

SECTION 2. ECONOMICS OF INDUSTRIES

DOI: 10.46299/ISG.2023.MONO.ECON.2.2.1

2.1 Consideration of energy security factors in the economic-mathematical model of fuel supply

Необхідність врахування факторів енергетичної безпеки вже на етапі моделювання структури паливозабезпечення впливає з вимоги першочергового дотримання необхідних рівнів цих показників за будь-яких обставин, тобто тих чи інших значень можливих економічних критеріїв оптимальності. Фактори енергетичної безпеки мають бути виражені при моделюванні у вигляді системи обмежень, що визначають область допустимих значень змінних обсягів палив. Тільки у визначеній таким чином області можлива подальша оптимізація системи паливозабезпечення за критеріями економічної ефективності [35].

Дослідження впливу факторів енергетичної безпеки на структуру паливозабезпечення галузей національної економіки передбачає таку модифікацію економіко-математичної моделі паливозабезпечення, щоб розв'язки відповідної задачі оптимізації структури паливозабезпечення за видами палива автоматично задовольняли умови постачання паливних ресурсів, які задаються допустимими значеннями показників (індикаторів) енергетичної безпеки.

Визначення показника енергетичної безпеки в загальному вигляді можна подати формулою

$$\beta_k = f_k(x_1, x_2, x_3, \dots, x_{N_k}), \quad (1)$$

де β_k – змінна величина k -го показника енергетичної безпеки, яка, наприклад, у нормалізованому виразі, знаходиться в інтервалі [34, 35] і характеризує один із аспектів безпеки постачання енергоносіїв;

$x_i, i = \overline{1, N_k}$ – змінні параметри функціонування системи паливозабезпечення, що впливають на рівень безпеки постачання паливних ресурсів і від яких

безпосередньо залежить k -й показник енергетичної безпеки згідно з його специфічним визначенням.

$f_k(x_1, x_1, x_1, \dots, x_{N_k})$ – специфічна для кожного показника функція параметрів системи паливозабезпечення, що визначає k -й показник енергетичної безпеки і залежить від N_k параметрів.

З іншого боку, економіко-математична модель системи паливозабезпечення, що подається у вигляді абстрактної мережі і розв’язок якої дає оптимальну структуру обсягів постачання енергоносіїв та відповідну цим обсягам систему цін, записується у вигляді

$$Y_{i, \text{в}} + \sum_{r \in \Omega_{i, \text{вх}}} Y_{ir, \text{вх}} - Y_{i, \Sigma} = 0, i = 1, N_{\text{вуз}}; \quad (2)$$

$$g_i Y_{i, \Sigma} - \sum_{r \in \Omega_{i, \text{вх}}} Y_{ir, \text{вх}} = Y_{i, \text{с}}, i = 1, N_{\text{вуз}}; \quad (3)$$

$$-Y_{ir, \text{вх}} \Big|_{r \in \Omega_{i, \text{вх}}} + g_r Y_{kr, \text{вх}} \Big|_{r \in \Omega_{k, \text{вх}}} = 0, r = 1, N_{\text{лін}}, \quad (4)$$

$$\Theta_l(\{Y_{i, \text{в}}\}, \{Y_{ir, \text{вх}}\}, \{Y_{ir, \text{вх}}\}, \{Y_{i, \Sigma}\}) = 0, i = 1, N_{\text{вуз}}, l = 1, N_{\text{дп}}; \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^{N_{\text{вуз}}} C_i \cdot Y_{i, \text{с}} + \frac{1}{2} \sum_{i, r=1}^{N_{\text{вуз}}} C_{ir} \cdot Y_{ir, \text{вх}} \rightarrow \min; \quad (6)$$

де $Y_{i, \Sigma}$ – сумарний вхідний потік – надходження модельного паливного продукту, надалі продукту, у вузол i ;

$Y_{kr, \text{вх}}$ – вхідний потік продукту ребра r ; потік продукту в ребрі r є вихідним для вузла k ;

$Y_{ir, \text{вх}}$ – вихідний потік продукту ребра r ; в свою чергу, потік продукту в ребрі r є вхідним для вузла i ;

$Y_{i, \text{в}}$ – власний виробіток продукту у вузлі i ;

$Y_{i, \text{с}}$ – споживання продукту у вузлі i ;

$N_{\text{дп}}$ – кількість рівнянь допоміжної підсистеми;

$$g_i = 1 - \frac{\Delta Y_i}{Y_{i, \Sigma}}, \quad g_r = 1 - \frac{Y_{kr, \text{вх}} - Y_{ir, \text{вих}}}{Y_{kr, \text{вх}}} - \text{технологічні коефіцієнти техспособів}$$

вузла і ребра моделі виробничого типу мережі, відповідно.

Рівняння (2) і (3) описують баланси потоків вузла i , а (4) – баланс ребра r мережної системи у форматі запису моделі виробничого типу. Рівняння (5), що утворюють додаткову підсистему цієї моделі, являють собою фізично та/або технологічно обумовлені зв'язки на змінні, записані у формі співвідношень з нульовою правою частиною і позначаються в загальному вигляді $\Theta_l, l=1, N_{\text{дп}}$, де $N_{\text{дп}}$ – розмірність додаткової підсистеми.

Визначення показника енергетичної безпеки (1) породжує рівняння для допустимої області в множині параметрів функціонування системи паливозабезпечення, від яких безпосередньо залежить цей показник:

$$\tilde{f}_k(x_1, x_2, x_3, \dots, x_{N_k}, \bar{\beta}_k) = 0. \quad (7)$$

В рівнянні (7) $\bar{\beta}_k$ – граничнодопустиме, порогове, наперед задане значення показника енергетичної безпеки, при перевищенні якого функціонування системи паливозабезпечення розглядається як таке, що містить загрозу енергетичної безпеки за показником k .

В свою чергу, параметри системи паливозабезпечення x_i , що входять до (7), як правило, можна виразити через змінні-продукти моделі паливозабезпечення Y_k :

$$x_i = \xi_i(\{Y_k\}, k = \overline{1, N_k}), i = N_{\text{неб}}, \quad (8)$$

де $N_{\text{неб}}$ – кількість параметрів функціонування системи паливозабезпечення від яких залежить вся множина показників енергетичної безпеки;

$\xi_i(\{Y_k\})$ – специфічна залежність параметра x_i показника енергетичної безпеки від змінних обсягів продуктів моделі паливозабезпечення.

Дописування співвідношень (7) та (8) до додаткової підсистеми моделі виробничого типу (5) забезпечує врахування показників енергетичної безпеки в модельних розрахунках оптимальної структури паливозабезпечення.

SOCIAL FACTORS OF ECONOMIC GROWTH, ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF TOURISM AND MANAGEMENT

Пояснимо викладене на прикладі показника енергетичної безпеки «частка імпорту з одного джерела». Нехай в деякій системі показників він має індекс k . Цей показник виражається максимальним значенням відношення обсягу імпортування продукту з джерела i до сукупного обсягу імпорту, тобто у даному випадку:

$$\beta_k = \max_i \frac{Q_i}{Q_{i,m,\Sigma}}, \quad (9)$$

Граничне значення даного показника у відсотковому виразі згідно Мметодикою розрахунку рівня економічної безпеки України [36] не повинно перевищувати 30%, тобто $\bar{\beta}_k = 0,3$.

Врахування (3.20) в моделі (2) — (6) вимагає розрахувати значення $\frac{Q_i}{Q_{i,m,\Sigma}}$

для всіх джерел імпорту через обсяги потоків продуктів моделі Y_i і обмежити їх значення величиною $\bar{\beta}_k$. У формулі (9) згідно з позначеннями (7) $x_1 = Q_i$; $x_2 = Q_{i,m,\Sigma}$, тобто змінний параметр функціонування системи паливозабезпечення x_1 співпадає з обсягом імпортування продукту із джерела імпорту i , як змінною продукту моделі. Очевидно, що цей параметр обов'язково є змінною величиною оптимізаційної задачі (2) — (6) і входить до одного з її балансових рівнянь. Якщо розглядати імпорт як альтернативний варіант виробітку, то цим рівнянням буде одне з рівнянь (2). Тобто для змінної x_1 , від якої залежить значення показника «частка імпорту з одного джерела» $x_1 = Y_m = Q_i$ і тут ми вважаємо що в загальній системі балансових рівнянь моделі індекс продукту імпорт з джерела i є m .

Параметр x_2 являє собою суму обсягів імпортування зі всіх джерел імпорту і не обов'язково є змінною-продуктом моделі, наприклад достатньо деталізованої із диференційованим врахуванням джерел імпорту. У цьому випадку він має бути виражений через ці змінні. Якщо вважати, що всі обсяги

імпорту із окремих джерел є продуктами, тобто для кожного i знайдеться таке s , що $Q_i = Y_s$, то

$$x_2 = \sum_{s=1}^{N_{\partial i}} Y_s, \quad (10)$$

де $N_{\partial i}$ – число джерел імпорту моделі.

Це співвідношення є формулою зв'язку між параметрами показників енергетичної безпеки та змінними-продуктами моделі, записаною для показника «частка імпорту з одного джерела», причому в даному випадку

$$\xi_i(\{Y_k\}) = \sum_{s=1}^{N_{\partial i}} Y_s. \quad (11)$$

Остаточно, для врахування розглядуваного показника енергетичної безпеки в моделі паливозабезпечення, її додаткова підсистема має бути доповнена рівняннями

$$\sum_{s=1}^{N_{\partial i}} Y_s - x_2 = 0; \quad (12)$$

$$Y_s - 0,3 \cdot x_2 + e_s = 0, s = \overline{1, N_{\partial i}}, \quad (13)$$

де e_s – вирівнювальні змінні з нульовим коефіцієнтом в цільовій функції, які дають можливість показнику безпеки набувати значень в допустимому інтервалі $[0, \bar{\beta}_k]$ (в даному випадку [34, 34,37]) в залежності від інших умов, та коефіцієнтів цільової функції моделі.

Опишемо далі необхідне для врахування згаданих показників енергетичної безпеки розширення моделі в термінах її конструктивних елементів. До переліку продуктів моделі додається два продукти – основний продукт «сумарний обсяг імпортованого вугілля», а також допоміжний фіктивний, що містить частки підсумовуваних обсягів від окремих джерел імпорту. Виріток продукту «сумарний обсяг імпортованого вугілля» здійснюється групою технологічних способів, в кожному з яких споживається весь обсяг вугілля, імпортованого з окремого джерела, і виробляється відповідна цьому обсягу частка сумарного

обсягу вугілля. Кількість таких техспособів дорівнює кількості джерел імпорту і кожен з них виробляє один і той самий фіктивний модельний продукт, який можна назвати «проміжний продукт підсумовування», або «продукт перетворення окремого продукту в сумарний». Розрахунок сумарного обсягу імпорту здійснюється у ще одному, наступному техспособі, де всі частки «проміжного продукту підсумовування», що відповідають окремим джерелам, споживаються, а основний продукт моделі – «сумарний обсяг імпортованого вугілля» – виробляється. Така група $(N_{di}+1)$ технологічних способів називається підсумовувальною конструкцією. У даному випадку продуктом всієї підсумовувальної конструкції є «сумарний обсяг імпортованого вугілля», як похідна від первинних продуктів моделі величина, яка і є необхідним параметром показника енергетичної безпеки. В таблиці 3.1, яка подає модельні конструкції, що забезпечують врахування показника енергетичної безпеки «частка імпорту з одного джерела», підсумовувальна конструкція утворюється рядками 1–6 зображеного в таблиці фрагмента набору даних моделі.

Рядки 6–11 вміщують розподільну конструкцію, яка здійснює розподілення сумарного обсягу імпортованого вугілля між чотирма змінними обсягами продуктів, які далі, наприклад, можуть споживатися в правій частині системи рівнянь балансу в обсягах $v_1, \dots, v_4$ – стовпчик ПЧ у табл. 1. Якщо модель не передбачає безпосереднього споживання продуктів розподільної конструкції в заданих обсягах $(v_1, \dots, v_4)$, існує можливість узгоджено перерозподілити ці обсяги, або пов'язати їх з величинами обсягів інших продуктів. Ця можливість забезпечується допоміжною підсистемою рівнянь моделі виробничого типу, приклад якої дається рядками 12–15 та 16–19 набору даних, наведеного в таблиці 1. В силу рівнянь рядків 12–15 встановлюється рівність обсягів продуктів розподільної конструкції відповідним обсягам підсумовувальної конструкції, використаної для утворення нового модельного продукту – «сумарного обсягу імпортованого вугілля», як необхідного для подальшого використання в моделі параметра показника енергетичної безпеки.

SOCIAL FACTORS OF ECONOMIC GROWTH, ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF TOURISM AND MANAGEMENT

Таблиця 1.

Модельні конструкції для врахування показника енергетичної безпеки
«частка імпорту з одного джерела»

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	ПЧ
1	...	-1															
2	...			-1													
3	...		-1														
4	...				-1												
5		1	1	1	1	-1											
6						1	...	-1	-1	-1	-1						
7								1									v_1
8										1							v_2
9									1								v_3
10											1	...					v_4
11							...										
12			1					-1									0
13		1								-1							0
14					1				-1								0
15				1							-1						0
16						0.3		-1				-1					0
17						0.3			-1				-1				0
18						0.3				-1				-1			0
19						0.3					-1				-1		0
20						X_{max}											0
21						X_{Σ}											0
22						X_{min}											0

Умова рівності обсягів розподільної конструкції обсягам підсумовувальної може накладатися з міркувань подальшого диференційованого використання в моделі продуктів імпорту з окремих джерел із збереженням первинних обсягів їх надходження. Особливого значення ця умова набуває тоді, коли йдеться про так звані виділені ланцюги постачання палива, які можуть мати місце в замкнених вертикально інтегрованих економічних структурах, переважно приватних, але обсяги паливозабезпечення яких з необхідністю мають бути враховані в показниках загальнодержавного значення, таких як показники енергетичної безпеки. Рівняння рядків 16–19 пов’язують сумарний обсяг імпорту із обсягами імпорту з окремого джерела і забезпечують порогове значення показника енергетичної безпеки «частка імпорту з одного джерела» на рівні 30%.

Коефіцієнти $+1$ у стовпчиках 12–15 цих рядків є коефіцієнтами при ослаблювальних змінних, які перетворюють вихідні умови у вигляді нерівностей в рівняння. Коли значення ослаблювальної змінної в деякому оптимальному розв'язку моделі стає рівним нулеві, згаданий показник енергетичної безпеки досягає свого порогового рівня за обсягом імпорту з відповідного джерела. Таким чином, послідовне застосування підсумовувальної і розподільної конструкцій моделі виробничого типу, разом із зв'язуванням необхідних змінних допоміжною системою рівнянь пропорціонування дають можливість виключно модельними засобами сформулювати показники енергетичної безпеки в межах моделі виробничого типу, а також забезпечити знаходження їх значень у попередньо заданих допустимих інтервалах.

Розглянемо тепер засоби автоматизації врахування показників енергетичної безпеки в наборах даних моделі паливозабезпечення. В основі її структури лежить поняття технологічного способу Канторовича, що забезпечує можливість безпосереднього розрахунку цін на продукти за відомого оптимального розв'язку. Разом з цим, специфічною властивістю даної моделі є побудова техспособів Канторовича для абстрактної мережі, умови матеріального балансу якої співпадають з умовами балансу продуктів реальної системи паливозабезпечення. Зокрема, систему рівнянь (2) — (6) записано для мережі, що опосередковує систему паливозабезпечення в економіко-математичній моделі виробничого типу.

Важливою для подальшого перевагою мережної аналогії в моделюванні є регулярна структура мережі, яку звичайно описують в термінах теорії графів. Саме наявність регулярної структури дозволяє автоматизувати процес побудови технологічної матриці моделі виробничого типу за допомогою алгоритмів, що використовують запропоновані математичні моделі елементів графа мережі – ребра і лінії, для побудови техспособів Канторовича вказаних елементарних складових графа мережі. Утворена за допомогою цих алгоритмів технологічна матриця автоматично містить структурно вірні баланси відповідних продуктів у

кожному рівнянні системи обмежень, а структура стовпчиків відповідає визначенню техспособу за Канторовичем.

Розглянемо послідовність врахування показника енергетичної безпеки в термінах мережної абстракції системи паливозабезпечення. На рис. 1 обсяги імпортованого вугілля з окремих джерел зображено вузлами 1-4.

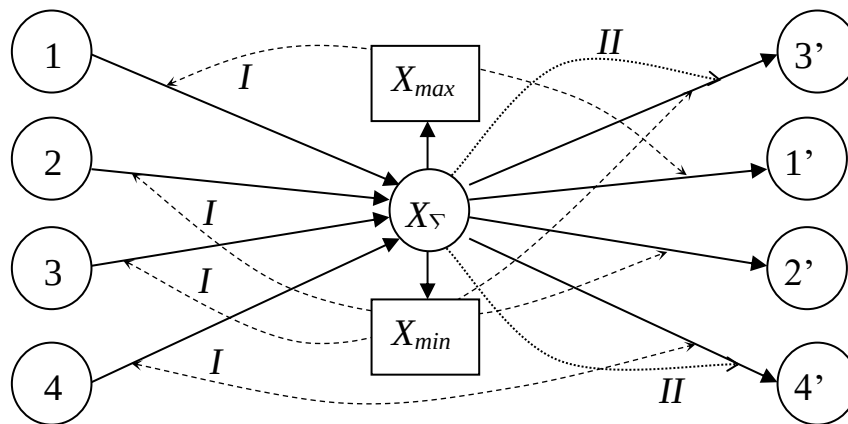


Рисунок 1. Підсумовувальна й розподільна конструкції моделі виробничого типу в мережному поданні системи паливозабезпечення

Підсумовувальна конструкція, необхідна для додавання в модель продукту «сумарний обсяг імпортованого вугілля» утворюється вміщенням до графа абстрактної мережі нового вузла, позначеного на рис. 1 через X_{Σ} , а також чотирьох ребер, які забезпечують надходження в цей вузол потоків з вузлів окремих джерел. Власне процедура підсумовування обсягів, як така, виконується в межах конструктивного елемента вузла, і відображена в рівняннях вузла (2) і (3). Розподільна конструкція використовує спільно математичні моделі вузла і лінії.

Далі, для забезпечення рівності підсумовуваних обсягів розподілюваним в моделі використано додаткові рівняння зв'язування обсягів. Ці рівняння належать до допоміжної підсистеми рівнянь моделі виробничого типу, а в мережному поданні моделі вони означають рівність вхідних і вихідних потоків продукту у відповідних лініях мережі. На рис. 1 умови рівності цих потоків позначені пунктирними кривими I . Умова неперевищення порогового значення

розглядуваного показника енергетичної безпеки виконується в моделі шляхом зв'язування утвореного сумарного обсягу імпортованого вугілля з обсягами імпорту з окремих джерел у пропорції менше 0,3. В мережному поданні моделі ця умова виражається для обсягів імпорту з кожного джерела рівнянням небалансу порогової частки обсягу продукту у вузлі підсумовування і відповідного вихідного потоку. Небаланс враховується ослаблювальними змінними. Це зв'язування сумарного потоку вузла і окремих вихідних потоків ліній позначено пунктирними кривими II на рис. 1.

Запропонований новий підхід до врахування обсягових факторів енергетичної безпеки, в якому фактори безпеки подаються у вигляді функціональних обмежень економіко-математичної моделі паливозабезпечення, дозволяє отримати збалансовані обсяги постачання палив при заданих рівнях факторів енергетичної безпеки вже на етапі розрахунків оптимальних потокорозподілень палив.