

УДК 004.942:620.9

М.І. КАПЛІН, канд. техн. наук, ORCID: 0000-0001-9328-4257

Т.Р. БІЛАН, канд. техн. наук, ORCID: 0000-0002-0280-6716

В.М. МАКАРОВ, канд. техн. наук, ORCID: 0000-0003-1068-5923

М.О. ПЕРОВ, ORCID: 0000-0002-0654-5648

Інститут загальної енергетики НАН України, вул. Антоновича, 172, м. Київ, 03150, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ВАРТІСНОЇ ФОРМИ МОДЕЛІ МІЖПРОДУКТОВОГО БАЛАНСУ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ОБСЯГОВИХ І ЦІНОВИХ ПОКАЗНИКІВ РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИЧНОГО СЕКТОРА ТА ІНШИХ ГАЛУЗЕЙ ЕКОНОМІКИ КРАЇНИ

Досліджено можливості застосування макроекономічних показників розвитку економіки, зокрема валового внутрішнього продукту, до визначення обсягів випуску у натуральному виразі та рівноважних цін в умовах обмеженої інформації щодо прогнозів кінцевого споживання в енергетичному секторі та інших галузях економіки країни. Запропоновано структуру та формальне подання оптимізаційної моделі міжпродуктового балансу, що будується на основі таблиць «витрати-випуск», й призначена для аналізу змін обсягів і цін економічної системи лише за вартісними показниками її розвитку. Модель заснована на системі балансових рівнянь розподілу витрат в галузях економіки у вартісній формі. Для вирішення задач прогнозування міжпродуктового балансу за істотних змін структури валового внутрішнього продукту використано показники валової доданої вартості.

К л ю ч о в і с л о в а: паливно-енергетичний баланс, міжпродуктовий баланс, модель, оптимізація, прогнозування, валова додана вартість.

Сучасний етап розвитку ринкової економіки, трансформаційні перетворення, що продовжуються в Україні, мають складний і багатоаспектний характер: з одного боку, задекларовані економічні реформи просуваються досить складно, з іншого – уповільнення світової економічної динаміки внаслідок загострення кризових процесів висувають додаткові вимоги щодо протидії поширенню негативних тенденцій в країні та пошуку джерел економічної стабілізації [1].

Деформація і нестабільність регуляторів вітчизняної економіки як результат їхнього становлення в умовах не до кінця сформованої ринкової інфраструктури зумовили накопичення проблем макроструктурного характеру. Структурні зрушення, яких потребувала країна з набуттям незалежності як самостійного економічного утворення у системі міжнародного поділу праці, зазнали складнощів та спротиву в силу інертності перебігу більшої частини трансформаційних змін. Відлік основних еволюційних перетворень обмежувався переважанням розвитку паливно-енергетичного комплексу та продукуванням товарів із низьким ступенем пе-

реробки сировини. Як наслідок, єдиним позитивним елементом набуття конкурентних переваг на зовнішньому і внутрішньому ринках збуту стало формування економічної політики, що базується на використанні цінового фактора як тактичного інструмента боротьби за споживача.

Заниженість ціни робочої сили, її дешевизна робить неефективним використання високотехнологічної техніки замість робочої сили, унеможливує реформи в соціальній сфері, пов'язані з повнішим відображенням у зарплаті витрат на відтворення робочої сили. Занижені ціни на капітальні ресурси, індексація яких відбувається із запізненням, не дають підстав для визначення економічно обґрунтованої амортизації, що штучно зменшує інвестиційний потенціал підприємств, котрий служить для нарощення обсягів виробництва. Завищені відсоткові ставки з огляду на високі ризики, невизначеність економічної і політичної ситуації в рамках середньо- і довгострокового часового горизонту та невисока питома вага пропозиції тимчасово вільних фінансових ресурсів терміном від трьох і більше років не дають змогу широко використовувати кредитні кошти для забезпечення інвестування

© М.І. КАПЛІН, Т.Р. БІЛАН, В.М. МАКАРОВ, М.О. ПЕРОВ, 2020

у розвиток стратегічних об'єктів, спроможних стати базисом економічного зростання в Україні.

Деформація цінової системи через завищення цін на енергетичні ресурси, сировину і матеріали призвела до необґрунтованого здорожчання продукції, що виробляється з цих ресурсів, зниження її конкурентоспроможності на внутрішньому і зовнішньому ринках збуту, зменшення попиту на неї та, як наслідок, її випуску. Зазначені фактори зумовили зростання питомої ваги проміжного споживання у структурі випуску і є одними з головних причин низької рентабельності виробництва, кризи збуту та нарощення заборгованостей між вітчизняними підприємствами. Такий негативний процес постійно поглиблюється через повільне просування впровадження заходів з енергозбереження і відповідне фінансове стимулювання змін у структурі виробничих витрат.

Сповільнення промислової динаміки, яке спостерігається починаючи з другої половини 2012 р., негативно позначається на темпах економічного зростання України. Падіння обсягів виробництва, криза збуту та початок нарощення неплатежів, збитковість і низька рентабельність, зростання заборгованостей між підприємствами – все це наслідки однієї причини – недооцінки ролі балансу між попитом і пропозицією в економіці. Нагальною проблемою сучасного розвитку економіки країни є її поступова лібералізація, спрямована на врівноваження балансу між попитом і пропозицією. Встановлення такої рівноваги можливе лише за умови реалізації комплексу заходів, центральне місце серед яких посідає пошук внутрішніх джерел покращення макроструктурних індикаторів зростання за рахунок використання новітніх технологій з метою сприяння енергозбереженню, зниження матеріаломісткості та підвищення якості продукції вітчизняного виробництва. З огляду на нестабільність та неоднорідність розвитку як усередині країни, так і за її межами, для розв'язання поставленого завдання необхідно розробити і скоригувати економічну політику, при оцінці наслідків реалізації якої особливе місце займає прогнозування.

У цьому контексті метою статті є дослідження можливості застосування макроекономічних показників розвитку економіки до вирішення задачі визначення обсягів випуску у натуральному виразі, а також рівноважних цін в умовах обмеженої інформації щодо прогнозів кінцевого споживання, розробка оптимізаційної моделі міжпродуктового балансу, призначеної для аналізу змін обсягів і цін економічної системи лише за вартісними показниками її розвитку, зокрема структурою та обсягами валової доданої вартості.

Невизначеність поведінки суб'єктів господарювання, що у підсумку призводить до порушен-

ня поточної рівноваги, є характерною ознакою сучасної вітчизняної економіки, розвиток якої відбувається під дією кризових явищ внутрішнього і зовнішнього походження. Враховуючи особливості формування державної політики щодо регулювання розвитку промисловості України у нестабільних умовах господарювання, необхідно створити науково обґрунтований підхід до побудови прогнозу макроекономічних показників, які повною мірою характеризують не тільки попит, але й пропозицію вироблених товарів і послуг. Одним із таких показників за методологією системи національних рахунків є *валова додана вартість*.

Валова додана вартість, разом з кінцевим попитом на продукти галузей економіки, є ключовими показниками моделей міжпродуктового балансу, розробленими на основі класичної моделі В.В. Леонт'єва, побудованої на основі статистичних таблиць «витрати – випуск» [2–7]. Запропонований нижче оптимізаційний підхід до вирішення задачі визначення взаємоузгоджених змін обсягів випуску та рівноважних цін базується на балансових співвідношеннях цієї моделі, що подають розподіл випусків продуктів (1), а також витрат у галузях (2):

$$\bar{X}_i = (\bar{X}_{i1} + \bar{X}_{i2} + \dots + \bar{X}_{ij} + \dots + \bar{X}_{in}) + C_i = 0, \quad (1)$$

$$\bar{Z}_j = (\bar{X}_{1j} + \bar{X}_{2j} + \dots + \bar{X}_{ij} + \dots + \bar{X}_{nj}) + D_j = 0, \quad (2)$$

за умов рівності випусків і витрат у кожній галузі (3), а також загальної суми кінцевого попиту та загальної доданої вартості (4)

$$\bar{X}_k = \sum_{j=1}^n \bar{X}_{kj} + C_k = \bar{Z}_l = \sum_{i=1}^n \bar{X}_{il} + D_l,$$

$$k, l = \overline{1, n}; k = l, \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n C_i = \sum_{j=1}^n D_j. \quad (4)$$

Визначення коефіцієнтів прямих витрат за формулою

$$a_{ij} = \bar{X}_{ij} / \bar{X}_j, \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

та врахування (3) подає баланси (1) і (2) у вигляді

$$\bar{X}_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} \bar{X}_j + C_i, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (6)$$

$$\bar{X}_j = \sum_{i=1}^n a_{ij} \bar{X}_i + D_j, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (7)$$

Врахування у (6) і (7) очевидних співвідношень

$$\bar{X}_i \equiv \sum_{j=1}^n \delta_{ij} \bar{X}_j, \quad (8)$$

$$\bar{X}_j \equiv \sum_{i=1}^n \delta_{ij} \bar{X}_i \quad (9)$$

дає класичну форму балансів випусків (10) і витрат (11) в моделі міжпродуктового балансу

$$\sum_{j=1}^n (\delta_{ij} - a_{ij}) \bar{X}_j = C_i, \quad i=1, 2, \dots, n, \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^n (\delta_{ij} - a_{ij}) \bar{X}_i = D_j, \quad j=1, 2, \dots, n, \quad (11)$$

або

$$\sum_{j=1}^n g_{ij} \cdot \bar{X}_j = C_i, \quad i=1, 2, \dots, n, \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^n g_{ij} \cdot \bar{X}_i = D_j, \quad j=1, 2, \dots, n, \quad (13)$$

де

$$g_{ij} = (\delta_{ij} - a_{ij}), \quad i, j=1, 2, \dots, n \quad (14)$$

є технологічними коефіцієнтами матриці міжпродуктового балансу у вартісному виразі, а їх множина у стовпчику j утворює технологічний спосіб G_j цієї матриці. Оптимізаційна модель міжпродуктового балансу отримується внаслідок розгляду галузі j як множини M_j виробників, що випускають один і той самий продукт j (продукт галузі j) із сукупним обсягом

$$\bar{X}_j \equiv \sum_{k_j=1}^{M_j} X_{k_j} \quad (15)$$

і, в загальному випадку, різними питомими витратами H_{k_j} на виробництво одиниці його вартості.

Тоді критерієм моделі є сумарні за виробниками галузей (технологічними способами) і галузями витрати на випуск продуктів (15)

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k_j=1}^{M_j} H_{k_j} X_{k_j} \rightarrow \min, \quad (16)$$

а обсяги випуску виробників мають задовольняти умову створення заданої величини сукупної в галузі j доданої вартості D_j :

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k_j=1}^{M_j} g_{ik_j} \cdot X_{k_j} = D_j, \quad j=1, 2, \dots, n, \quad (17)$$

або із врахуванням (14)

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k_j=1}^{M_j} (\delta_{ik_j} - a_{ik_j}) \cdot X_{k_j} = D_j, \quad j=1, 2, \dots, n. \quad (18)$$

Разом з тим, зміна структури споживання в секторах економіки внаслідок різних темпів розвитку окремих галузей, що визначається прогноною структурою валової доданої вартості, призводить до необхідності визначення й дифе-

ренційованого врахування кінцевого споживання цих галузей в рівняннях балансу (10). Для вирішення цієї задачі доцільно створити модельну структуру підсистеми кінцевого попиту, яка використовує у якості змінних деталізовані за галузями та/або виробниками обсяги кінцевого споживання й забезпечує їх подальше застосування в інших балансових співвідношеннях моделі. Основною властивістю цієї структури є можливість використання додаткової підсистеми рівнянь для пов'язування змінного обсягу кінцевого споживання зі змінними випусками, що фігурують у балансових співвідношеннях (17), (18).

Для побудови структури рівнянь балансу підсистеми кінцевого споживання із змінним обсягом потреби доцільно використати мережне подання моделі виробничого типу [8–12], в якому виробники/галузі подаються вузлом орієнтованого графа з множинами дуг вхідних і вихідних потоків продуктів. Умови балансу продуктів для такого вузла мають вигляд:

$$g_{i,e} \cdot X_{i,e} + \sum_{r \in \Omega_{i,ex}} X_{ir,ex}^e - X_{i,\Sigma} = 0, \quad (19)$$

$$g_i \cdot X_{i,\Sigma} - \sum_{r \in \Omega_{i,aux}} X_{kr,ex}^n = Y_{i,c}, \quad (20)$$

$$- X_{ir,aux}^n \Big|_{r \in \Omega_{i,ex}} + g_r X_{kr,ex}^n \Big|_{r \in \Omega_{i,ex}} = 0, \quad (21)$$

$$X_{ir,ex}^e - X_{it,ex}^e = 0 \Big|_{r,t \in \Omega_{i,ex}, r \neq t}, \quad (22)$$

$$X_{ir,ex}^n - X_{ir,ex}^n = 0 \Big|_{r,t \in \Omega_{i,aux}, r \neq t}, \quad (23)$$

$$X_{ir,ex}^e \equiv X_{ir,aux}^n, \quad (24)$$

$$X_{kr,ex}^n \equiv X_{kr,aux}^e, \quad (25)$$

де $g_{i,e}$ – технологічний коефіцієнт моделі виробничого типу в технологічному способі власного виробітку потокового продукту вузла i ; g_i, g_r – технологічні коефіцієнти виробітку вихідних потоків вузла i і лінії r , відповідно; $Y_{i,c}$ – фіксований обсяг кінцевого споживання продукту у вузлі i ; $X_{i,e}, X_{i,\Sigma}$ – змінні обсяги потокових продуктів (інтенсивності технологічних способів) власного виробітку та сумарного вхідного потоку вузла i , відповідно; $X_{ir,ex}^e, X_{kr,ex}^n, X_{ir,aux}^n$ – інтенсивності технологічних способів вхідних і вихідних потоків лінії r , відповідно.

Рівняння (19) у цій системі умов описує баланс обсягу власного виробітку потокового продукту вузла, суми змінних обсягів продуктових потоків його вхідних ліній та змінного обсягу сумарного надходження потокового продукту, що підлягає перетворенню у вузлі. Натомість рівняння (20) подає умову балансу обсягу перетвореного у вузлі потокового продукту, суми обсягів цього продук-

ту у вихідних лініях вузла та фіксованого обсягу його кінцевого споживання. Нарешті, рівняння (21) пов'язує обсяг вхідного у вузол потоку енергоносія з обсягом вихідного потоку іншого вузла через коефіцієнт витрат і витрат лінії, що з'єднує ці вузли. У випадку вузла кінцевого споживання обсяг власного виробітку потокового продукту вузла, а також сума обсягів цього продукту у його вихідних дугах завжди дорівнюють нулеві. Тоді визначення з рівняння (20) обсягу сумарного надходження $X_{i,\Sigma}$ і врахування його в (19) дає наступну умову балансу

$$-\frac{1}{g_i} \cdot Y_{i,кк} + \sum_{r \in \Omega_{i,ex}} X_{ir,ex}^e = 0. \quad (26)$$

Умова (26) може бути представлена в еквівалентній формі парою рівнянь, структурно подібних до (19) і (20), що дозволяє записати підсистему умов балансу вузла із змінним обсягом кінцевого споживання в загальному вигляді:

$$-\frac{1}{g_i} \cdot \tilde{Y}_{i,кк} + \sum_{r \in \Omega_{i,ex}} X_{ir,ex}^e - X_{i,\Sigma} = 0, \quad (27)$$

$$1 \cdot X_{i,\Sigma} - \sum_{r \in \Omega_{i,aux}} X_{kr,ex}^n = 0, \quad (28)$$

$$- X_{ir,aux}^n \Big|_{r \in \Omega_{i,ex}} + g_r X_{kr,ex}^n \Big|_{r \in \Omega_{i,ex}} = 0. \quad (29)$$

Рівняння (27)–(29) фактично демонструють спосіб структурованого подання продуктового балансу, або балансу випусків (10) моделі Леонтьєва у випадку мережного представлення технологічних зв'язків досліджуваної економічної системи.

Разом з цим, система умов-обмежень оптимізаційної моделі міжгалузевого балансу, що використовує макроекономічні показники, зокрема валову додану вартість, також отримується з таблиць міжгалузевого балансу «витрати-випуск», які використовувалися В.В. Леонтьєвим для побудови загальновідомої моделі аналізу та прогнозування структури економіки [3–5]. Стовпчики цієї таблиці показують розподіл витрат в економічній системі, який може бути записаний у вигляді рівнянь (2), (7) або (13). Зокрема, співвідношення (2) подає умову рівності загальних витрат галузі j \bar{X}_j сумі витрат продуктів всіх галузей \bar{X}_{ij} , $j = 1, N$ у цій галузі та її доданої вартості D_j , за умов рівності випусків і витрат у кожній галузі (3), а також рівності суми кінцевого споживання продуктів загальної доданої вартості галузей (4). Очевидно, що рівняння (1) і (2) можуть мати сенс одночасно тільки у випадку, якщо величини випусків і витрат, представлені в цих рівняннях, виражено в однакових одиницях виміру, наприклад, якщо орієнтуватися на праву частину рівняння (2) – у вартісних одиницях.

Водночас, формулювання обмежень на обсяги продуктів виробників, аналіз рівнів енергетичної безпеки та деякі інші аспекти моделювання енергетичних, і взагалі – продуктових балансів, можуть бути забезпечені лише за умови задання обсягів у природних одиницях виміру. Очевидно, що коректне вирішення цієї проблеми, ґрунтовно висвітлене, зокрема, в [2, 7], має з необхідністю використовувати поняття рівноважних цін

$$p_i = \frac{\bar{X}_i}{x_i}, \quad i = 1, n, \quad (30)$$

де x_i – змінний сумарний обсяг продукту i , що створюється всіма виробниками галузі, виражений у фізичних одиницях виміру, p_i – фактична рівноважна ціна на цей продукт, що встановлюється в економіці внаслідок дії різноманітних чинників. Очевидно, що таблиці витрати–випуск, та побудовані на їх основі моделі для розрахункового аналізу обсягів випуску й цін за змін кінцевого попиту, або доданої вартості, не містять жодних додаткових умов на ціни, які дозволяють розглядати їх як рівноважні. Тому надалі термін рівноважна ціна вживається тут просто для постулювання існування такої величини, утвореної внаслідок наявного априорі балансу попиту й пропозиції в досліджуваній економічній системі. Із врахуванням (30), рівняння (1) і (2) набувають вигляду

$$p_i x_i - (p_i x_{i1} + p_i x_{i2} + \dots + p_i x_{in} + \dots + p_i x_{im}) = p_i c_i, \quad i = 1, n, \quad (31)$$

$$p_j x_j - (p_1 x_{1j} + p_2 x_{2j} + \dots + p_j x_{jj} + \dots + p_n x_{nj}) = D_j, \quad j = 1, n, \quad (32)$$

що при запровадженні коефіцієнтів прямих витрат у натуральному (33) та вартісному (34) вимірі

$$\tilde{a}_{ij} = x_{ij} / x_j \Big|_{i,j=1,n}, \quad (33)$$

$$a_{ij} = \frac{p_i}{p_j} \cdot \frac{x_{ij}}{x_j} = \frac{p_i}{p_j} \cdot \tilde{a}_{ij} \Big|_{i,j=1,n}, \quad (34)$$

а також доданої вартості у вигляді

$$D_j = d_j \cdot p_j x_j, \quad j = 1, n \quad (35)$$

дає

$$p_i x_i - (p_i \tilde{a}_{i1} x_1 + p_i \tilde{a}_{i2} x_2 + \dots + p_i \tilde{a}_{in} x_n + \dots + p_i \tilde{a}_{im} x_m) = p_i c_i, \quad i = 1, n, \quad (36)$$

$$p_j x_j - (p_1 \tilde{a}_{1j} x_j + p_2 \tilde{a}_{2j} x_j + \dots + p_j \tilde{a}_{jj} x_j + \dots + p_n \tilde{a}_{nj} x_j) = d_j \cdot p_j x_j, \quad j = 1, n, \quad (37)$$

де d_j – частка доданої вартості галузі j у обсягу її випуску X_j , вираженому в одиницях вартості;

c_j – обсяг кінцевого споживання у фізичних (натуральних) одиницях.

Після перегрупування доданків у (36), (37) остаточно отримуємо наступні рівняння балансу випусків і витрат, що відповідають рядкам і стовпчикам таблиці міжгалузевого балансу й записані у фізичних одиницях виміру

$$p_i(\delta_{i1} - a_{i1})x_1 + p_i(\delta_{i2} - a_{i2})x_2 + \dots + p_i(\delta_{ij} - a_{ij})x_j + \dots + p_i(\delta_{in} - a_{in})x_n = p_i c_i, \quad i=1, n, \quad (38)$$

$$p_1(\delta_{1j} - a_{1j})x_j + p_2(\delta_{2j} - a_{2j})x_j + \dots + p_i(\delta_{ij} - a_{ij})x_j + \dots + p_n(\delta_{nj} - a_{nj})x_j = d_j \cdot p_j x_j, \quad j=1, n. \quad (39)$$

Ці рівняння використовують вектор рівноважних цін, які вважаємо відомими для базового року періоду прогнозування – $p_i^t = p_i^0$, $i=1, n$, $t=0$, що дозволяє визначити невідомі початкові обсяги випусків із рівнянь (32) або (37), тобто за значеннями доданої вартості галузей D_i^0 , $i=1, n$.

Розвиток економічної системи протягом прогнозного періоду будемо розглядати як в контексті змін кінцевого попиту на продукти, складових доданої вартості галузей, коефіцієнтів прямих витрат, так і появи нових технологій виробництва або окремих виробників в межах однієї технології. Така постановка задачі в загальному випадку призводить до оптимізаційних моделей міжпродуктового балансу, зокрема узагальненої моделі Леонтьєва [3], моделей виробничого типу за Л.В. Канторовичем та ін. [2, 8–12]. У цих моделях галузь представлена певним, відмінним від одиниці числом виробників/технологій, що разом виробляють один і той самий продукт в сукупному обсязі

$$x_j \equiv \sum_{k_j=1}^{M_j} x_{k_j}, \quad (40)$$

де $\{k_j\}$, $j=1, n$ – індекс виробника/технології в галузі j , $\{M_j\}$, $j=1, n$ – число виробників або технологій в цій галузі. Матриця прямих витрат, яка утворюється коефіцієнтами рівнянь (36), (37), перетворюється в прямокутну матрицю, що містить $N = \sum_{j=1}^n M_j$ стовпчиків. Галузі j у цій матриці відповідає стовпчиковий блок з горизонтальною розмірністю M_j , елементами якого є вектори прямих витрат технології/виробника k_j .

Співставлення кожній технології/виробникові змінного випуску x_{k_j} , вираженого в фізичних оди-

ницях виміру обсягу продукту, дозволяє сформулювати задачу оптимізації

$$\sum_{j=1}^n \left(\sum_{k_j=1}^{M_j} c_{k_j} x_{k_j} \right) \rightarrow \min, \quad (41)$$

в якій економічний смисл цільових коефіцієнтів c_{k_j} визначається обраним критерієм ефективності функціонування досліджуваної системи. У змінних випусків технологій/виробників x_{k_j} рівняння балансу витрат (39) переписуються у вигляді

$$p_1 \sum_{k_j=1}^{M_j} (\delta_{1j} - a_{1k_j}) x_{k_j} + p_2 \sum_{k_j=1}^{M_j} (\delta_{2j} - a_{2k_j}) x_{k_j} + \dots + p_i \sum_{k_j=1}^{M_j} (\delta_{ij} - a_{ik_j}) x_{k_j} + \dots + p_n \sum_{k_j=1}^{M_j} (\delta_{nj} - a_{nk_j}) x_{k_j} = d_j \cdot p_j x_j, \quad j=1, n \quad (42)$$

і являють собою систему обмежень моделі міжпродуктового балансу, що використовується для визначення прогнозних обсягів випуску в натуральних одиницях виміру за вихідними даними прогнозованої валової доданої вартості галузей.

З метою подальшого аналізу можливостей використання валової доданої вартості для визначення обсягів продуктів у натуральному вимірі і рівноважних цін доцільно розглянути класичну форму балансів випусків і витрат, наприклад (36), (37), й подати її для наочності в розгорнутому вигляді

$$\begin{aligned} a_{11}p_1x_1 + a_{12}p_1x_2 \dots + a_{1j}p_1x_j \dots + a_{1n}p_1x_n &= c_1p_1 \\ a_{21}p_2x_1 + a_{22}p_2x_2 \dots + a_{2j}p_2x_j \dots + a_{2n}p_2x_n &= c_2p_2 \\ a_{31}p_3x_1 + a_{32}p_3x_2 \dots + a_{3j}p_3x_j \dots + a_{3n}p_3x_n &= c_3p_3 \\ \dots &= \dots \\ a_{ij}p_ix_1 + a_{ij}p_ix_2 \dots + a_{ij}p_ix_j \dots + a_{in}p_ix_n &= c_ip_i \quad (43a) \quad (43) \\ \dots &= \dots \\ a_{n1}p_nx_1 + a_{n2}p_nx_2 \dots + a_{nj}p_nx_j \dots + a_{nn}p_nx_n &= c_np_n \\ \parallel & \parallel \parallel \parallel \parallel \parallel \\ d_1p_1x_1 \quad d_2p_2x_2 \quad \dots \quad d_jp_jx_j \quad \dots \quad d_np_nx_n & \end{aligned} \quad (43b)$$

У схематичному представленні (43) системи рівнянь балансу випусків і витрат записані по горизонталі (43a) й по вертикалі (43b), відповідно, й спільно використовують матрицю прямих витрат, що утворюється коефіцієнтами (36) і (37). Очевидно, що у випадку відомих обсягів кінцевого споживання c_i , $i=1, n$, а також заданої питомої на одиницю фізичного обсягу валової доданої вартості $\bar{d}_i = d_i p_i = D_i / x_i$, $i=1, n$ система (43) дозволяє знайти розв'язки, як для фізичних обсягів x_i , $i=1, n$, так і цін p_i , $i=1, n$, оскільки вона розділяється за своїми змінними на (43a) і (43b) і ці підсистеми є неоднорідними.

Якщо обсяги кінцевого споживання є невідомими параметрами задачі, з підсистеми, що залишилась, а саме (43б), можна визначити фізичні обсяги продуктів (випуски у фізичних одиницях виміру) лише у випадку певних припущень щодо вихідних значень цін. В контексті задачі прогнозування це можуть бути наприклад, відомі ціни базового періоду. Іншим варіантом вивчення динаміки обсягів і цін у разі невідомого кінцевого споживання може бути застосування індексів змін цих величин. Послугуючись інваріантністю вартісних показників міжпродуктового балансу, наприклад обсягу випуску у вартісному виразі, відносно можливого задання значень співмножників – фізичного обсягу і ціни, можна запропонувати наступний спосіб дослідження їх змін в залежності від валової доданої вартості. Спочатку ціна покладається такою, що дорівнює одиниці, або фактичному її значенню в базовому періоді $p_i = p_i^0, i = 1, n$. З підсистеми (43б) із фіксованими початковими значеннями абсолютної величини доданої вартості $D_i^0, i = 1, n$ визначаються обсяги $x_i^0, i = 1, n$, які також можуть бути як фізичними обсягами, так і ціновими показниками, в залежності від обраних цін $p_i^0, i = 1, n$. Далі, для дослідження зміни ціни, в системі (43б) використовуються отримані на попередньому кроці обсяги $x_i^0, i = 1, n$ і нові – прогнозні величини валової доданої вартості $D_i^t, i = 1, n; t = 1, T$, де T – кількість років періоду прогнозування. Навпаки, задання в (43б) прогнозованих значень цін, дозволяє отримати з цієї системи обсяги випусків $x_i^t, i = 1, n; t = 1, T$, в

тому числі й у фізичному виразі, залежно від способу задання вихідних цін.

Послугуючись наведеним способом, у порівняльному чисельному експерименті розраховано обсягові і цінові показники агрегованого міжпродуктового балансу України 2017 р. (табл. 1) на основі показників відповідного балансу 2012 р., (табл. 2) що використовувався в дослідженнях [2] і [7].

Для обчислення коефіцієнтів системи (43б) застосовано відповідні балансові таблиці 2012 р., з яких отримано матрицю прямих витрат [2].

На першому кроці за допомогою рівнянь (43б) отримано випуски 2017 р. за фактичної в цьому році валової доданої вартості та коефіцієнтів прямих витрат 2012 р. Всі ціни було покладено такими, що дорівнюють одиниці. Далі у згаданих рівняннях випуски було зафіксовано на рівні їх фактичних значень 2017 р. й розраховано цінові показники – індекси цін відносно 2012 р. за тих самих фактичних значень валової доданої вартості 2017 р. Нарешті, шляхом ділення отриманих на першому кроці випусків на визначені таким способом індекси цін визначено значення випусків 2017 р., які утворилися внаслідок зміни фізичних обсягів виробництва продуктів.

Результати розрахунку, наведені в табл. 3, демонструють скорочення фізичних обсягів випуску майже у всіх галузях, особливо паливно-енергетичному секторі і будівництві, яке мало місце при одночасному зростанні цін.

Таблиця 1. Агрегована згідно з [2] таблиця «витрати – випуск» міжпродуктового балансу України за 2017 р.

	Сільське, лісове та рибне господарство	Добувна промисловість і розроблення кар'єрів	Постачання електроенергії, газу, пари та кондиціо- нованого повітря	Будівництво	Транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність	Надання інших видів послуг	Кінцеве споживання	Усього використано (Випуск, всього)
Сільське, лісове та рибне господарство	167424	334	208	195	1167	207212	461193	837733
Добувна промисловість і розроблення кар'єрів	6364	27473	123674	14495	49773	266005	-75237	412547
Постачання електроенергії, газу, пари та кондиціонованого повітря	11561	31023	27601	2230	20592	134947	69591	297545
Будівництво	2580	2253	1159	82422	5276	38969	209887	342546
Транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність	33463	30106	517	1198	23715	172073	170702	431774
Надання інших видів послуг	301183	130760	44856	161525	128752	2203386	2147746	5118208
Валовий внутрішній продукт	315158	190598	99530	80481	202499	2095616		
Випуск товарів та послуг	837733	412547	297545	342546	431774	5118208		

Таблиця 2. Матриця прямих витрат агрегованого згідно з [2] міжпродуктового балансу України за 2012 р.

0,199854	0,000810	0,000699	0,000569	0,002703	0,040485
0,007597	0,066594	0,415648	0,042315	0,115276	0,051972
0,013800	0,075199	0,092762	0,006510	0,047692	0,026366
0,003080	0,005461	0,003895	0,240616	0,012219	0,007614
0,039945	0,072976	0,001738	0,003497	0,054925	0,033620
0,359521	0,316958	0,150754	0,471543	0,298193	0,430500

Таблиця 3. Результати розрахунку цінових та обсягових показників міжпродуктового балансу України 2017 р. при застосуванні запропонованого способу подання підсистеми балансу витрат

	Сільське, лісове та рибне господарство	Добувна промисловість і розроблення кар'єрів	Постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря	Будівництво	Транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність	Надання інших видів послуг
Розрахований випуск 2017 р. за фактичної ВДВ та ціни=1 (у вартісному виразі), грн	862687,11	402156,29	285396,92	334879,26	421056,71	5461453,36
Фактичний випуск за статистичним МПБ 2017 р., грн	837733	412547	297545	342546	431774	5118208
Розрахований індекс цін 2017 р. відносно 2012 р., безрозм. од.	1,035358	1,000148	0,991921	1,023309	1,001389	1,048204
Розрахований випуск 2017 р. за розрахованого індексу ціни 2017 року, грн	833226,30	402096,74	287721,31	327251,19	420472,57	5210298,69
Відхилення розрахованого випуску 2017 р. від фактичного, %	-0,540874	-2,598942	-3,414308	-4,673722	-2,687793	1,767474

Наведений вище спосіб розрахунку змін фізичних обсягів випуску й рівноважних цін спирається на подання умов балансу у вигляді білінійних форм за цими показниками (43). Подальший аналіз такого подання дозволяє сформулювати оптимізаційну модель ваємоузгодженого визначення обсягів і цін за змін валової доданої вартості. Ділення всіх рівнянь підсистеми (43а) на ціни p_i з одночасною заміною невідомих обсягів кінцевого споживання c_i додатковими змінними моделі y_i , дає співвідношення

$$\begin{aligned}
 a_{11}x_1 + a_{12}x_2 \dots + a_{1j}x_j \dots + a_{1n}x_n &= y_1 \\
 a_{21}x_1 + a_{22}x_2 \dots + a_{2j}x_j \dots + a_{2n}x_n &= y_2 \\
 a_{31}x_1 + a_{32}x_2 \dots + a_{3j}x_j \dots + a_{3n}x_n &= y_3 \\
 \dots &= \dots \\
 a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 \dots + a_{ij}x_j \dots + a_{in}x_n &= y_i \quad (44) \\
 \dots &= \dots \\
 a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 \dots + a_{nj}x_j \dots + a_{nn}x_n &= y_n
 \end{aligned}$$

Дописавши до (44) підсистему (43б) у незмінному вигляді

$$\begin{aligned}
 a_{11}p_1x_1 + a_{12}p_1x_2 \dots + a_{1j}p_1x_j \dots + a_{1n}p_1x_n \\
 a_{21}p_2x_1 + a_{22}p_2x_2 \dots + a_{2j}p_2x_j \dots + a_{2n}p_2x_n \\
 a_{31}p_3x_1 + a_{32}p_3x_2 \dots + a_{3j}p_3x_j \dots + a_{3n}p_3x_n \\
 \dots & \dots \dots \dots \dots \dots \\
 a_{i1}p_ix_1 + a_{i2}p_ix_2 \dots + a_{ij}p_ix_j \dots + a_{in}p_ix_n \quad (45) \\
 \dots & \dots \dots \dots \dots \dots \\
 a_{n1}p_nx_1 + a_{n2}p_nx_2 \dots + a_{nj}p_nx_j \dots + a_{nn}p_nx_n \\
 \parallel & \parallel \parallel \parallel \parallel \parallel \\
 D_1 & D_2 \dots D_j \dots D_n
 \end{aligned}$$

отримуємо замкнену систему рівнянь відносно шуканих обсягів і цін, яка містить незалежні змінні оптимізації y_i . Визначення, в свою чергу, критерію оптимальності

$$L_C = \sum_{i=1}^N y_i \rightarrow \min, \quad (46)$$

і запровадження індексів цін π_i , які дають можливість обмежити їх відхилення від базових значень співвідношенням

$$p_i - \pi_i \cdot p_i^0 \leq 0 \Big|_{i=1, N}, \quad (47)$$

дозволяють розглядати задачу нелінійної (квадратичної) оптимізації (44)–(47), як модель визначення гранично-досяжних обсягів випусків продуктів у натуральному виразі за обмеженого передбачуваного зростання цін в економіці країни.

ВИСНОВКИ

1. З метою використання макроекономічних показників розвитку економіки при побудові перспективного паливно-енергетичного балансу за умови відсутності інформації щодо кінцевого споживання розроблено систему умов оптимізаційної моделі, що використовує валову додану вартість галузей для формування обмежень на обсяги випуску виробників у фізичних одиницях виміру їх продуктів.

2. Наведено подання підсистем розподілу випусків і витрат моделі міжпродуктового балансу, що використовує білінійні форми за обсягами випусків у натуральному виразі і рівноважними цінами, на основі якого запропоновано спосіб визначення цих змінних для вирішення задач прогнозування і аналізу змін в економіці країни за даними макропоказників її розвитку, зокрема валовою доданою вартістю, в умовах відсутності інформації щодо кінцевого попиту на продукти.

3. Запропоновано структуру оптимізаційної моделі міжпродуктового балансу, заснованої на системі балансових рівнянь розподілу витрат в галузях економіки у вартісній формі, що використовує показники валової доданої вартості для вирішення задач прогнозування випусків продуктів у натуральному вимірі їх обсягів за істотних змін структури валового внутрішнього продукту.

1. Швець С.М. Короткострокове прогнозування валової доданої вартості: монографія; НАН України, ДУ «Ін-т екон. та прогноз. НАН України». К., 2013. 136 с.

2. Кулик М.Н. Пересмотр возможностей моделей равновесных цен и выпусков в теории межотраслевого

баланса. *Проблемы общей энергетики*. 2016. Вып. 4(47). С. 5—22. <https://doi.org/10.15407/pge2016.04.005>.

3. Кубонива М. и др. Математическая экономика на персональном компьютере. М.: Финансы и статистика, 1991. С. 179—188.

4. Картер А. Структурные изменения в экономике США. М.: Статистика, 1974. С. 150—191.

5. Леонтьев В., Холлис В. Ченери, Пауль Г. Кларк и др. Исследования структуры американской экономики. Теоретический и эмпирический анализ по схеме затраты-выпуск. М.: Госстатиздат, 1958. 640 с.

6. Леонтьев В.В. Межотраслевая экономика. М.: Экономика, 1997. 479 с.

7. Кулик М.Н. Новые модели равновесных цен в теории межотраслевого баланса. *Проблемы общей энергетики*. 2018. Вып. 1(52). С. 12—23. <https://doi.org/10.15407/pge2018.01.012>

8. Канторович Л.В. Математические методы организации и планирования производства. Л.: изд-во ЛГУ, 1939. (у зб. «Применение математики в экономических исследованиях»). М.: Соцэргиз, 1959. С. 235—275).

9. Добровольський В.К., Стогній О.В., Костюк В.О., Каплін М.І. Економіко-математичне моделювання енергетичних систем. К.: Наук. думка, 2013. 252 с.

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

11. Каплін М.І. Оптимізація системи паливозабезпечення на основі мережного подання модифікованої моделі виробничого типу: автореф. дис. на здобуття наук ступеня канд. техн. наук: спец. 05.14.01 «Енергетичні системи та комплекси». К., 2015. 20 с.

12. 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.

Надійшла до редколегії: 18.08.2020