

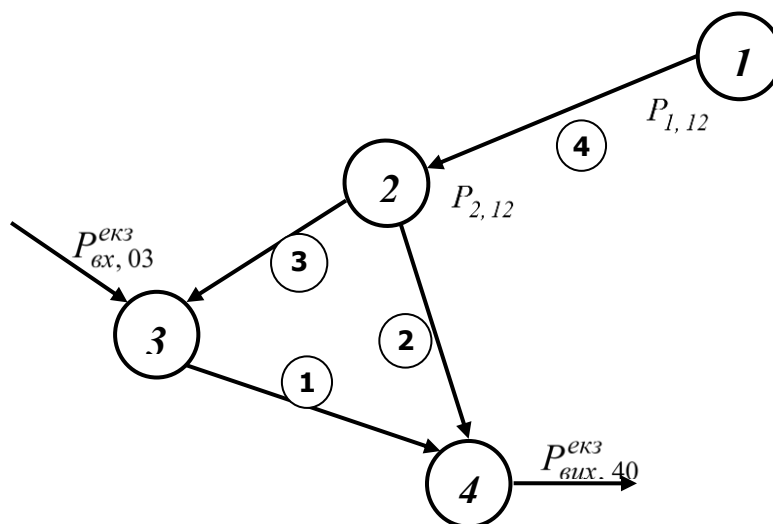
SECTION 3. ENERGY

DOI: 10.46299/ISG.2025.MONO.TECH.2.3.1

3.1 Method of mapping the topology of interconnected networks into the structure of the technological matrix of the production-type model

Колективні проекти паливозабезпечення передбачають розгляд системи паливозабезпечення як системи виробництв з видобутку паливних продуктів, їх перетворення та транспортування [102-119]. Вказані об'єкти є взаємозалежними елементами системи, створення яких слід розглядати як процес у часовому аспекті, що передбачає аналіз варіантів у економічному та безпековому аспектах протягом всього періоду функціонування. Ці положення окреслюють вимоги до моделей системи паливозабезпечення, які відповідають наявним викликам економічної та енергетичної безпеки.

Розглянемо мережу системи вироблення, транспортування-розподілу, споживання паливного продукту – вугілля, природного газу, нафти тощо, фрагмент графа якої зображено на мал. 1.



Малюнок 1. Граф мережі

Граф мережі складається з вузлів та ребер. Вважаємо поточкорозподіл мережі визначеним, якщо для вузлів задаються величини вироблення, P_{θ} , споживання, P_c , вхідний та вихідний зовнішні, екзогенні потоки продукту, $P_{ex,0i}^{екз}$ і $P_{вих,i0}^{екз}$

відповідно, табл. 1, для ребер – напрямок потоку продукту і його величини на початку — $P_{ij,i}$ та в кінці ребра — $P_{ij,j}$, на мал. 1 — $P_{12,1}$ і $P_{12,2}$, відповідно.

Таблиця 1.

Вузли мережі

Вузол	Тип вузла	P_{ϕ}	P_c	$P_{\phi,0i}^{екз}$	$P_{\phi,0i}^{екз}$
1	Вироблення	$P_{\phi,1}$	0	0	0
2	Споживання	0	$P_{c,2}$	0	0
3	Споживання	0	$P_{c,3}$	$P_{\phi,03}^{екз}$	0
4	Споживання	0	$P_{c,4}$		$P_{\phi,40}^{екз}$

Параметри поточкорозподілу задовольняють систему рівнянь балансу потоків продукту у вузлах мережі

$$\sum_{i'} P_{i'j,j} - \sum_{i''} P_{i''j,j} = (P_{c,j} - P_{\phi,j}) - \left(\sum_{k'} P_{\phi,k'j}^{екз} - \sum_{k''} P_{\phi,jk''}^{екз} \right), \quad j = \overline{1, N} \quad (1)$$

де індекси i' та i'' належать до множин вхідних та вихідних потоків вузла j , а k' і k'' – вхідних та вихідних екзогенних потоків, відповідно.

Записи правих частин рівнянь (1) для прикладу графа мережі на мал. 1 подані в табл. 2.

Таблиця 2.

Права частина системи рівнянь балансу продуктів у вузлах

Вузол	Права частина (RHS)
1	$-P_{\phi,1}$
2	$P_{c,2}$
3	$P_{c,3} - P_{\phi,03}^{екз}$
4	$P_{c,4} + P_{\phi,40}^{екз}$

Модель виробничого типу [120] системи паливозабезпечення, потокова модель якої подана на рис. 1, будується шляхом 1) визначення множини її продуктів через змінні потокової моделі і 2) зв'язування обсягів продуктів технологічними коефіцієнтами витрат і втрат.

Продуктами, що виробляються в моделі виробничого типу системи паливозабезпечення, яка подається графом потокової моделі, зображеної на

мал. 1, будемо вважати

1) загальне надходження палива у вузол – алгебраїчну суму обсягів власного виробітку вузла, вхідних потоків з приєднаних ребер та вхідних екзогенних потоків

$$X_j^+ = P_{в,j} + \sum_{i'} P_{вх,i'j} + \sum_{k'} P_{вх,k'j}^{екз}; \quad (2)$$

2) загальний вихідний потік вузла – алгебраїчну суму обсягів споживання, вихідних потоків в приєднані ребра та вихідних екзогенних потоків

$$X_j^- = P_{с,j} + \sum_{i''} P_{вих,i''j} + \sum_{k''} P_{вих,k''j}^{екз}; \quad (3)$$

3) вхідний потік палива ребра

$$Y_{i'}^+ = P_{вх,i'j}; \quad (4)$$

4) вихідний потік палива ребра

$$Y_{i''}^- = P_{вих,i''j}; \quad (5)$$

Тоді технологічні коефіцієнти, що за змістом є коефіцієнтами втрат та витрат продуктів у технологічному способі, природно визначити наступним чином. Технологічний коефіцієнт ребра k , з початком у вузлі i і кінцем у вузлі j дорівнює відносним втратам продукту в ребрі k :

$$g_{lm} = \frac{P_{вих,ij} - P_{вх,ij}}{P_{вх,ij}}, \quad (6)$$

де індекси l та m вказують позицію технологічного коефіцієнта вироблення основного продукту ребра k в технологічній матриці моделі.

Аналогічно технологічним коефіцієнтом вузла j є відносні внутрішні втрати продукту в вузлі:

$$g_{lm} = \frac{\left(P_{в,j} + \sum_{k'} P_{вх,k'j}^{екз} \right) + \sum_{i'} P_{вх,i'j} - \left(P_{с,j} + \sum_{k''} P_{вих,k''j}^{екз} \right) - \sum_{i''} P_{вих,i''j}}{\left(P_{в,j} + \sum_{k'} P_{вх,k'j}^{екз} \right) + \sum_{i'} P_{вх,i'j}}. \quad (7)$$

Технологічна підсистема моделі виробничого типу утворюється шляхом подання балансових рівнянь (1) потокової моделі у змінних продуктів (2) — (5)

із врахуванням технологічних коефіцієнтів ребра та вузла – (6) і (7), відповідно.

Опишемо структуру технологічної матриці моделі виробничого типу, що відповідає даним вище визначенням основних продуктів техспособів. Вузол мережі представлено в технологічній матриці групою технологічних способів, табл. 3. Перший техспосіб групи забезпечує внутрішнє вироблення вузла та надходження вхідного екзогенного потоку, наприклад техспосіб 1 у групі вузла 1. Далі група вузла вміщує послідовність техспособів надходження у вузол потоків приєднаних ребер, наприклад техспособи записані у 2-му і 3-му стовпчиках групи вузла 4. Кількість таких техспособів дорівнює кількості ребер, потоки продукту в яких є вхідними для розглядуваного вузла. Останній техспосіб групи відповідає за вироблення повного потоку вузла із заданим технологічним коефіцієнтом втрат. Вказані техспособи кожної групи вузла разом утворюють підсумовувальну конструкцію для внутрішнього вироблення, екзогенного вхідного потоку та вхідних потоків приєднаних ребер. Вироблений у вузлі повний (сумарний) потік продукту розподіляється між техспособами ребер вихідних потоків з допомогою розподільних конструкцій. Далі вихідні потоки, вироблені в техспособах ребер, надходять у відповідні техспособи вузлів.

Таблиця 3.

Технологічна матриця моделі виробничого типу для графа мережі на рис. 1

Техспособи вузлів													Техспособи ребер				Права частина		
Вузол													Ребро						
													1	2	3	4			
Вузол	1	1	-1																0
	2		1	1	-1											-1	-1		0
	3				0,96														0
	4																		0
Ребро	1																		$P_{c,2}$
	2																		0
	3																		$P_{c,3}$
	4																		0
																			$P_{c,4} + P_{вих,40}^{екз}$
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0
																			0

Рівняння балансу потоків продукту у вузлі, згідно з порядком доданків за структурою моделі має вигляд:

$$(1 - g_{lm}) \cdot \left(\left(P_{e,j} + \sum_{k'} P_{ex,k'j}^{екз} \right) + \sum_{i'} P_{ex,i'j} \right) - \sum_{i''} P_{vix,ji'',j} - \sum_{k''} P_{vix,jk''}^{екз} = P_{c,j} \quad (8)$$

Структуру технологічної матриці моделі виробничого типу із врахуванням допоміжної підсистеми, що забезпечує різноманітні обмеження на інтенсивності технологічних способів виробітку описаних вище поточкових продуктів, подано в табл. 4.

Таблиця 4.

Структура технологічної матриці системи рівнянь балансу моделі
паливозабезпечення із врахуванням допоміжної підсистеми

<i>I. Техспособи вузлів</i>	<i>II. Техспособи ребер</i>
Блок I вироблення сумарного вихідного потоку вузла	Блок II розподілу вихідного потоку вузла та його споживання ребрами
Блок IV споживання вузлом вихідних потоків ребер	Блок III вироблення вихідних потоків ребер
Підсистема додаткових рівнянь моделі:	Блок V функціональних обмежень на змінні обсяги потоків палив

Необхідною умовою підтримки функціонально-здатної багатопродуктової моделі паливозабезпечення країни є забезпечення її властивості адаптуватися до наявного інформаційного забезпечення. Тому в розроблюваній моделі здійснено спробу запровадити гнучкі динамічні механізми зміни або 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 відповідає підсумовувальна конструкція вузла графа мережі постачання палива, що містить декілька вхідних потоків і один вихідний і навпаки, деталізації – вузол з переважно розподільною конструкцією, тобто одним вхідним потоком і

декількома вихідними. Перетворення множини вхідних продуктів в множину вихідних у загальному випадку здійснюється у вузлі загального вигляду з m вхідними та n вихідними потоками, де $m, n > 1$. Такі 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 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 конструктивних елементів вузла і лінії – елементів графа уявної мережі, що співставляється системі паливозабезпечення. Ці конструктивні елементи [121] містять техспособи власного виробітку вузла, техспособи надходження продуктів із суміжних вузлів, виробітку сумарного продукту вузла та його розподілу між приєднаними лініями.

Дотримання необхідних фіксованих співвідношень між обсягами продуктів забезпечується різними формами підсистем пропорціонування потокових змінних моделі 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.

З метою систематизації та визначення переліку продуктів моделі паливозабезпечення доцільно ввести поняття первинних палив, паливних продуктів та модельних паливних продуктів.

Модельний паливний продукт являє собою математичну абстракцію, що позначається парою імен — власне паливного продукту та технології його виробництва. Одному фізичному паливному продукту співставляється множина модельних паливних продуктів, що утворюються у всіх технологіях його виробництва.

Необхідність врахування економічно та технологічно виокремлених схем паливозабезпечення породжує вимогу запровадження в моделі однопроводових підсистем постачання паливних продуктів. Необхідність розгляду таких схем впливає з вимог:

- перелічити та поіменувати всіх споживачів кожного виду палива;
- виявити та виділити повні технологічні ланцюги кожного окремого виду палива від його виробітку до кінцевого споживання;
- виділити фізично однакові модельні паливні продукти, що відрізняються своїми повними технологічними ланцюгами через позаекономічні чинники — політичні, соціальні, інтереси приватного сектора економіки тощо.

Виходячи з цього видається доцільним будувати технологічний граф багатопроводової системи паливозабезпечення шляхом з'єднання елементарних технологічних ланцюгів паливних продуктів у вузлах виробітку, споживання або взаємного перетворення відповідних модельних продуктів.