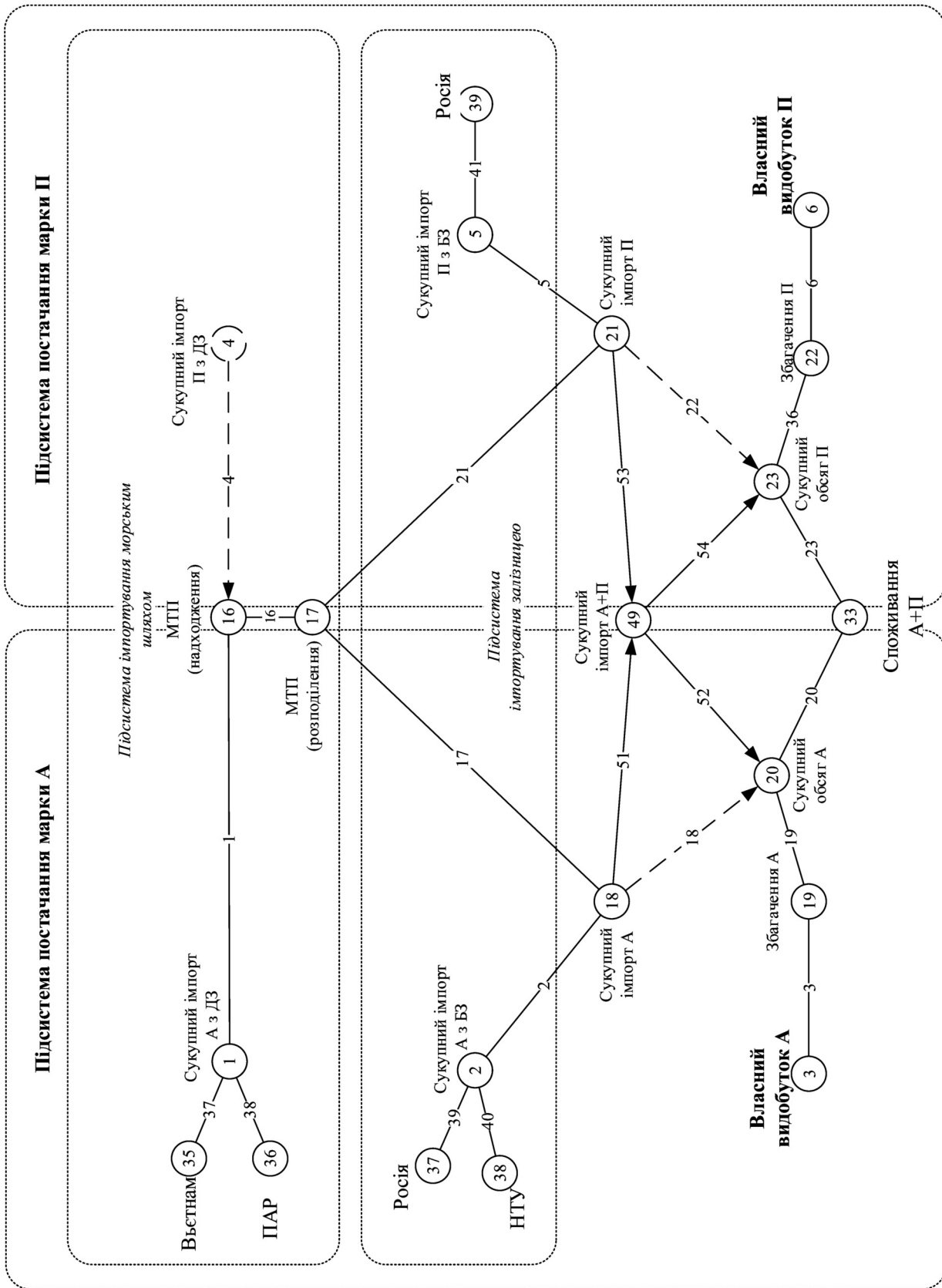


Рис. 1. Система постачання антрацитової групи вугілля

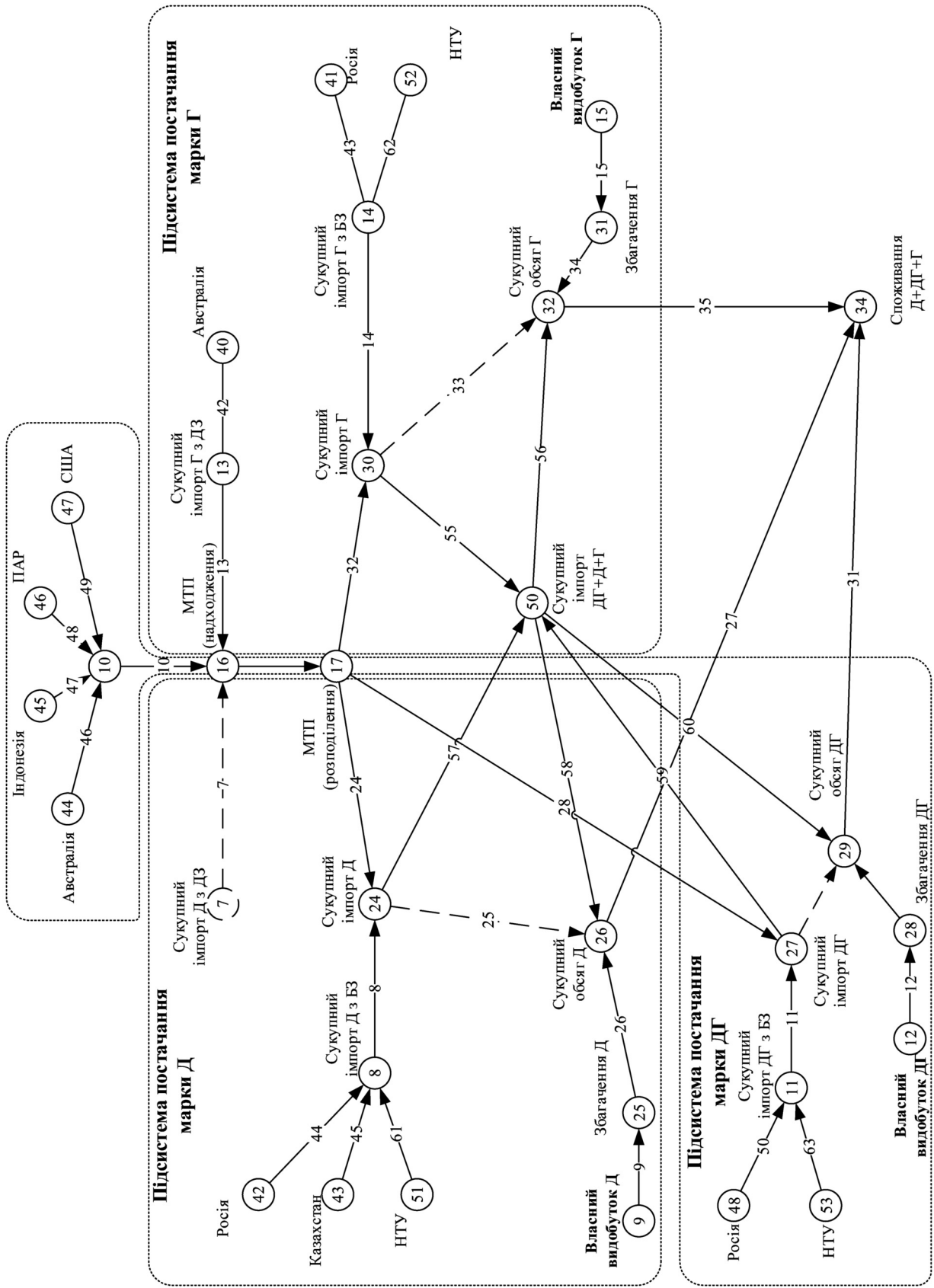


Рис. 2. Система постачання газової групи вугілля

Таблиця 3 — Прогнозні обсяги власного видобутку енергетичного вугілля за марками на контрольованих українською владою територіях, млн т

Марка вугілля	2013 р. (факт)	2020 р.	2025 р.	2030 р.	2035 р.
Д	0,283	0,350	0,475	0,570	0,660
ДГ	16,380	18,250	20,760	17,900	15,440
Г	10,404	14,510	18,190	20,203	26,255
Всього газової групи	27,067	33,110	39,425	38,673	42,355
Ж	0,247	—	—	—	—
П	0,131	0,280	0,285	0,285	0,285
А	—	—	—	—	—
Б	—	1,235	1,805	2,375	2,850
Всього	27,446	34,625	41,515	41,360	45,490

пропускну здатність морських торговельних портів країни (вузол 16) та розподіляється у наступному вузлі (вузол 17). Така конструкція запроваджена через припущення, що окрема частка імпортованого вугілля може деякий час перебувати на складських територіях порту. У цій частині відбувається суміщення підсистем постачання антрацитової та газової груп вугілля. При цьому, можливість взаємозаміщення марочних груп не передбачена.

Обсяги власного видобутку антрациту та пісного вугілля (вузли 3 та 6 відповідно), а також марок газової групи (вузли 9, 12, 15) підлягають збагаченню (вузли 19, 22, 25, 28, 31) для підвищення їх споживчих характеристик та утворення обсягів готової вугільної продукції. Коефіцієнт збагачення для всіх марок вугілля має значення 0,5 [11]. Імпортоване вугілля не підлягає збагаченню, оскільки автори використовують припущення щодо недоцільності імпортування рядового вугілля з подальшим збагаченням.

Орієнтовні прогнозні обсяги власного видобутку енергетичного вугілля за марками на контрольованих українською владою територіях [11], використані при розрахунках, наведено у табл. 3.

Збагачене вугілля власного видобутку підсумовується з сукупними обсягами імпорту, і надалі, утворені таким чином сукупні обсяги надходження вугільних продуктів (вузли 20, 23,

26, 29, 32), надходять до вузлів споживання антрацитової (А+П) (вузол 33) та газової (Д+ДГ+Г) (вузол 34) груп вугілля, потреба у яких задавалася згідно з даними [12, 13].

Обсяги імпортування вугільної продукції мають задовольняти вимоги енергетичної безпеки держави, що потребує визначення доцільних обсягів надходження вугілля з різних джерел та обсягів власного видобутку у конкурентному середовищі функціонування вугільної галузі країни.

Сукупний імпорт з країн ДЗ та БЗ для кожної марки окремо, утворюється у відповідних вузлах (вузли 18, 21, 26, 27, 32). Обсяги імпорту окремих марок, що утворюються у цих вузлах, підлягають дії обмежень енергетичної безпеки «Частка власних джерел у загальному постачанні палива в систему».

Для врахування вимоги енергетичної безпеки «Частка імпорту з одного джерела» для антрацитової групи вугілля у модель вміщено вузол сукупного імпорту за групою (вузол 49), що являє собою підсумовувально-розподільну конструкцію для марок А, П. Вхідні та вихідні потоки цього вузла за марками прирівнюються між собою. Утворений у цьому вузлі сукупний обсяг імпорту пропорціонується із вугільними потоками, що надходять з окремих джерел імпортування окремо для марок А та П.

Вузол сукупного імпорту для газової групи (Д, ДГ, Г) вугілля (вузол 50) включено у модель

Таблиця 4 – Результати розрахунків постачання енергетичного вугілля в економіку країни за різних сценаріїв попиту

Показник	Коефіцієнт цільової функції	За даними [12]	Співвідношення потреби антрацитової та газової групи Г/А, %	
			65/35	70/30
Сукупне споживання антрацитової групи (А+П), млн т	—	15,955	9,45	8,1
Сукупне споживання газової групи (Д+ДГ+Д), млн т	—	27,77	17,55	18,9
Власний видобуток, млн т, у т.ч.				
А	—	0,0	0,0	0,0
П	—	0,131	0,131	0,131
Д	—	0,283	0,283	0,283
ДГ	—	16,38	16,38	16,38
Г	—	10,4	10,4	10,4
Сукупний імпорт А з ДЗ, млн т у т.ч.	5	1,589	0,938	0,803
В'єтнам	1	1,589	0,938	0,0
ПАР	1	0,0	0,0	0,803
Сукупний імпорт А з БЗ, млн т у т.ч.	2	9,534	5,631	4,82
Росія	1	4,767	2,815	2,41
НГУ	3	4,767	2,815	2,41
Сукупний імпорт П з БЗ, млн т у т.ч.	2	4,767	2,815	2,41
Росія	1	4,767	2,815	2,41
Сукупний імпорт Д з БЗ, млн т у т.ч.	2	0,0	0,0	0,0
Росія	1	0,0	0,0	0,0
Казахстан	1	0,0	0,0	0,0
НГУ	3	0,0	0,0	0,0
Сукупний імпорт ДГ з ДЗ, млн т, у т.ч.	5	5,695	1,607	2,147
Австралія	1	0,0	0,402	0,537
Індонезія	1	0,0	0,0	0,0
ПАР	1	1,424	0,0	0,0
США	1	4,272	1,206	1,611
Сукупний імпорт ДГ з БЗ, млн т у т.ч.	2	8,543	2,411	3,221
Росія	1	4,272	1,206	1,61
НГУ	3	4,272	1,206	1,61
Сукупний імпорт Г з ДЗ, млн т, у т.ч.	5	0,0	0,0	0,0
Австралія	1	0,0	0,0	0,0
Сукупний імпорт Г з БЗ, млн т у т.ч.	2	0,0	0,0	0,0
Росія	1	0,0	0,0	0,0
НГУ	3	0,0	0,0	0,0

для можливості врахування частки марок цієї групи у загальному її імпорті.

Для описаної схеми постачання енергетичного вугілля створено відповідну економіко-математичну модель, реалізовану у програмно-інформаційному комплексі [14], за допомогою якої проведено ряд розрахунків вугільних балансів.

Виконано розрахунки вугільних потоків при потребі 2013 р. та новій структурі виробничих фондів вугільної галузі, яка виникла внаслідок окупації частини території, а також розрахунки потоків енергетичного вугілля при рівнях споживання, що відповідають статистичним даним 2015 р. при різних співвідношеннях у потребі антрацитової та газової груп. Такий підхід викликаний відсутністю об'єктивних даних щодо обсягів споживання окупованими територіями, а також обсягів імпортування безпосередньо на ці території (наприклад, постачання з Росії). Результати розрахунків наведено в табл. 4.

Як видно з наведених розрахунків, за такого співвідношення власного видобутку та імпортування вугілля антрацитової групи, виконання вимоги енергетичної безпеки за критерієм «Частка власних джерел у загальному постачанні палива в систему» неможлива. Необхідно зазначити, що за відсутності вільних обсягів антрациту на світовому ринку, забезпечення потреби у цьому виді палива неможливе без надходження необхідних обсягів марок А та П з терито-

рій, що наразі не контролюються державою.

Ступінь виконання вимог енергетичної безпеки (ЕБ) за критеріями «Частка власних джерел у загальному постачанні палива в систему» та «Частка імпорту з одного джерела» показується величиною небалансів вугільних потоків, отримані значення яких наведено у табл. 5, 6. У разі порушення вимог ЕБ за критерієм «Частка імпорту з одного джерела» відповідна величина небалансу набуває від'ємного значення. При порушенні вимоги «Частка власних джерел у загальному постачанні палива в систему» відповідна величина небалансу стає додатною. У табл. 5 величини, значення яких не задовольняє вимоги енергетичної безпеки, виділено підкресленням.

За наведених вище вихідних умов розрахунку, порушення вимог енергетичної безпеки за обсяговими критеріями спостерігається як у підгрупі антрацитового вугілля, так і при постачанні марки ДГ в газовій групі. Скорочення потреби економіки країни у вугіллі в цілому призводить до зменшення обсягів цих небалансів для обох марочних груп, причому для газової групи вугілля вимога ЕБ за критерієм «Частка власних джерел у загальному постачанні палива в систему» задовольняється. Зменшення частки антрацитової групи вугілля у сукупному обсязі споживання енергетичного вугілля призводить до зменшення величини небалансів вугільних потоків.

Таблиця 5 – Величини небалансів вугільних потоків за критерієм «Частка власних джерел у загальному постачанні палива в систему»

Показник	За даними [12]	Співвідношення потреби антрацитової та газової групи Г/А, %	
		65/35	70/30
Частка власних джерел у загальному постачанні палива в систему – А	<u>5,561</u>	<u>3,285</u>	<u>2,812</u>
Частка власних джерел у загальному постачанні палива в систему – П	<u>3,351</u>	<u>1,375</u>	<u>1,172</u>
Частка власних джерел у загальному постачанні палива в систему – Д	-0,071	-0,071	-0,071
Частка власних джерел у загальному постачанні палива в систему – ДГ	<u>3,024</u>	-2,086	-1,411
Частка власних джерел у загальному постачанні палива в систему – Г	-2,6	-2,6	-2,6

Таблиця 6 – Величини небалансів вугільних потоків за критерієм «Частка імпорту з одного джерела»

Показник	За даними [12]	Співвідношення потреби антрацитової та газової групи Г/А, %	
		65/35	70/30
При постачанні А, у т.ч.			
В'єтнам	3,178	1,877	2,41
ПАР	4,767	2,815	1,607
Росія	0,0	0,0	0,0
НТУ	0,0	0,0	0,0
При постачанні П, у т.ч.			
Росія	0,0	0,0	0,0
При постачанні Д, у т.ч.			
Росія	0,0	0,0	0,0
Казахстан	0,0	0,0	0,0
НТУ	0,0	0,0	0,0
При постачанні ДГ, у т.ч.			
Австралія	4,272	0,804	1,074
Індонезія	4,272	1,206	1,611
ПАР	2,848	1,206	1,611
США	0,0	0,0	0,0
Росія	0,0	0,0	0,0
НТУ	0,0	0,0	0,0
При постачанні Г, у т.ч.			
Австралія	0,0	0,	0,0
Росія	0,0	0,0	0,0
НТУ	0,0	0,0	0,0

ВИСНОВКИ

1. Врахування окупації при моделюванні вуглезабезпечення виконано шляхом суттєвої перебудови структури системи постачання енергетичного вугілля на підконтрольній державі території, зокрема врахуванням тимчасово окупованої території як джерела імпорту з власними обсяговими та ціновими параметрами надходження, елементами транспортної інфраструктури, а також необхідним коригуванням обсягу потреби у цілому по країні з урахуванням споживання цієї території. Можливість такої модифікації моделі забезпечується мережним поданням системи.

2. Суттєво відмінні умови надходження окремих груп енергетичного вугілля, як з джерел власного видобутку, так і за імпортом, вра-

ховано вміщенням у модель окремих підсистем постачання та споживання газової та антрацитової груп вугілля, які взаємодіють між собою з метою розподілення обсягів імпортування між країнами-експортерами з близького та далекого зарубіжжя при задоволенні пропускну здатності національної транспортної інфраструктури.

3. Отримані обсяги імпортування антрацитової групи вугілля значно перевищують вільні обсяги цього типу вугілля на світовому ринку. Тому, забезпечення потреби у цьому виді палива неможливе без надходження необхідних обсягів марок А та П з територій, що наразі не контролюються державою.

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 всі види вугільного палива, а також врахування зменшення частки антрацитової групи у сукупному споживанні країни.

1. *Статистична інформація за січень – грудень 2013 року* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://mre.kmu.gov.ua/min-ugol/control/uk/publish/printable_article?art_id=244907076.
2. *Статистична інформація за січень – грудень 2015 року* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://mre.kmu.gov.ua/min-ugol/control/uk/publish/printable_article?art_id=245086132.
3. *Економічна ситуація на окупованих територіях Донбасу* [Електронний ресурс] // Інститут стратегічних досліджень «Нова Україна». – Режим доступу: http://newukraineinstitute.org/new/583#_Toc435611179.
4. *Про затвердження Методичних рекомендацій щодо розрахунку рівня економічної безпеки України*. Офіц. вид. – К.: М-во економічного розвитку і торгівлі України, 2013. – (Нормативний документ Мінекономіки України).
5. *Improvement of Pulverized Coal Combustion Technology for Power Generation* / [ed. Hisao Makino]. – Central Research Institute of Electric Power Industry, 1998. – 123 p.
6. *Вугілля буре, кам'яне та антрацит*. Класифікація: ДСТУ 3472-96 [Чинний від 1998-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 1996. – 12 с. – (Національний стандарт України).
7. *Standard Classification of Coals by Rank*. standard by ASTM International, 01/01/1998 ASTM D388-98a.

8. *Якубов А.* Российские производители угля: в поисках качества. – ЦентрИнвест Групп, 2 марта 2006.
9. *William G. (Bill) Meister.* Anthracite production & exports. A world map: World Coke & Anthracite Summit, 16-17 March 2009, Kragow, Poland.
10. *Угольные генералы.* Кто нелегально вывозит антрацит из Донбасса [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://biz.liga.net/print/all/tek/stati/3360062-ugolnye-general-y-kto-nelegalno-vyvozit-antratsit-iz-donbassa.htm>.
11. *Перов М.О.* Структура та потенціал виробництва енергетичного вугілля в Україні / М.О. Перов, В.М. Макаров // Проблеми загальної енергетики. – 2015. – №2 (41). – С. 23–32.
12. *Програма розвитку вугільної промисловості України на період до 2030 року*. Офіц. вид. – К.: М-во енергетики та вугільної промисловості України, 2012.
13. *Споживання вугілля в Україні в 2015 році скоротилося на третину* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://economics.unian.ua/energetics/1259540-spojivannya-vugillya-v-ukrajini-v-2015-rotsi-skorotilosya-na-tretinu.html>.
14. *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.

Надійшла до редколегії 20.05.2016