

# ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА ТА ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ

УДК 004.942:622.68

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

## ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛІ ВИРОБНИЧОГО ТИПУ СИСТЕМИ ПАЛИВОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ПЕРСПЕКТИВНИХ ОБСЯГІВ ЗАМІЩЕННЯ ВИДІВ ПАЛИВА В ЕКОНОМІЦІ КРАЇНИ

*Описано структуру обмежень моделі виробничого типу системи паливозабезпечення двох галузей економіки країни. Рівняння системи забезпечують врахування можливостей заміщення й перенаправлення необхідних обсягів вугільної продукції у виробничо-транспортній системі, що містить власний виробіток, перетворення, збагачення, переробку всіх видів викопного палива, а також здійснює їх імпортування та експорт. В системі з недостатніми обсягами власного видобутку окремих дефіцитних видів палива розглянуто задачу визначення оптимальних шляхів та напрямків їх заміщення іншими видами в залежності від цінової кон'юнктури внутрішніх ринків вугільної продукції та рівнів цін на світових ринках палива.*

*Ключові слова:* паливозабезпечення, фактори енергетичної безпеки, заміщення, перенаправлення, модель виробничого типу.

Побудова економіко-математичної моделі паливозабезпечення країни вимагає наявності чітко структурованих вихідних даних щодо функціонування економічних підсистем, галузей економіки, окремих промислових підприємств, які здійснюють видобування, імпорт, транспортування, перетворення палив, їх постачання споживачам у всіх галузях економіки. Як впливає з визначення системи паливозабезпечення [1], до її складу входять промислові та господарські об'єкти різного рівня організації й підпорядкування. З іншого боку, структура набору вихідних даних має відповідати рівню деталізації моделювання, який взято за основу для створюваної моделі. Цей рівень має бути достатнім для відображення технологічних й економічних зв'язків об'єктів системи, які необхідно дослідити. Виходячи з цього, вважаємо за доцільне сформулювати наступні вимоги щодо складу (переліку), рівня деталізації та групування вихідних даних моделі паливозабезпечення.

А. Схема забезпечення – технологічні процеси: видобування, постачання, споживання.

1. Види палива – первинні енергоносії,

викопне паливо: а) ядерне паливо; б) вугілля коксівне та енергетичне; в) природний газ; г) сира нафта; д) інші: сланцевий газ, органічні та поновлювані.

2. Надходження в сирому, необробленому вигляді, на кордони країни – перелік джерел: а) власного видобутку, б) імпорту.

3. Перетворення – технології виробітку паливних продуктів – переробка; транспортування.

4. Паливні продукти – перелік (можуть співпадати з первинними паливами): а) ядерне паливо; б) вугілля коксівне та енергетичне; в) природний газ; г) сира нафта; д) бензини; е) газ; є) мазут; ж) інші: сланцевий газ, органічні та поновлювані.

5. Споживання / спалювання – технології: монопаливні, поліпаливні, альтернативного спалювання (моно- та поліпаливні).

Б. Групування технологій споживання (спалювання) в економіці: види первинного палива → галузі економіки, чи навпаки: галузі економіки → види первинного палива.

В. Впорядковані взаємозв'язані технологічні процеси, за допомогою яких здійснюється паливозабезпечення країни, утворюють технологічний ланцюг, поданий на рис. 1.

© О.В. СТОГНІЙ, М.І. КАПЛІН, Т.Р. БІЛАН, 2012

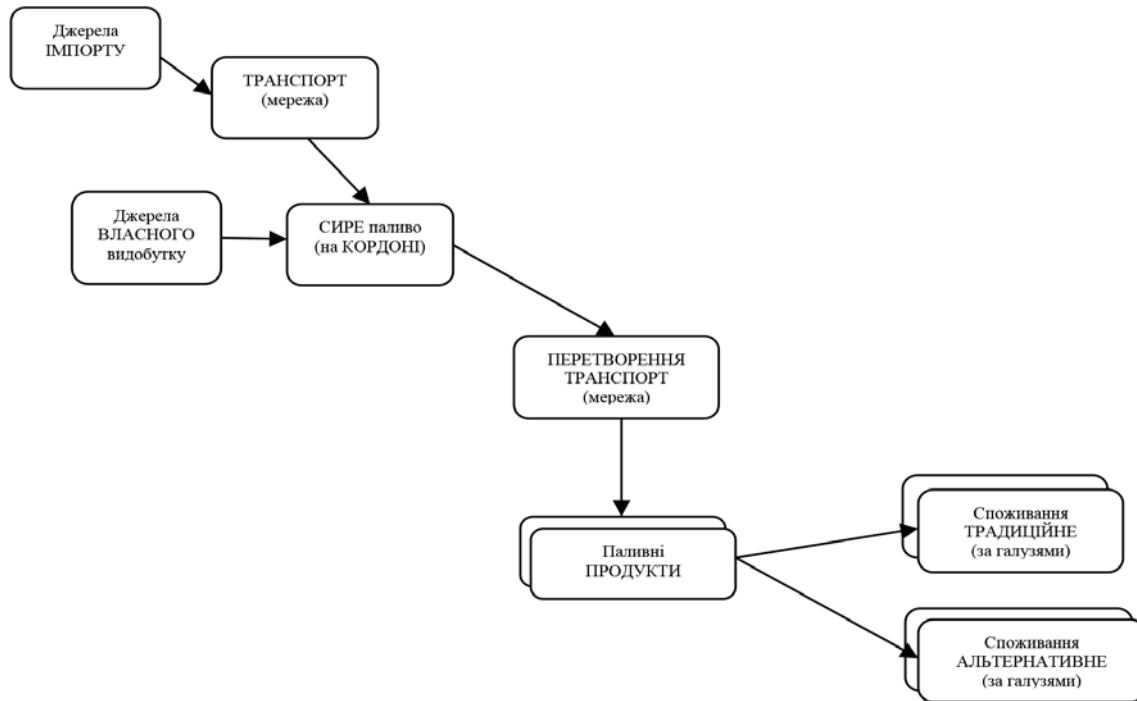


Рис. 1. Схема технологічного ланцюга паливозабезпечення одним видом палива

За вказаними *узагальненими* технологіями і продуктами (у прямокутниках) для потреб моделювання необхідні наступні дані: *переліки* реальних технологій, шляхів перевезення, продуктів. Для всіх *реальних технологій споживання* потрібні *обсяги* (права частина), для інших *реальних технологій* – *питомі затрати, вартість* (коефіцієнти цільової функції), *втрати або витрати* продукту в технології (коефіцієнти технологічної матриці).

6. Для всіх технологій необхідні граничні значення обсягів – мінімальне та максимальне (встановлена потужність, пропускна здатність тощо).

7. Для моделей з деталізованою ресурсною частиною необхідні питомі витрати ресурсів на одиницю основного продукту. Попередньо складається перелік ресурсів всіх технологій.

У запропонованому варіанті моделі паливозабезпечення оптимізація сукупних затрат здійснюється за рахунок зміни структури споживання та перетворення палив. На рис. 1 сукупність технологій промислово-господарського комплексу країни, які допускають перехід на спалювання альтернативних видів палива, виділено в окрему групу. Обсяги палива, що відповідають цим технологіям, підлягають зв'язуванню специфічними співвідношеннями пропорціонування [2], які враховують питомі

витрати палив на виробіток продуктів у традиційних та альтернативних технологіях.

Ідея цього дослідження полягає в тому, що запропонована структура моделі та набору її вихідних даних, зокрема *одночасне* врахування повної структури технологічних ланцюгів руху *всіх видів палива* – від джерел надходження до альтернативних технологій споживання, може виявити не тільки перспективно оптимальні обсяги *споживання*, але й перехід до відповідних *оптимальних джерел постачання* із врахуванням *вимог енергетичної безпеки*.

Поряд з безпосереднім врахуванням показників енергетичної безпеки, як підсистеми лінійних обмежень економіко-математичної моделі паливозабезпечення, другим критично-важливим аспектом оптимізації його структури є запровадження в моделі механізмів керування заміщенням видів палив в технологіях їх перетворення й споживання, як інструмента впливу на ці показники. Розглядаючи заміщення палив у контексті енергетичної безпеки країни, яка характеризується обсяговими показниками постачання палива, описаними в [2], ми не будемо обмежувати поняття заміщення тільки заміною видів викопного палива, наприклад, природного газу на вугілля. Значення згаданих показників залежать, перш за все, від доступності палива в необхідних обсягах, яка, в свою

чергу, визначається наявністю джерел надходження на власній території, надійністю та вартістю імпортування та ін. Тому під заміщенням палив ми будемо надалі розуміти перехід від споживання одного *паливного продукту* до споживання іншого в технологічних процесах економіки незалежно від виду використовуваного первинного палива (ядерне паливо, вугілля, нафта, природний газ) та його механічних та фізико-хімічних характеристик. Єдиною необхідною умовою моделювання заміщення є наявність технології спалювання відповідного заміщуваному альтернативного палива, яка може бути впроваджена у заданих обсягах, протягом певного часу і за певних витрат.

В припущенні існування таких технологій розглянемо потребу в паливних продуктах при одночасному використанні традиційної та альтернативних технологій. Позначимо відповідні питомі витрати паливних продуктів в цих технологіях через  $b_1, b_2, \dots, b_n$  відповідно. Тоді, якщо позначити через  $Z_1$  сумарний обсяг витрат паливного продукту 1, то

$$b_1 \cdot x_1 = Z_1, \quad (1)$$

де  $x_1$  – обсяг виробництва деякого продукту при виключному використанні традиційної технології.

При одночасному використанні альтернативних технологій спалювання той самий обсяг продукту виробляється всією сукупністю технологій:

$$x'_1 + x'_2 + \dots + x'_i + \dots + x'_n = x_1, \quad (2)$$

де  $x'_i$  – обсяг виробітку продукту із застосуванням технології спалювання  $i$ -го паливного продукту, включно з традиційним. Використовуючи в (2) визначення питомих витрат (1), отримуємо рівняння зв'язку для обсягів спалювання всіх паливних продуктів:

$$Z_1 = Z'_1 + \frac{b_1}{b_2} Z'_2 + \frac{b_1}{b_3} Z'_3 + \dots + \frac{b_1}{b_n} Z'_n. \quad (3)$$

У рівнянні (3)  $Z'_1, Z'_2, \dots, Z'_n$  – сумарні обсяги витрат паливних продуктів у альтернативних технологіях спалювання. Співвідношення (3) в термінах конструктивних елементів економіко-математичної моделі паливозабезпечення [3,4], записаної у вигляді моделі виробничого типу для мережної абстракції системи постачання палива, є вуз-

лом навантаження із вхідними потоками, що пропорціонуються відношеннями питомих витрат палива в альтернативних технологіях спалювання. Це пропорціонування забезпечується допоміжною підсистемою моделі виробничого типу [5].

**Властивості балансово-оптимізаційної моделі паливозабезпечення, що забезпечують її поетапну деталізацію.** Нагальною вимогою до структури моделі паливозабезпечення є її здатність адаптуватися до заданого рівня деталізації наявного інформаційного забезпечення. Тому в моделі необхідно запровадити гнучкі динамічні механізми корекції її структури згідно з обсягом та рівнем деталізації наявної вихідної інформації, які можуть змінюватися в процесі вдосконалення моделі. Ці механізми базуються на можливостях, що виникають при застосуванні мережних аналогій та властивих мережним системам математичних абстракцій до подання технологічної структури системи паливозабезпечення.

Зокрема, укрупненню рівня опису системи паливозабезпечення відповідають підсумовувальні та розподільні конструкції вузлів графа мережі постачання палив. Ці структурні конструкції технологічної матриці дозволяють, наприклад, розширювати асортиментний склад продуктів системи паливозабезпечення в технологічних ділянках, що потребують деталізованого їх врахування, і, навпаки, об'єднувати асортиментні складові для етапів перетворення, що зазвичай характеризуються підсумковими показниками. Типовими прикладами застосування цих структурних компонентів моделі є, наприклад, розподіл вугільної продукції за марками при споживанні в енергетиці й металургійній галузі і, відповідно, оцінка обсягів перевантаження в портах призначення імпорту.

Засоби опису всіх необхідних видів перетворення палив та паливних продуктів, включно з їх виробітком і проміжним споживанням забезпечуються в моделі внутрішньою структурою техспособів математичних моделей вузла і лінії – елементів графа уявної мережі, що співставляється системі паливозабезпечення. Ці моделі [3,4] містять техспособи власного виробітку вузла, техспособи надходження продуктів із суміжних вузлів, виробітку сумарного продукту вузла та його розподілу між приєднаними лініями.

Дотримання необхідних фіксованих співвід-

ношень між обсягами продуктів забезпечується різними формами підсистем пропорціонування поточкових змінних моделі [5] в ребрах графа асоційованої мережі.

Застосування підходу мережних аналогій із застосуванням вказаних вище модельних конструкцій дозволяє розробляти моделі окремих технологічних та продуктових підсистем паливозабезпечення з метою їх наступного включення в загальну модель системи.

**Особливості структури моделі постачання палив для галузей-споживачів із конкуруючим попитом на окремі види палива.** З метою дослідження структурних змін у паливозабезпеченні та врахування можливостей заміщення різних видів палива запропоновано структуру моделі паливозабезпечення галузей економіки, що функціонують паралельно з одночасним споживанням окремих видів палива в умовах обмежених можливостей постачання з національної ресурсної бази. Ця модель дозволяє визначити оптимальний розподіл обсягів споживання дефіцитних палив в межах кожної з розглядуваних галузей між наявними в галузі технологіями споживання, зокрема новітніми, що працюють з новими видами палива. Крім того, в модель закладено механізми оптимального спрямування дефіцитних палив в необхідну галузь із дотриманням технологічно зумовлених вимог до фізичних, хімічних та інших властивостей в кожній окремій технології конкуруючих галузей. Постачання недостатніх обсягів необхідних видів палив забезпечується в моделі її імпортуванням до кожної з розглядуваних галузей.

Таким чином, в моделі забезпечено такі механізми оптимізації постачання палива: 1) розподіл між конкуруючими технологіями галузі споживання, 2) перенаправлення, або оптимальне спрямування обсягів між галузями, 3) визначення оптимального обсягу імпортування для кожної з галузей.

Вказані особливості паливозабезпечення найбільш інтенсивних споживачів вугілля були покладені в основу економіко-математичної моделі паливозабезпечення металургійного комплексу та теплової генерації. Ця модель побудована з використанням математичного апарату економіко-математичних моделей виробничого типу і створена за допомогою системи аналогій з мережними поточковими моделями.

Модель вміщує технологічні ланцюги 16-ти марок вугілля. Розглядаються вузли власного видобутку та імпорту цих марок. Підсумовані обсяги за марками спрямовуються у вузли споживання в металургії та тепловій енергетиці. Надлишки окремих марок енергетичного вугілля надходять у вузли збагачення. Збагачене вугілля розподіляється між коксовиробництвом та виробництвом пиловугільного палива (ПВП). В металургійній галузі розглядаються вузли споживання на виробництво коксу та ПВП. Вимоги до якості коксу забезпечуються додатковими обмеженнями на частки обсягів окремих марок в загальному обсязі вугілля, що споживається в коксовиробництві.

Модель являє собою мережну модель видобутку, розподілу, транспортування та споживання всіх марок вугілля. В загальному випадку кожен вузол мережної моделі описується обсягами виробітку/споживання цих марок, а лінія – обсягами потоків вугілля в системі його обігу. Вузли поділяються на вузли виробітку та споживання. До вузлів виробітку належать джерела власного видобування, а також імпортування вугілля. Видобуті та імпортовані марки вугілля надходять у вузли технологій теплової енергетики та металургії, що розглядаються як вузли перетворення та збагачення. Розподіл видобутого вугілля між вузлами галузей служить для виділення та керування асортиментом марок в кожній із зазначених галузей. Обсяги вугілля, що утворюються в цих вузлах, підсумовуються з обсягом імпорту, що виробляється в окремому вузлі моделі і надходять до вузлів накопичення сумарного обсягу за технологіями.

Загалом набір даних моделі містить 1024 продукти (рядки) та 1408 технологічних способів (стовпчиків). В системі з описаною вище структурою виконано ряд розрахунків балансу вугілля 16-ти марок за прогнозними даними його споживання в металургії та тепловій енергетиці (ТЕС). Весь асортимент вугільної продукції розподілено на дві великі групи – енергетичне та коксівне вугілля. До енергетичного включено марки А, П, до коксівного – К, Ж, ПС. Вугілля марок Г, ДГ, Д, так само як А та П, незважаючи на їх належність, передусім, до енергетичної групи, розглядалось як таке, що може бути використане також в металургійній промисловості після належного збагачення.

Обсяги цих марок вугілля взято у пропорціях, необхідних для виготовлення шихти для відповідних технологій металургійної промисловості.

Наведені нижче результати модельних розрахунків дають змогу оцінити здатність моделі паливозабезпечення відображати нестабільність попиту та пропозиції на ринках вугільної продукції в Україні. Зокрема, починаючи з 2010 р. відчувався істотний дефіцит вугілля високолетючої групи в енергетиці. Це призвело до необхідності імпортування цієї групи марок вугілля та необхідності надходження в енергетику продуктів збагачення марки Г з коксовиробництва та виробництва пиловугільного палива. Наразі, у вересні 2012 р. ситуація докорінно змінилась у напрямку виникнення профіциту вугілля високолетючої групи та дефіциту вугілля марки А. Таким чином, вимога надійного та безперебійного паливозабезпечення теплової генерації та металургійного комплексу може бути задоволена на основі короткотермінових прогнозів потреби та виробітку вугілля різних марочних груп із врахуванням різноманітних шляхів надходження цих марок до кінцевих споживачів. Враховуючи деяку інерційність паливозабезпечення, що, як правило, послуговується складуванням вугільної продукції, в задачах оптимального вуглезабезпечення вказаних галузей мають бути обов'язково враховані зворотні напрямки постачання вугільної продукції з енергетичної галузі у металургійний комплекс і навпаки одночасно. Дійсний напрямок потоку вугілля між цими галузями має визначатись наявною потребою обох галузей, обмеженнями на виробничі потужності власного виробництва, співвідношенням цін при купівлі у власного виробника та експортера. Враховуючи згадану вище неоднорідність попиту та пропозиції за марками вугілля та їх часом протилежне співвідношення в залежності від марки, висновок щодо напрямку паливозабезпечення теплової генерації та металургійного комплексу має робитися на основі помарочних оптимізаційних розрахунків обігу вугілля від технологій його видобутку до споживання із забезпеченням можливості формування асортиментних сумішей для металургії зокрема, задоволення технологічних вимог виробництв пиловугільного палива та коксу для металургії. Моделювання паливозабезпечення в таких умовах має передбачати

також необхідність ввезення дефіцитних видів вугільної продукції з-за кордону.

У першому розрахунку балансу вугільної продукції з врахуванням обмеженої пропозиції на окремі марки коксівного вугілля було зафіксовано власний видобуток цих марок вугілля на рівні їх фактичного видобутку у 2011 р. [6]. Ці обсяги за марками є: ДГ – 0,1007 млн т, Г – 7,485 млн т, ГЖ – 1,527 млн т, ГЖО – 0,252 млн т, Ж – 7,938 млн т, КЖ – 0,05 млн т, К – 6,1133 млн т, КП – 0,396 млн т, КС – 0,638 млн т, ПС – 2,275 млн т, КСН – 0,017 млн т, СС – 1,236 млн т, П – 0,328 млн т, А – 0,177 млн т. При розрахунках, сукупне споживання енергетичного вугілля становило 38,8 млн т, що відповідає потребам теплової генерації у вугіллі енергетичних марок. Обмеження власного видобутку коксівних марок вугілля спричинило дефіцит цих марок для технологій металургійного комплексу, загальна потреба якого дорівнює 28,5 млн т, які розподілені у відповідності до пропорціонування за марочним складом шихти у різних технологіях. У результаті модельного розрахунку отримано результат, в якому потреба металургії у вугіллі задовольнялась за рахунок перенаправлення дефіцитних марок з обсягів енергетичного вугілля. Величина обсягів вугілля, що було перенаправлене з енергетики до металургії становило 3,326 млн т.

В іншому розрахунку власний видобуток вугілля енергетичних марок обмежено на рівні споживання тепловою енергетикою – вугілля високолетючої групи на рівні 18,9 млн т, низьколетючої – 19,9 млн т, а також додано споживання енергетичного вугілля населенням та іншими споживачами, частка споживання якими у загальному обсязі споживання енергетичного вугілля становить, за даними експертів [7], 2 % та 4 % відповідно. Загальна потреба в енергетичному вугіллі забезпечується при цьому за рахунок перенаправлення вугілля марки Г в обсязі 2,713 млн т з металургійного комплексу.

### Висновки

1. Структура описаної моделі взаємодії теплових електростанцій (ТЕС) з вугільним та металургійним комплексами дозволяє виконувати поточне врахування швидкозмінної кон'юнктури цін, попиту та пропозиції на ринках вугільної продукції, а отже гнучко визнача-

Таблиця 1 — Результати розрахунків перенаправлення обсягів вугільної продукції за марками

Розрахунок	Вугілля за призначенням	Всього	ДГ	Г	ГЖ	ГЖО	Ж	КЖ	К	КП	КС	ПС	КСН	СС	П	А	
1.	Енергетика	38,8	—	19,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	18,9	
	Металургійний кокс	16,785	0,101	3,760	1,527	0,252	4,784	0,050	3,861	0,369	0,638	0,923	0,017	0,352	0,151	—	
	Кокс для ПВП	9,011	—	2,253	—	—	3,154	0,000	2,253	—	—	1,352	—	—	—	—	
	ПВП	2,710	0,000	1,473	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,883	0,177	—	
	Власний видобуток, всього	67,306	0,101	27,386	1,527	0,252	7,938	0,050	6,113	0,369	0,638	2,275	0,017	1,236	0,328	19,077	
	<b>Перенаправлення:</b>																
	Енергетика - Металургія	3,326	—	3,249	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,077
	Металургія - Енергетика	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Видобуток для металургії	25,108	0,101	4,237	1,527	0,252	7,938	0,050	6,113	0,369	0,638	2,275	0,017	1,236	0,328	0,100	
	Видобуток для енергетики	42,126	0,000	23,149	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	18,977
Імпорт	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Експорт	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
2.	Енергетика	41,513	—	22,613	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	18,900	
	Металургійний кокс	16,785	0,101	3,760	1,527	0,252	4,784	0,050	3,861	0,369	0,638	0,923	0,017	0,352	0,151	—	
	Кокс для ПВП	9,011	—	2,253	—	—	3,154	—	2,253	—	—	1,352	—	—	—	—	
	ПВП	2,710	—	1,473	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,883	0,177	—	
	Власний видобуток, всього	59,643	0,101	19,900	1,527	0,252	7,938	0,050	6,113	0,369	0,638	2,275	0,017	1,236	0,328	18,900	
	<b>Перенаправлення:</b>																
	Енергетика - Металургія	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Металургія - Енергетика	2,713	—	2,713	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Видобуток для металургії <sup>1</sup>	31,219	0,101	10,199	1,527	0,252	7,938	0,050	6,113	0,369	0,638	2,275	0,017	1,236	0,328	0,177	
	Видобуток для енергетики	38,8	—	19,900	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	18,900
Імпорт	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Експорт	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

1- у цьому рядку враховано запаси на складах металургійних підприємств у обсязі 10,376 млн. т, не відображені у таблиці; при цьому власний видобуток дорівнює 20,843 млн.т.

ти джерела та напрямки паливозабезпечення економіки вугіллям шляхом зміни структури графа асоційованої мережі постачання палива.

2. Розроблена оптимізаційна модель взаємодії ТЕС з вугільним та металургійним комплексами відрізняється від відомих моделей енергетичних балансів методом побудови, що базується на основі аналогій з поточковими моделями мережних систем. У галузі моделювання паливозабезпечення такий підхід виявляється продуктивним через поєднання засобів оптимізації та розрахунку цін, властивих багатопродуктовим моделям виробничого типу, з природним в задачах постачання енергоносіїв поточковим поданням структури та технологічних зв'язків системи.

3. Економіко-математичне моделювання багатопродуктової системи теплової енергетики та металургійного комплексу в класі моделей виробничого типу дозволяє виконати дослідження можливості заміщення видів палива при повному задоволенні потреб зазначених галузей шляхом виконання деталізованого аналізу системи з наданням техніко-економічних оцінок джерелам та шляхам надходження палива.

1. *Прогнозування оптимальної структури паливозабезпечення економіки України з урахуванням вимог енергетичної безпеки: звіт про НДР (за 1-й етап 2011 р.: Аналіз структури паливозабезпечення економік передових країн світу та України. Дослідження впливу факторів енергетичної безпеки країни на її структуру паливозабезпечення): Паливо // Інститут загальної енергетики НАН України; кер. Стогній О. В. – К.; 2011. – 60 с. – Викон.: Стогній О. В., Новицький І. Ю., Макаров В. М., Костюк В.О., Макортецький М.М., Перов М.О., Каплін М.І., Жуков О.П., Білан Т.Р., Шукало В.О. – бібліогр. С. 59–60. – ДР 0111U001189.*

2. *Стогній О.В., Каплін М.І.* Структурні особливості балансово-оптимізаційної

моделі паливозабезпечення країни // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. – 2011. – Спец. вип. Ч. 1. – С. 138–145.

3. *Новосельцев О.В., Каплін М.І.* Балансово-оптимізаційна модель взаємозв'язаних систем транспортування і розподілу паливно-енергетичних ресурсів в контексті загальноенергетичних балансів країни // Проблеми загальної енергетики. – 2009. – № 20. – С. 62–68.

4. *Костюк В.О., Каплін М.І., Загурський В.Г., Сидоренко В.П.* Структурна будова та розрахункові основи економіко-математичної моделі двомережної системи транспортування й розподілу енергетичних продуктів підприємства водопостачання і водовідведення // Проблеми загальної енергетики. – 2010. – Вип. 1(21). – С. 54–58.

5. *Каплін М.І., Костюк В.О., Сидоренко В.П.* Врахування балансово-енергетичних закономірностей в техніко-економічній моделі складнозамкненої гідравлічної мережі системи водопостачання // Проблеми загальної енергетики. – 2011. – Вип. 3(26). – С. 32–38.

6. *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> – Назва з екрану.

7. *Ливень О.* Бездефицитный год. Прогнозный баланс рынка энергетического угля в Украине в 2010 г. [Електронний ресурс] / UA Energy, 2012.

Режим доступу:

<http://www.uaenergy.com.ua/c225758200614cc9/0/79c9a03c47604fbfc22576ef00531f28> – Назва з екрану.

*Надійшла до редколегії: 10.10.2012 р.*