

УДК 519.8:330.4

*І. Г. Лук'яненко**д-р екон. наук, професор**Р. Б. Семко**Національний університет «Кієво-Могилянська академія»***ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ ТА ЗАСТОСУВАННЯ
ДИНАМІЧНОЇ СТОХАСТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЗАГАЛЬНОЇ
РІВНОВАГИ ДЛЯ АНАЛІЗУ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ**

Вступ. Макроекономічне моделювання відіграє значну роль в управлінні економічною системою будь-якої країни світу, оскільки дозволяє ефективно проводити фіскальну та монетарну політику, прогнозувати еволюцію економічних змінних, оцінювати наслідки застосування різних інструментів та визначати їх вплив на добробут населення тощо. Саме тому проблеми побудови макромоделей, які описуватимуть реальність з достатнім рівнем точності та відповідатимуть на ключові питання економічної політики держави, є одними із пріоритетних в сучасній макроекономічній науці.

Великим проривом в макроекономіці стало створення макромоделей, що ґрунтуються на мікроекономічних засадах поведінки економічних суб'єктів. Це дозволило глибше, на мікрорівні, зрозуміти залежність між базовими змінними, визначити шляхи впливу уряду, центрального банку та інших інституцій на економічну систему. Введення динамічної складової, шоків, які приводять до зміни рівноважного (стаціонарного) стану, та одночасне моделювання поведінки на всіх ринках товарів та послуг привели до виникнення наприкінці 70-х — початку 80-х років динамічних стохастичних моделей загальної рівноваги (ДСЗР). Піонерами в даній області слід вважати Р. Е. Лукаса (молодшого), Е. К. Прескота, Ф. Е. Кідленда та ін. [9] Наступним поштовхом у розвитку динамічних стохастичних моделей загальної рівноваги стали роботи неокейнсіанців та нових неокейнсіанців: Г. Н. Манківа, М. Д. Вудфорда, Дж. Дж. Ротемберга та ін., які ввели в модель поняття негнучких цін, монополістичної конкуренції та інших особливостей, що притаманні кейнсіанським моделям [10,11,12,14]. Відповідно, вже на початку 2000-х років динамічні стохастичні моделі загальної рівноваги набули більш практичного застосування. Наприклад, такі головні фінансові інституції світу, як Федеральна резервна системи США, Європейський центральний банк, Банк Англії тощо, активно застосовують та удосконалюють даний клас моделей для проведення монетарної політики та аналізу її наслідків.

В Україні макромоделювання представлено роботами О. О. Бакаєва, В. М. Гейця, І. Г. Лук'яненко, В. І. Міщенко, О. І. Петрика та іншими [1,2,4,5,7,8]. Розроблена Центром наукових досліджень Національного Банку України (НБУ) макроекономічна Квартальна прогностична модель (КПМ) значною мірою ґрунтується на моделюванні поведінки агентів на мікроекономічному рівні та належить до класу неокейнсіанських моделей [6]. Однак більшість моделей, що розроблялись для економіки України, включаючи КПМ НБУ, подаються у формі кінцевої системи рівнянь, і, таким чином, зв'язок між отриманими рівняннями на макрорівні та первинними рівняннями на мікрорівні не зовсім чітко прослідковується. Відповідно, динамічні стохастичні моделі загальної рівноваги потребують подальшого розвитку з урахуванням особливостей, що притаманні країнам з перехідною економікою та детального аналізу кожного етапу побудови моделі, включаючи перехід від рівнянь мікрорівня до рівнянь макрорівня.

Постановка проблеми. Метою даного дослідження є адаптація класичної неокенсіанської динамічної стохастичної моделі загальної рівноваги [9] до особливостей української економіки з детальним обґрунтуванням основних етапів її побудови, зокрема з детальним виведенням неокейнсіанської кривої Філіпса та формування вартості капіталу при умові існування витрат на встановлення нових виробничих потужностей. При цьому введення негнучких цін пропонується проводити шляхом задання дерева гри теорії ігор, що дозволить чітко виокремити фактори, які впливають на встановлення цін виробниками. Крім того, для проведення економічної політики держави вкрай важливим є побудова макроекономічної моделі, що не тільки описуватиме, але й пояснюватиме реальність з достатнім рівнем точності. Тому одним з основних завдань дослідження є аналіз ефективності застосування адаптованої динамічної стохастичної моделі загальної рівноваги для опису економіки України шляхом порівняння її функцій відгуків з результатами векторної авторегресійної (VAR) моделі. VAR-модель відібрана як еталон, який є ефективним в прогнозуванні, але через свою атеоретичну природу слабо розкриває базові зв'язки у рамках економічної системи. Тестування гіпотези про здатність адаптованої макромоделі порівняно точно описувати економіку України проводитиметься на основі аналізу реакції реального ВВП на зміну монетарної політики, зокрема ставки рефінансування НБУ. Позитивний висновок щодо динамічної стохастичної моделі загальної рівноваги означатиме, що її можна використовувати для кращого розуміння монетарного трансмісійного механізму, враховуючи поведінку економічних агентів на мікроекономічному рівні.

Основні результати. Для оцінки перспективності адаптації неокейнсіанської моделі загальної рівноваги [9] до умов української економіки детально проаналізуємо її основні елементи, які складаються з: 1) сектору домогосподарств, що споживають товари та послуги; 2) підприємств-посередників, що виробляють напівфабрикати чи товари, які ще не готові для кінцевого споживання (оптові продажі), орендуючи виробничі потужності та наймаючи працівників; 3) кінцевих виробників, які готують товари, що закуплені у підприємств-посередників для наступних продажів споживачам (роздрібні продажі); 4) уряду та центрального банку в нашому випадку, Національного банку України (НБУ).

Зауважимо, що дана модель включає також ринкові неефективності (наприклад, негнучкість цін) та допускає вплив шоків на економіку. Більшість елементів моделі спочатку аналізується з позиції мікроекономіки, а потім агрегується до макрорівня. Припускається, що система еволюціонує і в кінці кінців досягає рівноважного (стаціонарного) стану, змінити який на певний період часу можуть тільки шоки (нами розглядаються лише шоки, які не приводять до змін рівноважного стану у довгостроковому періоді).

Одним з важливих елементів моделі є сектор домогосподарств. Припускається, що кожне домогосподарство максимізує свою міжчасову корисність на нескінченному проміжку часу, яка позитивно залежить від кількості спожитих товарів та послуг і наявності грошей та негативно залежить від величини витраченого робочого часу, що може бути виражено в формалізованому вигляді функцією корисності (1):

$$\left\{ C_{t+k}, \frac{M_{t+k}}{P_{t+k}}, H_{t+k} \right\}_{k=0}^{\infty} \max E_t \sum_{k=0}^{\infty} \beta^k \left(\ln(C_{t+k}) - \xi \ln \left(\frac{M_{t+k}}{P_{t+k}} \right) + \varrho \ln(1 - H_{t+k}) \right), \quad (1)$$

де β — коефіцієнт дисконтування, C_{t+k} — грошовий еквівалент спожитих товарів та послуг протягом періоду $t+k$, $\frac{M_{t+k}}{P_{t+k}}$ — кількість грошей, що зважена на рівень цін (реальний баланс грошей), що був у наявності протягом періоду $t+k$, H_{t+k} — кількість відпрацьованого часу, E_t — оператор математичного сподівання, що відображає очікування домогосподарств з врахуванням всієї доступної інформації на період часу t .

В період часу t домогосподарство оптимізує свій план споживання на всі майбутні періоди, враховуючи кожного періоду наступне бюджетне обмеження:

$$C_t = W_t H_t - T_t + \Pi_t + R_t D_t - D_{t+1} + \frac{M_{t-1} - M_t}{P_t}, \quad (2)$$

де W_t — заробітна плата за одиницю відпрацьованого часу, T_t — сплачені податки, Π_t — дивіденди, що отримані від володіння підприємствами, кінцевими виробниками продукції (припускається, що всі кінцеві власники цих підприємств — домогосподарства), D_t — депозити домогосподарства, R_t — відсоткова ставка на депозити.

Таким чином на основі цільової функції (1) та бюджетних обмежень для кожного періоду у формулі (2) на основі оптимізації відносно $\left\{ C_{t+k}, \frac{M_{t+k}}{P_{t+k}}, H_{t+k} \right\}_{k=0}^{\infty}$ отримаємо наступні умови першого порядку:

$$\frac{1}{C_t} = E_t \left(\beta \frac{1}{C_{t+1}} \right) R_{t+1}, \quad (3)$$

$$W_t \frac{1}{C_t} = \varrho \frac{1}{1 - H_t}, \quad (4)$$

$$\frac{M_t}{P_t} = \xi C_t \left(\frac{1 - R_{t+1}^n}{R_{t+1}^n} \right)^{-1}, \quad (5)$$

де R_{t+1}^n — номінальна відсоткова ставка, $R_{t+1}^n = \frac{R_{t+1} P_{t+1}}{P_t}$.

Сектор підприємств є наступним важливим елементом моделі загальної рівноваги, припускається, що він складається з підприємств-посередників та кінцевих виробників. Підприємства-посередники (оптова торгівля) закупають капітал та винаймають людей для виробництва товарів та послуг на основі виробничої функції зі сталою віддачею від масштабу, що має такий загальний вигляд:

$$Y_t = A_t K_t^\alpha L_t^{1-\alpha}, \quad (6)$$

де Y_t — обсяг випуску товарів та послуг протягом періоду t ; K_t — капітал, який використовується протягом періоду t , який закуповується наперед в період $t-1$; L_t — наймана робоча сила, що використовується для виробництва товарів протягом періоду t ; A_t — екзогенний фактор, що відображає технологію виробництва; α — параметр, що відображає еластичність обсягу виробництва при зміні капіталу; $(1-\alpha)$ — еластичність виробництва при зміні кількості зайнятої робочої сили.

Розглянемо модель формування капіталу підприємства [7]. Припустимо, що весь додатковий капітал закуповується у компаній, що спеціалізуються на виробництві капітальних потужностей. Рівень амортизації капіталу дорівнює δ . Для його відновлення підприємство — виробник капіталу — щорічно здійснює інвестицію розміром I_t . Але оскільки існують витрати на встановлення обладнання, неможливість реалізації великих інвестиційних проектів за короткі проміжки часу тощо, то рівень капіталу зростає на величину меншу ніж здійснена інвестиція. Крім того, інвестиція, здійснена в період t , впливає на розмір капіталу в періоді $t+1$, тобто існує затримка у реалізації інвестиції на один період. Таким чином еволюцію капіталу можна описати наступною рівністю:

$$K_{t+1} = \Phi \left(\frac{I_t}{K_t} \right) K_t + (1 - \delta) K_t, \quad (7)$$

де $\Phi(\bullet)$ — зростаюча опукла функція, $\Phi(\bullet) > 0$, $\Phi''(\bullet) < 0$. Припустимо, що $\Phi(0) = 0$. Таким чином інвестиція розміром I_t , що здійснена протягом періоду t , приведе до збільшення рівня капіталу в періоді $(t+1)$ на $\Phi \left(\frac{I_t}{K_t} \right) K_t$.

Протягом періоду t підприємство, знаючи ціну на капітал, визначає його оптимальний розмір. Даний процес детально проілюстровано на рис. 1. Протягом цього періоду воно володіє капітальними потужностями $(1 - \delta)K_t$, що залишилися ще з попереднього періоду. Припустимо, що даний розмір капіталу продається фірмі-виробнику капіталу за ціною \bar{Q}_t , а новий оптимальний розмір капіталу закупається у виробника капіталу за ціною Q_t . Таким чином, оптимальний рівень інвестицій та капіталу визначається на основі наступної задачі максимізації:

$$\max_{K_t, Q_t} Q_t K_{t+1} - I_t - \bar{Q}_t (1 - \delta) K_t, \tag{8}$$

з урахуванням обмеження (7). Умови першого порядку:

$$Q_t \Phi \left(\frac{I_t}{K_t} \right) = 1$$

або

$$Q_t = \left(\Phi \left(\frac{I_t}{K_t} \right) \right)^{-1} \tag{9}$$

та

$$\bar{Q}_t (1 - \delta) = Q_t \Phi \left(\frac{I_t}{K_t} \right) + Q_t (1 - \delta) - \frac{I_t}{K_t}. \tag{10}$$



Рис. 1. Процес встановлення нового рівня капіталу.

Підприємства-посередники продаються свій товар кінцевим виробникам. Позначимо $\frac{1}{X_t}$ відносну ціну оптового товару до роздрібної ціни. Відповідно X_t — це гранична надбавка кінцевого виробника. Граничний продукт капіталу становитиме $MPK_{t+1} = \frac{1}{X_{t+1}} \frac{\alpha Y_{t+1}}{K_{t+1}}$. Витрати, понесені на його купівлю, — $Q_t K_{t+1}$. Після закінчення періоду неамортизований капітал буде проданий з виручкою $\bar{Q}_{t+1} (1 - \delta) K_{t+1}$. Оскільки в стаціонарному стані $Q = 1$, $\Phi \left(\frac{I}{K} \right) = \frac{I}{K} = \delta$, то на основі (10) $\bar{Q}_{t+1} = Q_{t+1}$, а в околі стаціонарного стану ця різниця є вищого порядку малості порівняно з іншими відхиленнями змінних від своїх довгострокових значень, тому вона може бути проігнорована. Таким чином, дохідність капіталу, який використовується протягом періоду $(t + 1)$, становитиме:

$$E(R_{t+1}) = E \left(\frac{\frac{1}{X_{t+1}} \frac{\alpha Y_{t+1}}{K_{t+1}} + Q_{t+1} (1 - \delta)}{Q_t} \right). \tag{11}$$

Кінцеві виробники (роздрібна торгівля) та встановлення цін. Припустимо, що кожен кінцевий виробник z продає $Y(z)$ одиниць товару. Задамо наступний індекс Діксіта-Стігліца для кількості одиниць продукції, який відображатиме реальний ВВП [12]:

$$Y_t^f = \left(\int_0^1 Y_t(z)^{\frac{\epsilon-1}{\epsilon}} dz \right)^{\frac{\epsilon}{\epsilon-1}}, \quad (12)$$

де Y_t^f — кінцевий реальний ВВП, $\epsilon > 1$. Якщо $\epsilon = 1$, то товари $Y_i(i)$ та $Y_i(j)$ є досконалими замінниками (досконала конкуренція), а $Y_t^f = \int_0^1 Y_t(z) dz$. Якщо $\epsilon < 0$, то товари $Y_i(i)$ та $Y_i(j)$ є взаємодоповнюючими (комплементи). У даному випадку $\epsilon > 1$, тобто товари є субститутами, а ринок характеризується певним рівнем монополістичної конкуренції, z належить континууму $(0,1)$.

Задача оптимізації споживача полягає у споживанні максимальної кількості товарів на основі заданого бюджету:

$$\max_{Y_t(z), z \in [0,1]} Y_t^f, \quad (13)$$

$$\int_0^1 P_t(z) Y_t(z) dz \leq In_t, \quad (14)$$

де $P_t(z)$ — роздрібна ціна товару $Y_t(z)$, In_t — номінальний дохід домогосподарств, що витрачається на товари та послуги.

В результаті оптимізації (13)–(14) отримаємо наступну рівність:

$$Y_t^f = \frac{In_t}{\left(\int_0^1 P_t(z)^{1-\epsilon} Y_t(z) dz \right)^{\frac{1}{1-\epsilon}}}. \quad (15)$$

Знаменник рівності (15) відображає рівень цін в економіці України:

$$P_t = \left(\int_0^1 P_t(z)^{1-\epsilon} dz \right)^{\frac{1}{1-\epsilon}}. \quad (16)$$

Крива попиту на товари кінцевих виробників при умові їх симетричності матиме наступний вигляд:

$$Y_t(z) = \left(\frac{P_t(z)}{P_t} \right)^{-\epsilon} Y_t^f. \quad (17)$$

Для моделювання негнучкості цін використаємо підхід, що розроблено Кальво [10]. Припустимо, що кінцевий виробник може змінювати ціну тільки з ймовірністю $(1-\theta)$. Встановлення цін кінцевим виробником включає розроблення стратегії, яку з позиції теорії ігор можна відобразити деревом гри на рис. 2. Дана динамічна гра складається з таких елементів, як:

гравці: Компанія, яка встановлює ціни, та Природа, яка вирішує, чи компанія буде мати можливість зміни ціни;

правила: Компанія та Природа грають по чергово. Першою починає компанія;

множина сценаріїв: ціни встановлюються на діапазоні $(0, \infty)$, Природа вирішує чи надавати можливість змінювати ціну чи ні.

виграші: кожного періоду Компанія отримує прибуток чи збиток від своєї діяльності;

інформація: Компанія володіє всією інформацією, що зібрана макростатистикою до моменту прийняття рішення. Крім того, Компанія має інформацію про очікувані значення змінних, що необхідні для розрахунку прибутків в майбутньому;

стратегія компанії, яка вказує як діяти в будь-якій ситуації.

З позиції компанії, Природа приймає рішення про надання можливості зміни ціни з ймовірністю $(1-\theta)$.

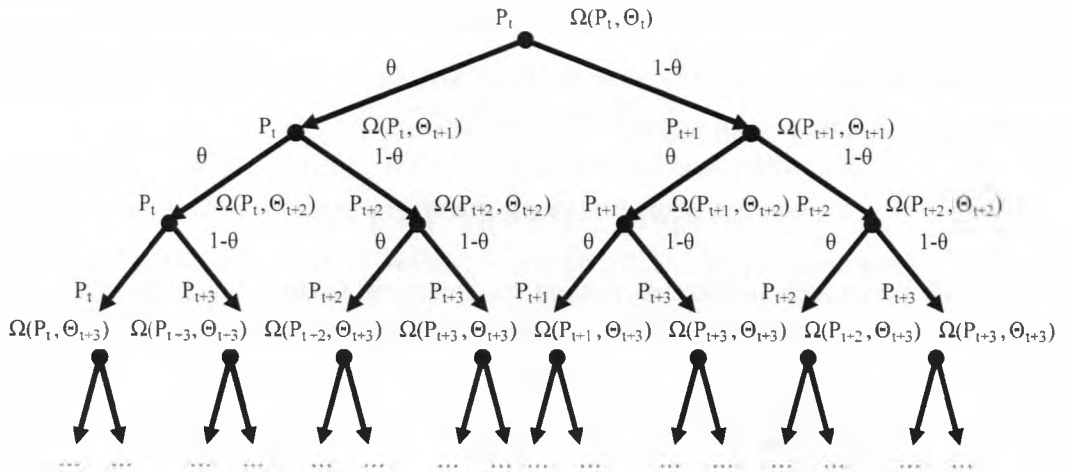


Рис. 2. Ілюстрація дерева динамічної гри по встановленню оптимальної ціни підприємством-посередником

На рис. 2, величина $\Omega(P_i, \Theta_j)$ позначає прибуток, який отримає компанія протягом періоду j маючи ціну P_i та на основі інших факторів, що впливають на прибуток та відображені вектором змінних Θ_j . Роздрібний торговець встановлює ціну P_t на початку періоду t таким чином, щоб максимізувати дисконтований потік прибутків:

$$\begin{aligned} & \max_{P_t} \sum_{k=0}^{\infty} \theta^k E_{t-1} \left(A_{t,k} \frac{P_t - P_{t+k}^w}{P_{t+k}} Y_{t+k}(z) \right) + \Gamma(\theta, P_{t+1}, P_{t+2}, \dots, P_{\infty}, \Theta_{t+1}, \Theta_{t+2}, \dots, \Theta_{\infty}) \Leftrightarrow \\ & \Leftrightarrow \max_{P_t} \sum_{k=0}^{\infty} \theta^k E_{t-1} \left(A_{t,k} \frac{P_t - P_{t+k}^w}{P_{t+k}} Y_{t+k}(z) \right), \end{aligned} \tag{18}$$

де $A_{t,k} = \beta^k \frac{C_t}{C_{t+k}}$ відображає ставку дисконтування. Релевантною ставкою дисконтування потоку до періоду t , що надійшов в період часу $t+k$, є $R_{t,t+k} = \prod_{i=1}^k R_{t+i}$. Оскільки кінцевими власниками підприємств є домогосподарства, то ставка дисконтування залежить від міжчасових уподобань домогосподарств на основі формули (3). Таким чином, ставку дисконтування можна записати як $R_{t,t+k} = \beta^k \frac{C_t}{C_{t+k}} = A_{t,k}$. Зв'язок між оптовою, роздрібною та відносною цінами наступний: $P_t^w = \frac{P_t}{X_t}$.

Позначимо P_t^* оптимальну ціну, яку встановив кінцевий виробник при умові можливості зміни ціни на початку періоду t . Відповідний рівень попиту на товар становитиме $Y_{t+k}^*(z) = \left(\frac{P_t^*}{P_{t+k}} \right)^{-\epsilon} Y_{t+k}^f$.

На основі умови першого порядку отримаємо:

$$\sum_{k=0}^{\infty} \theta^k E_{t-1} \left(A_{t,k} \left(\frac{P_t^*}{P_{t+k}} \right)^{-\epsilon} Y_{t+k}^f \left(P_t^* - \left(\frac{\epsilon}{\epsilon-1} \right) P_{t+k}^w \right) \right) = 0. \tag{19}$$

Звідки:

$$P_t^* = \frac{\epsilon}{\epsilon - 1} \frac{\sum_{k=0}^{\infty} \theta^k E_{t-1} (A_{t,k} P_{t+k}^{\epsilon} Y_{t+k}^f P_{t+k}^w)}{\sum_{k=0}^{\infty} \theta^k E_{t-1} (A_{t,k} P_{t+k}^{\epsilon} Y_{t+k}^f)} \quad (20)$$

Враховуючи те, що в період t θ частина компаній встановлює рівень цін P_{t-1} , а $(1-\theta)$ частина — P_t^* , на основі виразу (16) одержимо:

$$P_t = \left(\theta P_{t-1}^{1-\epsilon} + (1-\theta) (P_t^*)^{1-\epsilon} \right)^{\frac{1}{1-\epsilon}} \quad (21)$$

Сукупний реальний попит на товари та послуги можна представити наступною рівністю:

$$Y_t^f = C_t + I_t + G_t, \quad (22)$$

де C_t — грошовий еквівалент спожитих товарів; I_t — розмір інвестицій; G_t — урядові видатки.

Одним з важливих елементів моделі є Уряд та Національний банк України. Припустимо, що урядове обмеження має наступний вигляд:

$$G_t \leq \frac{M_t - M_{t-1}}{P_t} + T_t, \quad (23)$$

де G_t — урядові видатки; $\frac{M_t}{P_t}$ — кількість грошей, що зважена на рівень цін (реальний баланс грошей); T_t — сплачені податки.,

Вираз (23) показує, що видатки фінансуються з отриманих податків та шляхом емісії.

Припускаємо, що монетарна політика може бути представлена наступним правилом Тейлора [8]:

$$\frac{R_t^n}{R^n} = \left(\frac{R_{t-1}^n}{R^n} \right)^{\gamma_R} \left(\frac{\Pi_t}{\Pi} \right)^{\gamma_{\Pi}} \left(\frac{Y_t}{Y} \right)^{\gamma_Y})^{1-\gamma_R}, \quad (24)$$

тобто номінальна відсоткова ставка встановлюється НБУ залежно від відношення минулої номінальної ставки до рівноважного рівня $\left(\frac{R_{t-1}^n}{R^n} \right)$, відношення рівня інфляції до довгострокового тренду $\left(\frac{\Pi_t}{\Pi} \right)$ та розміру ВВП до рівноважного $\left(\frac{Y_t}{Y} \right)$.

Шоки. Припустимо, що економіка країни піддається двом видам шоків, які впливають на урядові видатки та технологічний прогрес, зокрема:

$$G_t = G_{t-1}^{\rho_g} e^{\sigma_g \varepsilon_{gt}} \quad (25)$$

та

$$A_t = A_{t-1}^{\rho_a} e^{\sigma_a \varepsilon_{at}}, \quad (26)$$

де σ_a, σ_g — стандартне відхилення змінної; ρ_a, ρ_g — параметри; $\varepsilon_{gt}, \varepsilon_{at}$ — нормально розподілені незалежні величини з параметрами $N(0,1)$. Крім того, нами пропонується додати ще шок монетарної політики (див. (38)) шляхом множення (24) на $e^{\sigma_{rn} \varepsilon_{rnt}}$.

Описана та проаналізована вище система рівнянь відображає в сукупності модель економіки України. Оскільки вона є нелінійною, то її реалізація значно ускладнюється. Тому пропонується лог-лінеаризувати систему рівнянь навколо рівноважного стану.

Опишемо спочатку загальний алгоритм лог-лінеаризації. Позначатимемо рівноважне значення певної змінної відповідним великим символом, а логарифм відхилення змінної від її рівноважного значення — малим символом з індексом t . Наприклад, нехай $w_t = \ln \frac{W_t}{W}$.

Задамо певне рівняння як:

$$W_{0t} = W(W_{1t}, W_{2t}, \dots, W_{Lt}), \quad (27)$$

де: $W_{0t}, W_{1t}, W_{2t}, \dots, W_{Lt}$ — змінні; $W(\bullet)$ — диференційована функція.

Тоді на основі (27) можемо отримати наступне співвідношення:

$$\begin{aligned} \ln W_{0t} &= \ln W(W_{1t}, W_{2t}, \dots, W_{Lt}) \rightarrow \left| \ln W_0 = \ln W(W_1, W_2, \dots, W_L) \text{ у стані рівноваги} \right| \rightarrow \\ &\rightarrow \left| \text{перше наближення методом Тейлора навколо рівноважного стану} \right| \rightarrow \ln W_{0t} - \ln W_0 \approx \\ &\approx \sum_{i=1}^L \frac{\partial \ln W(W_{1t}, W_{2t}, \dots, W_{Lt})}{\partial W_i} (W_{it} - W_i) \rightarrow \ln W_{0t} - \ln W_0 \approx \\ &\approx \sum_{i=1}^L \frac{W_i}{W(W_1, W_2, \dots, W_L)} \frac{\partial W(W_{1t}, W_{2t}, \dots, W_{Lt})}{\partial W_i} \left(\frac{W_{it} - W_i}{W_i} \right) \rightarrow \left| w_t = \ln \frac{W_t}{W} \approx \frac{W_{it} - W_i}{W_i} \right| \rightarrow \ln w_0 \approx \\ &\approx \sum_{i=1}^L e_{iW_1, W_2, \dots, W_L} \ln w_i, \end{aligned} \quad (28)$$

де $e_{iW_1, W_2, \dots, W_L}$ — еластичність W_{0t} відносно W_{it} , що оцінена для стану рівноваги.

В результаті лінеаризації та з урахуванням наведених вище позначень отримаємо наступну лінійну систему рівнянь (29)–(40):

рівняння сукупного попиту:

$$y_t = \frac{C}{Y} c_t + \frac{I}{Y} i_t + \frac{G}{Y} g_t, \quad (29)$$

$$c_t = -r_{t+1} + E_t(c_{t+1}), \quad (30)$$

$$r_{t+1} = (1 - \zeta)(y_{t+1} - k_{t+1} - x_{t+1}) + \zeta q_{t+1} - q_t, \quad (31)$$

$$q_t = \varphi(i_t - k_t), \quad (32)$$

рівняння сукупної пропозиції:

$$y_t = a_t + \alpha k_t + (1 - \alpha) h_t, \quad (33)$$

$$y_t - h_t - x_t - c_t = \eta^{-1} h_t, \quad (34)$$

$$\pi_t = \kappa(-x_t) + \beta E_t(\pi_{t+1}), \quad (35)$$

$$r_t^n = r_t + E_t(\pi_{t+1}), \quad (36)$$

рівняння, що описує зміну стану:

$$k_{t+1} = \delta i_t + (1 - \delta) k_t, \quad (37)$$

монетарне правило:

$$r_t^n = \rho r_{t-1}^n + \zeta \pi_{t-1} + \varepsilon_t^m, \quad (38)$$

шоки:

$$g_t = \rho_g g_{t-1} + \varepsilon_t^g, \quad (39)$$

$$a_t = \rho_a a_{t-1} + \varepsilon_t^a, \quad (40)$$

де
$$\zeta = \frac{1 - \delta}{1 - \delta + \alpha \frac{Y}{K}}, \varphi = \frac{\left(\left(\Phi \left(\frac{I_t}{K_t} \right) \right)^{-1} \right)}{\left(\left(\Phi \left(\frac{I_t}{K_t} \right) \right)^{-1} \right)}, \eta = 1 - H, \kappa = \left(\frac{1 - \theta}{\theta} \right) (1 - \theta \beta).$$

Рівняння (29) отримано шляхом лінеаризації рівності (22). Рівняння (30) можна отримати з рівняння (3). Воно відображає міжчасовий зв'язок споживання товарів та послуг домогосподарствами. Лінеаризуючи рівняння (11) з урахуванням того, що $Q=1$ у стані рівноваги, отримуємо рівняння (31), яке описуватиме формування вартості капіталу. З рівняння (9) можна отримати рівняння (32). Лінеаризація функції Коба-Дугласа (6) дає можливість отримати рівняння (33). Рівняння (34) можна отримати лінеаризуючи рівняння (4), де реальна зарплата замінена граничним продуктом праці з функції Коба-Дугласа (6).

Рівняння (35) отримано шляхом лінеаризації рівнянь (20) та (21). Оскільки дана лінеаризація є дещо складнішою, наведемо її детальне виведення.

Лінеаризуючи (21) отримаємо:

$$p_t = \theta p_{t-1} + (1 - \theta) p_t^* \quad (41)$$

Позначимо $V_{t+k} = \frac{1}{C_{t+k}} P_{t+k}^c Y_{t+k}^f$. Лінеаризуючи (20), з використанням наслідку рівняння (20) у стаціонарному стані $P^* = \frac{\epsilon}{\epsilon - 1} P^w$ та правила суми нескінченної спадної геометричної прогресії, отримаємо:

$$p_t^* = \frac{\epsilon}{\epsilon - 1} \frac{P^w}{P^*} \sum_{k=0}^{\infty} E_{t-1} p_{t+k}^w \frac{\theta^k \beta^k V}{\sum_{k=0}^{\infty} \theta^k \beta^k V} + \frac{\epsilon}{\epsilon - 1} \frac{V}{P^*} \sum_{k=0}^{\infty} E_{t-1} V_{t+k} \frac{\theta^k \beta^k P^w \sum_{k=0}^{\infty} \theta^k \beta^k V - \theta^k \beta^k \sum_{k=0}^{\infty} \theta^k \beta^k V P^w}{\left(\sum_{k=0}^{\infty} \theta^k \beta^k V \right)^2} =$$

$$= (1 - \theta \beta) \sum_{k=0}^{\infty} E_{t-1} \theta^k \beta^k p_{t+k}^w \quad (42)$$

Продовжимо виведення рівняння (35) основи [5]. Позначимо $\pi_t = p_t - p_{t-1}$ як логарифм ділення рівня цін за період t на рівень цін за період $t-1$. Проітеруємо (42) вперед (тобто запишемо рівняння (42) для періоду $t+1$), візьмемо матсподівання та, використовуючи закон ітерованих матсподівань, отримаємо:

$$E_t p_{t+1}^* = (1 - \theta \beta) \sum_{k=0}^{\infty} E_t \theta^k \beta^k p_{t+1+k}^w \quad (43)$$

На основі (42) та (43) отримаємо:

$$p_t^* = (1 - \theta \beta) p_t^w + \theta \beta E_t p_{t+1}^* \quad (44)$$

Використовуючи (41):

$$p_t^* = \frac{1}{1 - \theta} (p_t - \theta p_{t-1}) \quad (45)$$

Проітеруємо (45) вперед та знайдемо матсподівання:

$$E_t p_{t+1}^* = \frac{1}{1 - \theta} E_t (p_{t+1} - \theta p_t) \quad (46)$$

Підставимо (45) та (46) у (44) та, спростивши, одержимо:

$$p_t - \theta p_{t-1} = (1 - \theta)(1 - \theta \beta) p_t^w + \theta \beta E_t (p_{t+1} - \theta p_t) \quad (47)$$

До обох сторін (47) додамо θp_t та віднімемо p_t , використовуючи визначення інфляції, відповідно після перетворень отримаємо:

$$\theta\pi_t = (1-\theta)(1-\theta\beta)p_t^w + \theta\beta E_t\pi_{t+1} - (1-\theta)(1-\theta\beta)p_t. \quad (48)$$

На основі (48):

$$\pi_t = \frac{(1-\theta)(1-\theta\beta)}{\theta}(p_t^w - p_t) + \beta E_t\pi_{t+1}. \quad (49)$$

Пам'ятаючи, що $P_t^w = \frac{P_t}{X_t} \rightarrow p_t^w = p_t - x_t$, на основі (49) отримаємо:

$$\pi_t = \frac{(1-\theta)(1-\theta\beta)}{\theta}(-x_t) + \beta E_t\pi_{t+1}, \quad (50)$$

що і треба було довести.

Рівняння (36) є лінеаризацією номінальної процентної ставки. Лінеаризуючи рівняння (7), отримаємо рівняння (37). Лінеаризуючи рівняння (25) та (26), отримаємо відповідно рівняння (39) та (40), що описують можливі шоки економічної системи. Правило монетарної політики (38) отримано шляхом лінеаризації (24) з додаванням монетарного шоку.

Калібрація моделі та аналіз результатів розрахунків. На основі квартальних статистичних даних за період 2002–2010 рр. довгострокове відношення споживання до ВВП становить 59 %, інвестицій до ВВП — 23 %, державних витрат до ВВП — 18 %. Відношення рівня капіталу до ВВП — 10, $X = 1.1$, $\beta = 0.95$, $\alpha = 0.35$, $\delta = 0.025$, $\rho = 0.8$, $\rho_a = 0.99$, $\rho_g = 0.95$, $\varphi = 0.25$, $\theta = 0.75$.

Для оцінки потенціалу каліброваної моделі щодо опису динаміки макроекономічних змінних пропонуємо порівняти її з класичною VAR-моделлю. Зокрема розглянемо реакцію ВВП на зміну ставки рефінансування НБУ, що є одним із інструментів монетарної політики. Для базового порівняння результатів динамічної стохастичної моделі загальної рівноваги використаємо розроблену нами VAR-модель, що складається з реального ВВП, індексу споживчих цін (ІСЦ) та ставки рефінансування. Зауважимо, що попередньо дані згладжено фільтром X-12-ARIMA з метою виокремлення сезонних квартальних коливань. На рис. 3 відображено функцію відгуку реального ВВП на зміну ставки рефінансування. Неочікуваний позитивний шок ставки рефінансування спочатку приводить до падіння ВВП, а приблизно через п'ять кварталів, реальний обсяг виробництва починає повертатися до рівноважного значення.

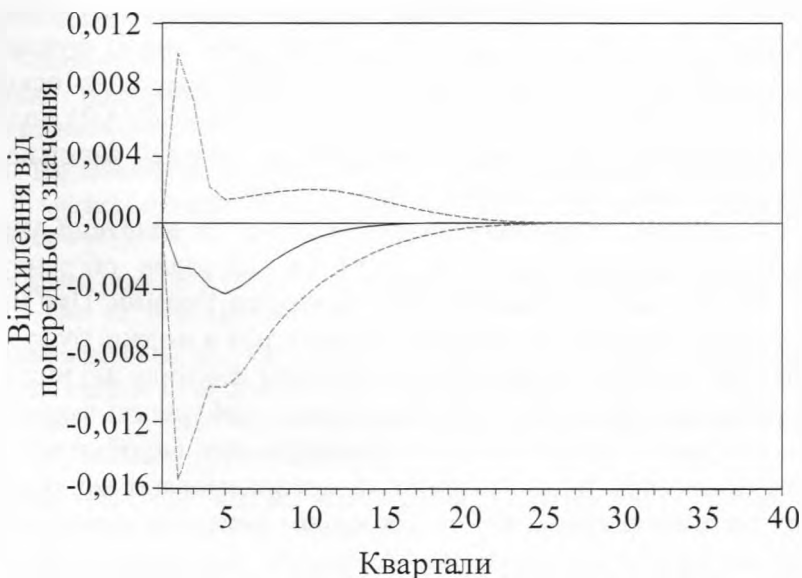


Рис. 3. Імпульсна функція відгуку ВВП на зміну ставки рефінансування, отримана на основі реалізації VAR-моделі. Червоною лінією позначено 95 % довірчий інтервал

Подібну форму має функція відгуку, отримана на основі динамічної стохастичної моделі загальної рівноваги, але у даному випадку значення шоку значно більше (у VAR-моделі шок є практично незначимим), а його вплив — триваліший (рис. 4).

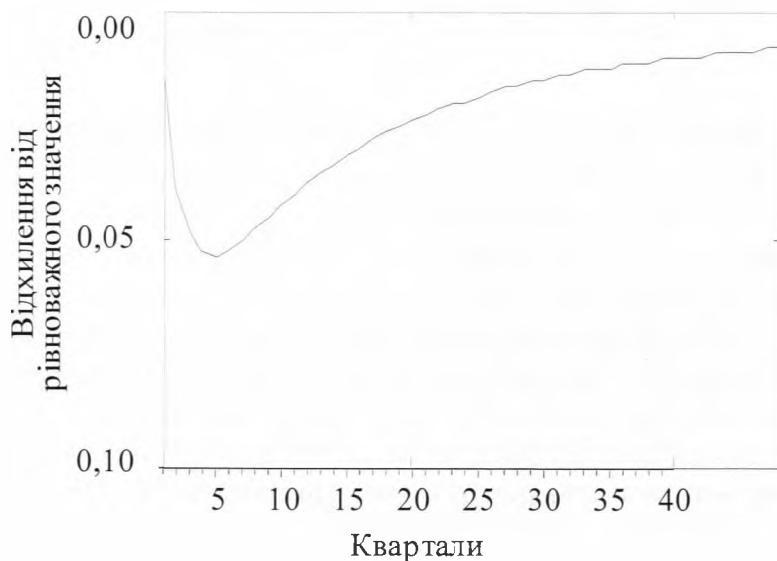


Рис. 4. Імпульсна функція відгуку ВВП на зміну ставки рефінансування, отримана на основі реалізації динамічної стохастичної моделі загальної рівноваги (ДСЗР — моделі)

Незважаючи на схожість реакції ВВП на зміну ставки рефінансування НБУ у моделі ДСЗР до функції відгуку у VAR-моделі, поки що важко стверджувати, що даний тип реакції є характерним для економіки України внаслідок недостатності емпіричних досліджень. У нашому випадку функція відгуку має схожу форму з функцією, наприклад, для економіки США. З іншої сторони слід зазначити, що існують й альтернативні варіанти. Приміром у роботах [1] та [2], які моделюють економіку України, відгук ВВП на зміну ставки рефінансування має форму синусоїди зі спадною амплітудою коливань. На нашу думку, пояснити таку поведінку досить важко і ми схильні скоріше вважати, що реакція ВВП на неочікуваний негативний шок ставки рефінансування, має U-форму. Така форма функції відгуку означає, що ВВП починає спадати, а досягнувши критичного рівня, повертається до рівноважного стану. Поки що немає підстав вважати, що ВВП після спаду перевищить свій стаціонарний рівень, тобто спостерігатиметься ефект перевищення (*overshooting*). Загалом, проведений порівняльний аналіз функцій імпульсних відгуків для інших макроекономічних показників, розрахованих на основі динамічної стохастичної моделі та атеоретичної векторної авторегресійної (VAR) моделі підтвердив перспективність застосування динамічних стохастичних моделей загальної рівноваги на практиці та їх альтернативність порівняно з VAR-моделями.

Висновки. Проведений детальний аналіз побудови та адаптації неокейнсіанської динамічної стохастичної моделі загальної рівноваги дозволив обґрунтувати систему рівнянь, яка може складати основу макромоделі економіки України. При цьому було враховано ряд особливостей, зокрема введення негнучких цін в модель було здійснено шляхом задання дерева гри, що дозволило чітко виокремити фактори, які впливають на встановлення цін виробниками. Крім того, було враховано особливості формування вартості капіталу при умові існування витрат на встановлення нових виробничих потужностей в умовах української економіки. Було показано та проаналізовано всі головні проблемні кроки переходу від системи рівнянь, які на мікрорівні описують поведінку економічних агентів, до системи, що описує поведінку макрозмінних. Для аналізу ефективності застосування адаптованої динамічної стохастичної моделі загальної рівноваги для опису економіки України було проведено порівняння її функцій відгуків з результатами розробленої нами векторної авторегресійної (VAR) моделі, відібраної як еталон, що є

ефективним в прогнозуванні, але через свою атеоретичну природу, слабо розкриває базові зв'язки у рамках економічної системи. Проведений порівняльний аналіз, зокрема функції відгуку ВВП на зміну ставки рефінансування, що є важливим інструментом монетарної політики НБУ, показав схожість реакції за обома моделями. Незважаючи на те, що немає одностайної думки щодо справжньої реакції ВВП на інструменти монетарної політики, аналогічність отриманих результатів дозволяє стверджувати, що динамічну стохастичну модель загальної рівноваги можна використовувати як ефективний інструмент для кращого розуміння монетарного трансмісійного механізму з врахуванням поведінки економічних агентів на мікроекономічному рівні, що не можливо отримати за VAR-моделлю.

Важливими наступними кроками в рамках удосконалення моделі є врахування та більш детальне моделювання інших елементів економічної системи, зокрема фондового ринку, зовнішнього сектору, введення в модель ефекту фінансового акселератора тощо. Це дасть можливість точніше описати економіку України та ефективніше проводити монетарну та фіскальну політику держави.

Література

1. Баженова Ю. І. Моделювання впливів монетарної та фіскальної політик на макроекономічну стабільність держави: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. екон. наук: спец. 08.00.11 «Математичні методи, моделі та інформаційні технології в економіці» / Ю. І. Баженова. — Київ: нац. ун-т ім. Т. Шевченка. — Київ, 2009. — С. 20.
2. Геєць В. М. Секторальні макромоделі прогнозування економіки України / [В. М. Геєць, М. І. Скрипниченко, М. М. Соколик та інші] // Економіст. — 1998. — № 5. — С. 58–67.
3. Клебанова Т. С. Модели и методы координации в крупномасштабных экономических системах / Т. С. Клебанова, Е. В. Молдавская. — Х. : ЧангХонгвен. — Бизнес-Информ, 2002. — 148 с.
4. Левицкий С. И. Модели управления проектами в нестабильной экономической среде / [С. И. Левицкий, Ю. Г. Лысенко, А. В. Филиппов и др.] // Под ред. чл.-корр. НАН Украины Ю. Г. Лысенко. — Донецк : Юго-Восток, 2009. — 354 с. — (Сер. : Управление жизнеспособными системами).
5. Лук'яненко І. Г. Динамічні макроеконометричні моделі. Новий концептуальний підхід / І. Г. Лук'яненко. — К. : ВД «КМ Академія», 2003. — 50 с.
6. Монетарний трансмісійний механізм в Україні: Науково-аналітичні матеріали. Вип. 9 / [В. І. Міщенко, О. І. Петрик, А. В. Сомик, та ін.] — К. : Національний банк України. Центр наукових досліджень, 2008. — 144 с.
7. Скрипниченко М. І. Прикладні аспекти формування міжкраїнних моделей економічного розвитку / М. І. Скрипниченко // Економіка і прогнозування. — 2005. — № 1. — С. 92–109.
8. Султан К. Методологічні аспекти розробки та практичного застосування макроеконометричної моделі України : монографія / К. Султан, І. Г. Лук'яненко, Ю. О. Городніченко. — К. : Видавничий дім «КМ Academia», 2000. — 204 с.
9. Bernanke B. The financial accelerator model in a quantitative business cycle framework / B. Bernanke, M. Gertler, S. Gilchrist // NBER Working paper. — 1998. — No. 6455. — Available from: <http://www.nber.org/papers/w6455>.
10. Calvo G. Staggered prices in a utility maximizing framework / G. Calvo // Journal of Monetary Economics. — 1983. — No. 12. — P. 383–398.
11. Cottrell A. Derivation of the new Keynesian Phillips curve / A. Cottrell, S. Mazumder // Applied Economics Research Bulletin Peer-Reviewed Working Paper Series. — 2010. — Available from: <http://berkeleymath.com/Documents/Derivation%20of%20the%20New%20Keynesian%20Phillips%20Curve-Cottrell,%20Mazumder%202010.pdf>.
12. Dixit A. Monopolistic competition and optimum product diversity / A. Dixit, J. Stiglitz // American Economic Review. — 1977. — No. 67. — P. 297–308.
13. Hayashi F. Tobin's marginal Q and average Q: A neoclassical interpretation / F. Hayashi // Econometrics. — 1982. — No. 50.
14. Taylor J. Discretion versus policy rules in practice / J. Taylor // Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy. — 1993. — No. 39.