

ПОБУДОВА, ОРГАНІЗАЦІЯ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕНЕРГОРИНКІВ

УДК 004.942:622.68

О.В. СТОГНІЙ, канд. техн. наук, М.І. КАПЛІН, Т.Р. БІЛАН,
Інститут загальної енергетики НАН України, м. Київ

МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИДОБУТКУ ВІТЧИЗНЯНОГО ВУГІЛЛЯ В УМОВАХ СВІТОВОГО РИНКУ

Наведено огляд моделей розвитку вугільної промисловості вітчизняних та зарубіжних авторів, виділено їх специфічні можливості щодо врахування окремих аспектів функціонування систем видобутку, постачання та споживання вугільної продукції в загальноенергетичному балансі країни. Виконано аналіз впливу ринкових механізмів ціноутворення на регулювання галузі та перспективні напрямки її реорганізації, а також реконструкції та модернізації окремих вуглевидобувних підприємств. Запропоновано модель оптимізації структури шахтного фонду України, що запроваджує врахування конкурентних засад діяльності шахтопідприємств в умовах світового ринку вугільної продукції. Задоволення потреби економіки в енергетичному та коксівному вугіллі здійснюється в моделі за рахунок підсумовування обсягів вугільної продукції власного видобутку та імпортованої із врахуванням марочної структури потреби, транспортних обмежень імпортування, вимог енергетичної безпеки держави. Окреслено можливості застосування запропонованої структури моделі для багатоперіодного моделювання розвитку (перебудови, реструктуризації) шахтного фонду із врахуванням ефективності капіталовкладень в галузь.

Ключові слова: вугілля, власний видобуток, ринок вугілля, оптимізація шахтного фонду, балансово-оптимізаційна модель.

Погляди на розвиток вугільних паливних баз в Україні змінювались докорінно з моменту набуття країною незалежності. Оптимістичні прогнози зростання економіки висунули на порядок денний цілий комплекс проблем суттєвої модернізації галузі, яка водночас була істотно необхідною внаслідок значного підвищення рівня аварійності. Ця модернізація мала здійснюватись в умовах нестачі державних коштів на інвестування у вугільну промисловість і досить тривалий час увага дослідників була зосереджена на економічних питаннях вуглевидобувної галузі, зокрема, оцінках ефективності капіталовкладень, яка оцінювалась за різними критеріями ефективності. У контексті низки проблем модернізації вуглевидобування протягом тривалого часу, починаючи з 90-х років ХХ ст., вирішувалась задача максимізації загальних обсягів видобутку, пов'язана із значним прогнозованим зростанням споживання

вугілля в енергетиці, металургії та інших галузях економіки країни.

Тому метою даної статті є розробка методів та моделей оптимізації видобутку вітчизняного вугілля в умовах функціонування світового ринку на основі аналізу наявних наразі моделей функціонування та розвитку вугільного сектору економіки.

Однією з перших робіт, присвячених визначенням обсягів видобутку вугілля для задоволення потреб споживачів, була короткострокова модель вугільної промисловості [1], розроблена в середині ХХ ст. у Гарвардському університеті, та апробована для вугільної промисловості США на даних 1947 року. Модель складається з двох підсистем – попиту і пропозиції та визначення рівноважних цін на вугільну продукцію. Цільовою функцією моделі є сукупні витрати в задачі мінімізації або чистий прибуток. Модель використовується для знаходження оптимальних обсягів постачання та цін в залежності від собівартості видобутку в кон-

© О.В. СТОГНІЙ, М.І. КАПЛІН, Т.Р. БІЛАН, 2013

кретних гірничо-геологічних умовах та заданої величини сукупного попиту. Змінними моделі є обсяги видобутку та ціни. Оптимальний розв'язок отримується при прогнозованому періоді 1 рік. Проблеми експорту та імпорту враховані введенням фіктивних вузлів постачання та споживання з відповідними цінами.

Моделю не враховує відмінності у споживчих характеристиках вугілля, використовуючи величину загального попиту на вугілля. Крім того, модель створена для фіксованої структури вугільної галузі із заданими кількостями вуглевидобувних підприємств, що характеризуються фіксованою платою за користування надрами. У такому вигляді модель не дає відповіді на питання щодо реструктуризації галузі у зв'язку з суттєвими змінами у потребі на паливо, відсутності у покладах певних його типів (марок) та не враховує можливості реконструкції та модернізації шахт за рахунок інвестування у галузь.

Іншою моделлю, яка може використовуватись під час прогнозування видобутку вугілля по регіонах країни для виробництва електроенергії та при переорієнтуванні теплової енергетики на вугільне паливо і навпаки на споживання газу чи нафтопродуктів, є *InterregionalCoalAnalysisModel (ICAM)* [2]. Об'єктом моделювання є можливі зміни обсягів видобутку, транспортування та споживання вугілля, які можуть бути викликані альтернативною енергетичною стратегією. Предметом дослідження є підприємства з видобування енергетичного вугілля. Модель містить рівняння, що описують технічні аспекти видобутку та споживання вугілля, а також рівняння, що відображають зовнішні фактори впливу на вугільну галузь – обмеження на використання водних ресурсів, енергетичний баланс. Модель містить припущення стосовно вихідних даних щодо цін на товарне вугілля у кожному регіоні, а також джерел та способів постачання вугілля споживачам. Зокрема, вихідні значення цін беруться такими, що дорівнюють середньозваженим цінам окремих підприємств, для яких вони виявились відомими у певні проміжки часу в минулому.

Незважаючи на глибоке деталізоване врахування частини споживання, зокрема повного енергетичного балансу на рівні електричної енергії, модель враховує обіг лише енергетичного вугілля, не розглядаючи проблем модерні-

зації шахтопідприємств в цілому, напрямків та засобів нарощування видобутку, ціноутворення та споживання вугілля коксівних марок. Натомість, в моделі фігурують обмеження на обсяги спалювання вугілля, пов'язані з нормами викидів забруднювачів оточуючого середовища.

Моделю вугільної промисловості Польщі [3] містить три підсистеми – постачання, вугільного ринку та паливозабезпечення теплової енергетики. Підсистема постачання вугілля описує реструктуризацію галузі та закриття шахт з обмеженнями щодо задоволення потреб споживачів вугільної продукції, допустимого рівня шкідливих викидів та необхідних ресурсів на закриття збиткових шахт.

У моделі вугільного ринку Польщі мінімізуються сукупні затрати на задоволення потреби при частково фіксованому попиті та обов'язковому забезпеченні змінних потреб у вугіллі для споживачів на внутрішньому ринку. У перших варіантах моделі оптимізувались затрати на розподіл вугільної продукції при фіксованих потребах. Далі модель було розширено шляхом врахування попиту і пропозиції окремих груп споживачів на локальних ринках вугільної продукції і перетворено, таким чином, в модель локальної рівноваги. Цільовою функцією моделі вибрано суму дотацій для виділених груп споживачів.

У моделі паливозабезпечення теплової генерації мінімізуються витрати на постачання вугілля електростанціям з урахуванням вимог щодо якості палива. Модель складається з двох підсистем: планування постачання вугілля, та постачання вугілля у енергетичний сектор на державному рівні.

Важливою особливістю моделі вугільного ринку Польщі є врахування затрат на припинення функціонування та закриття збиткових шахт, яким у розв'язку моделі відповідають нульові обсяги видобутку. Використання такого підходу в умовах української економіки, яка наразі характеризується чіткою диференціацією потреби за видами вугільної продукції, неможливе без поглибленого дослідження балансів окремих марок, особливо з точки зору енергетичної безпеки держави, а також у контексті поступового заміщення газових технологій вугільними, що може істотно змінити марочну структуру потреби. Невід'ємною частиною даного типу моделей є врахування

соціального фактора, що потребує значного обсягу супутніх досліджень можливих напрямків соціального, а отже й економічного розвитку великих вуглевидобувних регіонів країни.

Значного розвитку моделі вугільної промисловості отримали у роботах вітчизняних дослідників, зокрема М.М. Кулика, І.І. Павленко, Л.М. Алавердян та ін.

У роботі [4] обґрунтовано доцільність використання методів математичного програмування для вирішення задачі оптимізації розвитку вугільної галузі. Сформовано основні задачі оптимізації розвитку та відповідні їм математичні моделі для використання при різних прогнозних періодах. На основі моделей М.М. Кулика досліджено ефективність капіталовкладень у розвиток вугільної галузі. Вони можуть використовуватися як на короткий термін прогнозування, так і на довгострокову перспективу. В описаних моделях використовуються два критерії оптимізації – сумарна виробнича потужність галузі при заданих сумарних капіталовкладеннях на часовому інтервалі прогнозування, собівартість виробництва вугільної продукції та капіталовкладення при заданій загальній потребі за марками вугілля, а також їх згортка, що подає критерій максимального зростання виробничої потужності при мінімальних капіталовкладеннях. У зазначеній постановці ці оптимізаційні задачі зберігають актуальність і сьогодні, але мають бути доповнені умовами функціонування галузі у ринковому середовищі. Зокрема, 1) ефективність капіталовкладень наразі має бути обмежена граничними значеннями, які гарантують можливість реконструйованому вугільному підприємству конкурувати на ринках вугільної продукції згідно з поточною та прогнозованою кон'юнктурою цін. Нижче таких граничних значень шахтопідприємство підлягає беззаперечному закриттю, а працівникам мають бути надані всі соціальні гарантії; 2) ефективність капіталовкладень має враховуватись у моделі у вигляді змінної в часі величини, яка залежить від зміни вартості капіталу у часі згідно з правилами дисконтування.

В умовах хронічної нестачі коштів на вирішення потреб галузі актуальною є робота [5], в якій обґрунтовано алгоритм моделювання розвитку галузі за критерієм інвестиційної привабливості шахт на основі геологічних та промислових факторів, що описують стан шахти.

Комплексна оцінка інвестиційної привабливості проводиться за результатами аналізу фінансової стійкості та рентабельності. Під час використання даного підходу не враховуються фізико-хімічні характеристики вугілля, що мають значення при задоволенні попиту на вугілля з необхідними споживчими характеристиками. Під час розв'язання задач розподілу інвестицій між вуглевидобувними підприємствами має бути врахована частка марки вугілля, що видобувається на підприємстві, у балансі споживання вугілля для визначення пріоритетних напрямків застосування капіталовкладень у галузь.

Моделі [6] та [7] дозволяють визначити необхідні обсяги вугілля власного видобутку для різних підприємств за припущення, що запасів та власних потужностей українських вуглевидобувних підприємств достатньо для задоволення попиту. Дане припущення не відображає фактичного стану галузі та співвідношень між попитом і пропозицією. На сьогодні українські вуглевидобувні підприємства не можуть задовольнити потребу у вугіллі у повному обсязі внаслідок низької якості вугілля, що може бути на них видобуте, або повної відсутності окремих марок у покладах. Необхідною умовою задоволення споживчої потреби у вугільній продукції є закупівля необхідних обсягів дефіцитного вугілля на світовому ринку.

Світовий ринок можна поділити на два географічних райони – Атлантичного та Тихоокеанського басейну. Останній включає в себе усі країни Азії, Австралії та західного узбережжя Північної та Південної Америки. Інші країни вважаються частиною Атлантичного басейну. Росія та Південна Африка, з огляду на їх географічне розташування, здійснюють торгові операції на обох ринках, і, таким чином, є важелями на ринку вугілля.

В 2011 р. в басейні Тихого океану було здійснено 72,4% (573 млн т) від загальної кількості торгових потоків енергетичного вугілля, інша частина – 218 млн т – в Атлантичному басейні. Морська торгівля між двома ринками залишається обмеженою – в 2011 р. від Атлантичного до Тихоокеанського ринку надійшло лише 19 млн т (за рахунок експорту з США та Колумбії) та 20 млн т – до Атлантичного басейну (індонезійський та австралійський експорт енергетичного вугілля). У 2011 р. частка енергетичного

вугілля становила лише 13,9% від загальної величини морської торгівлі.

Основна частина експорту російського вугілля призначена для Європи через північні потоки, а також Балтійське, Чорне та Середземне моря. Через зростаючий попит на вугілля в Азії, як Росія, так і ПАР почали здійснювати поставки до тихоокеанського регіону. В 2011 р. Південно-Африканська республіка експортувала майже 60% від загальної величини свого експорту до басейну Тихого океану.

Частка коксівного вугілля на світовому ринку переважає частку торгових операцій з енергетичним вугіллям. У 2011 р. більше ніж 85% від загальної величини світового експорту коксівного вугілля було транспортовано морським шляхом.

Міжнародний ринок коксівного вугілля є висококонцентрованим. Частина австралійського експорту становить майже половину від загальної величини морської торгівлі, а разом із часткою експорту США у 2011 р. становила більше ніж дві третини від загального експорту. Попит на коксівне вугілля в тихоокеанському басейні більше ніж у два рази перевищує попит Атлантичного регіону. На відміну від ринку енергетичного вугілля, на ринку коксівного вугілля має місце більша міжбасейнова торгівля.

Основними імпортерами вугілля є Китай, Індія та Корея. Традиційні імпортери енергетичного вугілля з країн Азії купують близько 80% вугілля на основі довгострокових контрактів з щорічним ціноутворенням. Більше половини вугілля США поставляється по середньостроковим та довгостроковим контрактам на період, як правило, від одного до п'яти років.

Спотова торгівля становить менше 10% від загальної величини. Термін «спотова ціна» використовується для опису короткострокових контрактних узгоджень на термін до 12 місяців. Частка короткострокових та довгострокових договорів варіюється залежно від ринкових умов та динаміки попиту і пропозиції.

Внутрішні ціни, як правило, значно нижчі від експортного паритету за рахунок різниці у якості вугілля (вміст золи та сірки), нижчі транспортні затрати та різні вимоги до підготовки вугілля.

Спотові договори домінують на європейських ринках вугілля. Довгострокових контрактів на постачання вугілля мало, і, як правило, вони підписуються з плаваючою ціною.

Контракти на ринку коксівного вугілля у 2010 р. змінилися з річних на кварталні. У 2011 р. частина ринку перейшла на місячні контракти із спотовою ціною.

На відміну від контрактів на постачання енергетичного вугілля, азіатські покупці коксівного вугілля більше зацікавлені у спотовій купівлі через різні вимоги щодо якості вугілля для металургійних підприємств.

Контракти на вугільному ринку, як короткострокові, так і довгострокові, включають у себе одні й ті самі параметри, адаптовані до конкретних обставин. Зазвичай у контрактах прописані такі умови: величина обсягів постачання (як правило, з допусками), якість вугілля (теплотворна здатність, зольність, вміст сірки, вологи, летких речовин), ціна та спосіб переговорів у майбутньому (наприклад, щорічні переговори або індексація); коригування цін при зміні якості, умов постачання та умов оплати.

Загальна ціна на світовому ринку формується на основі цін обох регіонів та залежить від граничних FOB-цін, еластичності попиту та пропозиції, експортного потенціалу та вартості морського транспортування. Витрати на видобування займають близько 40% від ціни FOB. При оцінці вартості перевезення необхідно враховувати ціну перевезення вугілля від місця видобутку до порту, перевалку на судна, транспортування ним до порту призначення, перевалку та переміщення вугілля з нього до кінцевого споживача. Вартість транспортування вугілля морським шляхом визначається фрахтовими ставками, що залежать від типу судна. Крім цих факторів впливу на ціну вугілля на світових ринках, виділяють також інші, зокрема – коливання курсів валют, продуктивність видобутку у країні-експортері, ціну на нафту.

Зазвичай, світові ціни на вугілля виражені у доларах США за тону продукції або умовного палива. Ціни на енергетичне вугілля коригуються у відповідності з його теплотворною здатністю.

При прогнозуванні цінових показників світового ринку вугілля необхідно враховувати фактор впливу Китаю та Індії, як основних споживачів. Крім того, на майбутню ціну вугілля впливатимуть витрати на видобування, що сильно відрізняються у різних постачальників. Опосередковано на ціну вугілля впливають ціни газових контрактів, які можуть викликати зміну у паливних балансах у разі заміни газу

вугіллям при генерації електроенергії.

На території України ціна імпортованого вугілля формується додатково залежно від двох чинників, крім прибутку трейдера: транспортна складова та розмитнення. Оскільки кам'яне вугілля класифікується в групі 2701, за якою ставка мита дорівнює 0%, то при митному оформленні необхідно сплачувати 20% ПДВ та 0,2% митного збору.

Динаміку цін на світовому ринку наведено на рисунку.

Прогнозуванню цін на вугілля приділяють увагу багато міжнародних організацій, використовуючи різні підходи та сценарії розвитку [8, 9].

Моделюванню розвитку світового ринку енергетичного вугілля присвячено роботу [10]. Модель включає повний аналіз моделювання розвитку національних ринків вугілля, оскільки вони мають неопосередкований вплив на майбутні світові тенденції. Прогнозний діапазон моделі – 2006–2030 рр. Більш довгостроковий прогноз не проводиться через ризик викривлень, які можуть виникнути внаслідок недостовірності прогнозних даних. Модель може імітувати щорічні результати світової торгівлі вугіллям, тенденції потоків та цін та інвестиції у галузь з інтервалом у п'ять років.

До блоку постачання вугілля у моделі відносяться як власне виробництво, так і експорт.

Вважається, що існують обмеження на щорічне розширення експортних потужностей з технічних та економічних причин. Попит визначається переважно географічним фактором. Його величина дорівнює сумарному обсягу споживання всіх електростанцій регіону. Попит вважається еластичним.

Вузол виробництва визначається басейном видобутку, агрегатами видобувної компанії, типом вугілля, що видобувається, та виробничими затратами, що зумовлені геологічними факторами. Також враховуються обмежені з економічної точки зору інвестиції у додаткові виробничі та транспортні потужності для задоволення місцевого попиту.

Ціна вугільної продукції визначається за одиницю енергії, що міститься у вугіллі. Курси валют, ціни на обладнання, паливо для транспорту та інші фактори не розглядаються через складність прогнозування або однаковий вплив на всіх виробників. Припускається, що шахти з більш якісним вугіллям розробляються у першу чергу з подальшим зменшенням якості вугілля.

Експорт представлений вугільними експортними терміналами/портами, що розташовані у даному регіоні, агрегованими до одного вузла. Рішення експортера – вибір оптимальної величини продажу кожному імпортеру за

дол. США/т

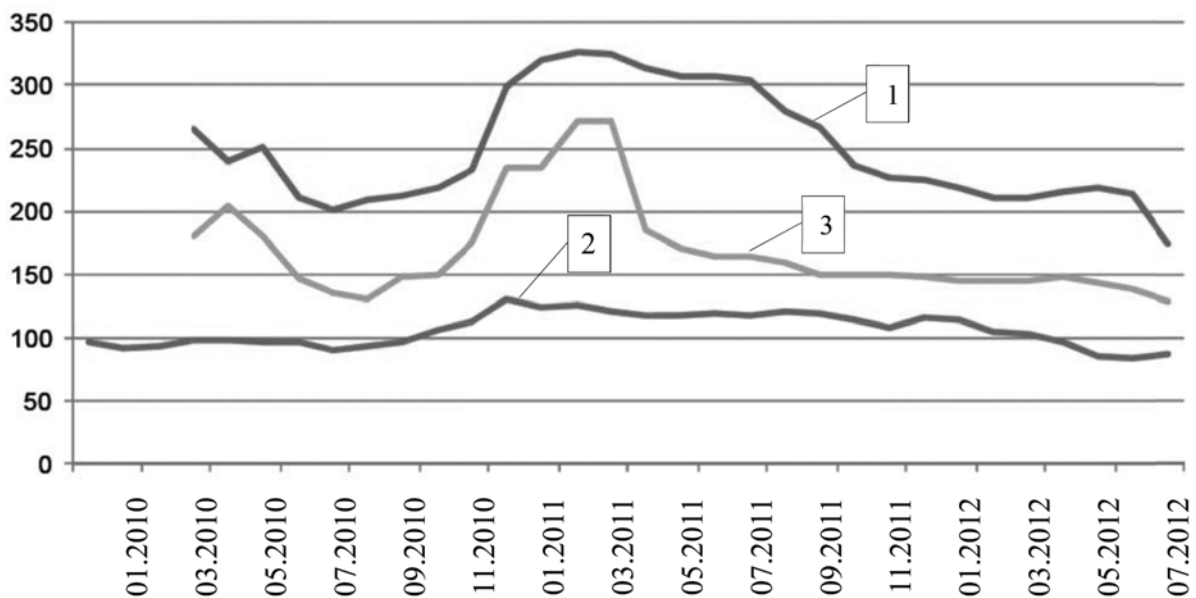


Рис. Динаміка цін на світовому ринку вугілля: 1 – енергетичне вугілля FOB-Ньюкасл; 2 – коксівне вугілля FOB, Австралія; 3 – вугілля з наднизьким вмістом летких, FOB

рік та інвестицій у експортні потужності за умови максимізації прибутку.

Для кожного розрахункового року модель визначає обсяги внутрішньої та зовнішньої торгівлі вугіллям, ціни та рівні інвестицій. Всі розрахунки основані на припущенні щодо конкурентного та вільного ринку — попит може бути задоволений або за рахунок різних виробників, або за рахунок імпортування.

Модель дає змогу моделювати ринок та його подальший розвиток, та може бути використана для дослідження національних та світових ринків енергетичного вугілля при різних енергетичних та кліматичних сценаріях. Незважаючи на детальне моделювання виробництва та постачання вугілля, його споживання має доволі загальний рівень, та не враховує споживчих характеристик кожної групи споживачів. Крім того, модель орієнтована на прогнозування цінових трендів енергетичного вугілля, та не відображає структуру постачання, транспортування та споживання коксівних марок вугілля.

З аналізу наведених вище моделей видно, що більшість моделей не розглядають імпорт у контексті розвитку національної вугільної галузі, або розглядають його як додатковий вузол навантаження з наперед заданим ціновим показником. Крім того, переважна більшість моделей не розглядає проблему видобутку, транспортування, переробки та споживання коксівного вугілля, акцентуючи увагу на вугле-видобутку енергетичних марок.

Енергетичною стратегією України на період до 2030 р. прогнозоване зростання споживання вугілля за трьома сценаріями розвитку вугільної галузі. Оскільки якість українського вугілля за показниками зольності та масової частки сірки є низькою, його споживання різними об'єктами економіки держави вимагають вкладення значних коштів у його збагачення та встановлення систем очищення викидів продуктів згоряння.

Разом з тим, з початку ХХІ ст. розвиток економіки, технологій спалювання вугілля, поява докорінно нових видів палива, яке потребує значного рівня переробки рядового вугілля, зокрема в металургії (пиловугільне паливо (ПВП), кокс для ПВП та ін.), поставили задачу вугільного балансу країни вже в її асортиментному аспекті. Питання наявності, економічної доцільності, оптимальних обсягів постачання вугільної продукції стали розглядатися з орієнтацією на конкретні потреби відповідних спо-

живачів.

Змінилося паливозабезпечення економіки в цілому. Структура паливного балансу країни, зокрема частка вугільної продукції в енергетичному балансі, постала у вигляді стратегічної безпекової проблеми, наразі не забезпеченої як інформаційними, так і методичними засобами [11].

Економіка України наразі функціонує в ринкових умовах. В цих умовах ефективність функціонування вугільних підприємств визначається, зокрема, співвідношенням ціни конкретного підприємства та середньоринкових цін на співставну за маркою та споживчими характеристиками вугільною продукцією на світових ринках. Оскільки ціна значною мірою визначається собівартістю, це дає змогу впорядкувати вугільні підприємства за технологічною та економічною ефективністю.

Важливим фактором регулювання інтенсивності споживання вугілля в країні, а, отже, й доцільних обсягів його видобутку, є навантаження на довілля, що здійснюється як самими вуглевидобувними підприємствами, так і промисловими споживачами її продукції.

Виконання європейських вимог щодо викидів забруднюючих речовин від об'єктів теплової енергетики накладає додаткові обмеження на обсяги спалювання вугілля за наявного рівня збагачення та очищення вугільної продукції. Зменшення викидів сполук сірки потребує додаткових капітальних витрат, пов'язаних з встановленням сіркоочисного обладнанням близько 300 дол. США / (кВт встановленої потужності).

Таким чином, обсяги власного видобутку вугілля зумовлюються низкою факторів, які наведено нижче.

1. Українські споживачі вугільної продукції диференціюються за потребами у вугіллі конкретних марок з конкретними фізико-технічними характеристиками у конкретному обсязі.

2. У покладах вугілля відсутні окремі марки, зокрема коксівного вугілля, необхідні для виготовлення металургійної шихти.

3. Вугілля, що видобувається в Україні, має низьку якість, зокрема великий вміст сірки та високу зольність, що не дозволяє його споживати напряму.

4. Низька якість вітчизняного вугілля потребує збагачення для тих марок, що мають здатність до нього.

5. Після збагачувальних фабрик коксівне вугілля все ще має досить низьку якість, що в

більшості випадків робить його непридатним для споживання у металургійній промисловості.

6. Непридатність українського коксівного вугілля при виготовленні металургійної продукції належної якості вимагає його імпортування як з близького, так і далекого зарубіжжя.

7. Низька якість вугілля енергетичних марок у деяких випадках змушує імпортувати також вугільну продукцію енергетичних марок.

8. Імпортування вугілля морським шляхом економічно доцільно здійснювати за допомогою суден класу Panamax або Capesize, які не можуть бути прийняті у більшості українських портів та вимагають проміжної перевалки за кордоном або на рейді.

9. Собівартість видобутку вугілля українських шахт у більшості випадків вища за оптову ціну вугілля та покривається за рахунок державних дотацій.

10. Більшість українських шахт видобувають декілька марок вугілля одночасно.

11. Собівартість видобутку вугілля однієї марки на різних шахтах може відрізняється в декілька разів. Разом з тим, собівартість видобутку різних марок на одній шахті є приблизно однаковою при значно відмінних ринкових цінах на ці марки.

12. Внаслідок неможливості диференціювати обсяг імпортованого вугілля за окремими марками, що подається у наявних інформаційних джерелах, прийдеться весь обсяг імпортованого вугілля розподіляти за марками відповідно до пропорцій споживання вугілля за марками.

13. Українські шахти, що знаходяться у власності держави, мають різне економічне та технічне становище та диференційовані за інвестиційною привабливістю.

Першим етапом розв'язання задачі оптимізації розвитку вугільної промисловості, що характеризується вказаними вище властивостями, є визначення оптимального складу діючих вуглевидобувних підприємств галузі. Із врахуванням ринкової інфраструктури функціонування вугільного підприємства ця задача може бути сформульована таким чином. Необхідно надати мінімум сукупним затратам на видобування, транспортування, імпортування, збагачення (1) при задоволенні потреб споживачів всіх типів вугільної продукції (2), (3), із врахуванням пропускної здатності транспортних вузлів та магістралей (4) та при виконанні вимог природоохоронного законодавства і міжнародних конвенцій (5):

$$\sum_{i=1}^{N_{E, \text{оо}}} C_i \cdot x_i + \sum_{j=1}^{N_{K, \text{оо}}} C_j \cdot x_j + \sum_{k=1}^{N_{E, \text{ім}}} C_k \cdot x_k + \sum_{l=1}^{N_{K, \text{ім}}} C_l \cdot x_l \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^{N_{K, \text{оо}}} g_j \cdot x_j + \sum_{l=1}^{N_{K, \text{ім}}} g_l \cdot x_l \geq X_{K, \text{max}}, \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{N_{E, \text{оо}}} g_i \cdot x_i + \sum_{k=1}^{N_{E, \text{ім}}} g_k \cdot x_k \geq X_{E, \text{max}}, \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^{N_{E, \text{ім}}} x_k + \sum_{l=1}^{N_{K, \text{ім}}} x_l \leq X_{\text{нзн, max}}, \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^{N_{E, \text{оо}}} \delta_{i, \mu} \cdot x_i + \sum_{k=1}^{N_{K, \text{оо}}} \delta_{k, \mu} \cdot x_k \leq V_{\text{max}, \mu} \quad \left| \begin{array}{l} \mu = 1, N_{\text{забрудн}} \end{array} \right., \quad (5)$$

$$0 \leq x_i \leq X_{E, \text{max}, i}, \quad (6)$$

$$0 \leq x_i \leq X_{K, \text{max}, i}. \quad (7)$$

У задачі (1) – (7) введено такі позначення:

g_l, g_j, g_i, g_k	–	технологічні коефіцієнти збагачення вугілля;
x_j, x_l, x_i, x_k	–	обсяги видобутку та імпортування;
$N_{K, \text{вв}}, N_{E, \text{вв}}$	–	загальний видобуток коксівного та енергетичного вугілля українськими вуглевидобувними підприємствами;
$N_{K, \text{імн}}, N_{E, \text{імн}}$	–	кількість джерел імпортування коксівного та енергетичного вугілля відповідно;
$X_{K, \text{max}}, X_{E, \text{max}}$	–	загальна величина попиту на коксівне та енергетичне вугілля відповідно;
$X_{E_{\text{max}}, i}, X_{K_{\text{max}}, i}$	–	потенційно досяжні обсяги видобутку на i -му підприємстві енергетичного чи коксівного вугілля відповідно;
$X_{\text{пзн}, \text{max}}$	–	сумарна пропускна здатність портів та залізниці;
$\delta_{i, \mu}, \delta_{k, \mu}$	–	питомі, на одиницю кінцевої продукції викиди забруднювача μ на підприємствах, що видобувають енергетичне та коксівне вугілля відповідно;
$V_{\text{max}, \mu}$	–	гранично допустимий обсяг викидів забруднювача μ ;
$N_{\text{забрудн}}$	–	кількість забруднювачів оточуючого середовища;
C_i, C_j, C_k, C_l	–	коефіцієнти цільової функції сумарних затрат на забезпечення потреб споживачів вугільної продукції всіх типів, що визначаються співвідношеннями:

$$C_i = C_{i, \text{видоб}} + C_{i, \text{збагач}} + C_{i, \text{трансп, внутр}} \quad (8)$$

$$C_k = C_{k, \text{імн}} + C_{k, \text{збагач}} + C_{k, \text{трансп, зовн}} + C_{k, \text{трансп, внутр}} \quad (9)$$

де

$C_{i, \text{видоб}}$	–	собівартість видобування вугілля на i -му підприємстві (шахті);
$C_{k, \text{імн}}$	–	ціна імпортованого вугілля з k -го джерела;
$C_{i, \text{збагач}}$	–	затрати на збагачення вугілля, видобутого на i -му підприємстві;
$C_{i, \text{трансп, внутр}}$	–	транспортні тарифи на внутрішні перевезення вугілля, видобутого на i -му підприємстві;
$C_{k, \text{трансп, зовн}}$	–	транспортні тарифи на міждержавні перевезення вугілля, імпортованого з k -го джерела;
$C_{k, \text{трансп, внутр}}$	–	транспортні тарифи на внутрішні перевезення вугілля, імпортованого з k -го джерела.

Збагачення вугілля в моделі враховується підвищенням собівартості готової вугільної продукції, видобутої на i -му підприємстві на величину витрат на збагачення, а відповідні зміни обсягів – технологічними коефіцієнтами.

У моделі виділено дві великі групи вугільної продукції – енергетична та коксівна у зв'язку з достатньо відмінними технологічними процесами їх перетворення та споживання, різним рівнем наявності у вітчизняних покладах, а також можливими взаємними заміщеннями

цих видів в умовах їх дефіциту на ринках вугілля. За необхідності виділення технологічних ланцюгів окремих видів енергетичного чи коксівного вугілля, а також бурого та інших низькокалорійних палив, асортимент продуктів моделі може бути легко розширений.

Основне припущення моделі, яка розглядається, полягає у тому, що сукупна проектна потужність всіх наявних у державі вуглевидобувних підприємств разом із можливими максимальними обсягами імпортування вугілля дефіцитних марок перевищують сумарну

потребу споживачів, диференційовану за видами (марками) вугільної продукції. Разом з тим, вітчизняні виробники та постачальники імпортованого вугілля відрізняються за кінцевою вартістю продукції, що надходить до споживача. Тому, задача (1)–(9) дає, фактично, оптимальну за критерієм сумарних операційних витрат сукупність виробників вугільної продукції власного видобутку, а також джерел її надходження за імпортом. Враховуючи достатньо високу собівартість видобутку на українських шахтах, вартість постачання власного вугілля може перевищувати вартість імпортованого навіть для марок, ресурси яких розвідані в Україні.

Таким чином, в оптимальному розв'язку буде отриманий перелік постачальників вугільної продукції, надходження вугілля від яких до споживача буде мати найменшу вартість. Відповідно до вимог енергетичної безпеки держави, частка імпорту з одного джерела не може перевищувати 30% від її загальної величини [12, 13]. Врахування цих вимог у балансово-оптимізаційній моделі детально описано в роботі [14]. Тому, для забезпечення виконання цієї умови модель має бути доповнена обмеженнями згори щодо обсягів надходження від постачальників імпортованої вугільної продукції:

$$x_{k,imm} \leq \lambda \cdot X_{E,imm}, \quad (10)$$

$$\delta_{i,qi} \leq \lambda \cdot X_{K,qi}, \quad (11)$$

де λ – частка обсягу імпортування з одного джерела, допустима згідно з вимогами енергетичної безпеки

На сьогодні більшість українських вугледобувних підприємств мають обсяги видобутку, менші від потенційно досяжного рівня. Для досягнення шахтами проектної потужності необхідні залучення інвестицій на модернізацію та реконструкцію обладнання, величина яких визначена у Програмі розвитку вугільної промисловості України до 2030 р. [15]. Капіталовкладення у галузь розподіляються за роками з відповідним нарощуванням виробничої потужності шахт, тому протягом розрахункового періоду будемо вважати їх сталими. Для подальшого врахування впливу залучених у минулому інвестицій на майбутній період, запропонована модель буде перероблена у модель виробничого типу, побудовану на осно-

ві понять технологічного способу та технологічної матриці. Переваги такої моделі для розв'язання балансово-оптимізаційної задачі було розглянуто в [16 – 18].

Розроблена авторами методика врахування фізично/технологічно зумовлених зв'язків між змінними обсягами в допоміжній системі рівнянь економіко-математичної моделі виробничого типу детально описана в [19].

ВИСНОВКИ

1. Виконаний у роботі аналіз моделей розвитку вугільної промисловості, а також моделей функціонування вугільного сектору в умовах світових ринків вугілля дозволив визначити першочергові задачі моделювання вугільної галузі України. А саме: 1) визначення раціонального складу шахтопідприємств галузі, включно з закриттям неефективних шахт, 2) деталізоване врахування асортиментного складу потреби на вугільну продукцію, 3) оптимізація напрямків капіталовкладень у модернізацію в ринкових умовах діяльності виробників і споживачів вугільної продукції, 4) беззаперечне виконання вимог енергетичної безпеки держави.

2. Запропонована модель оптимізації структури шахтного фонду країни дозволяє визначити економічно та стратегічно доцільний перелік високоефективних виробників вугільної продукції України в умовах функціонування світових ринків вугілля, суттєвої зміни структури паливного балансу держави на користь вугілля при повному задоволенні потреб економіки в необхідних видах вугільної продукції.

1. *Henderson J.M.* A short-run model for the coal industry / J.M. Henderson // *The Review of Economics and Statistics*. – 1955. – Vol. 37, No.4. – P. 336–346.

2. *Green J.W.* Western Energy: The Interregional Coal Analysis Model / J.W. Green // *Natural Resource Economics Division; Economics, Statistics, and Cooperatives Service; U.S. Department of Agriculture, Technical Bulletin*. – 1980. – No.1627.

3. *Suwala W.* Model of Coal Industry in Poland / W. Suwala // *Gospodarka surowcami mineralnymi*. – 2010. – Tom 26. – S. 41–52.

4. *Кулик М.М.* Роль вугілля у формуванні

- паливно-енергетичних балансів та оптимізація розвитку вугільної промисловості України / М.М. Кулик // Проблеми загальної енергетики. – 2002. – Вип. 6. – С. 7–16.
5. Павленко І.І. Механізм розвитку вугільної галузі при обмежених інвестиціях / І.І. Павленко // Економіка промисловості. – 2007. – №1. – С. 93–97.
6. Алавердян Л.М. Економіко-математична модель оптимального розвитку вугільної промисловості України / Л.М. Алавердян // Вісник МНТУ, серія «Економіка». – №1. – С. 121–123.
7. Кудріна О.Ю. До питання про економіко-математичну модель організації виробництва на вугле- і газовидобувних промислових підприємствах / О.Ю. Кудріна // Економічний вісник Донбасу. – 2012. – № 2(28). – С.143–146.
8. *Medium-Term CoalMarketReport* 2012. IEA. – 2012. – 144 p.
9. *CoalInformation* 2012. IEA Statistics. – 2012. – 520 p.
10. *Haftendorn C. COALMOD-World:A ModeltoAssessInternationalCoalMarketsUntil 2030/C. Haftendorn, F. Holz, C. von Hirschhausen. – DiscussionPaper. – 2010. – No.1067. – 57 p.*
11. Лир В.Е. Энергетический баланс Украины – уравнение из неизвестных. Организационно-методологические аспекты разработки и экономического анализа водного энергетического баланса Украины / В.Е. Лир [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://esco-ecosys.narod.ru/2010_2/art067.htm.
12. *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 – Назва з екрану. – (Нормативний документ Мінекономіки України).
13. Земляний М.Г. До оцінки рівня енергетичної безпеки. Концептуальні підходи / М.Г. Земляний [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.db.niss.gov.ua/docs/energy/EnSecZeml.pdf. – Назва з екрану.
14. *Стогній О.В.* Методи та засоби врахування факторів енергетичної безпеки в економіко-математичній моделі паливозабезпечення країни / О.В. Стогній, М.І. Каплін, Т.Р. Білан // Проблеми загальної енергетики. – 2012. – № 4(31). – С.38–45.
15. *Програма* розвитку вугільної промисловості України на період до 2030 року. Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. – Київ, 2012.
16. *Новосельцев О.В.* Балансово-оптимізаційна модель взаємозв'язаних систем транспортування і розподілу паливно-енергетичних ресурсів в контексті загальноенергетичних балансів країни / О.В. Новосельцев, М.І. Каплін // Проблеми загальної енергетики. – 2009. – №20. – С. 62–68.
17. *Стогній О.В.* Структурні особливості балансово-оптимізаційної моделі паливозабезпечення країни / О.В. Стогній, М.І. Каплін // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. – 2011. – Спец. вип. Ч. 1 – С. 138–145.
18. *Структурна* будова та розрахункові основи економіко-математичної моделі двомережної системи транспортування й розподілу енергетичних продуктів підприємства водопостачання і водовідведення / В.О. Костюк, М.І. Каплін, В.Г. Загурський, В. П. Сидоренко // Проблеми загальної енергетики. – 2010. – Вип. 1(21). – С. 54–58.
19. *Каплін М.І.* Врахування балансово-енергетичних закономірностей в техніко-економічній моделі складнозамкненої гідравлічної мережі системи водопостачання / М.І. Каплін, В.О. Костюк, В.П. Сидоренко // Проблеми загальної енергетики. – 2011. – Вип. 3(26). – С. 32–38.

Надійшла до редколегії 18.04.2013

Рецензент:

Зав. відділу прогнозування науково-технічного прогресу в енергетиці та ефективності енерготехнологій ІЗЕ НАН України, д-р техн. наук, професор Шрайбер О.А.