

**ПРО ОСОБЛИВОСТІ СТАНОВЛЕННЯ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ<sup>1</sup>**

**Анотація.** Представлено новий метод дослідження рівноважних станів економіки. Дано класифікацію рівноважних станів. Сформульовано основний принцип рівноваги економіки з довідками, який застосовано для отримання рівняння обігу грошей. Означено поняття сталого економічного розвитку. Проаналізовано динаміку української економіки. Запропоновано принцип відповідності обмінного курсу і темпу інфляції визначальним чинникам.

**Ключові слова:** обмінний курс, прогноз, сталий економічний розвиток, рецесія.

**ВСТУП**

Метою статті є формулювання принципу сталого економічного розвитку та критерію близькості стану економічної системи до рецесії. Як показано одним з авторів у статтях [1–6], близькість до рецесії визначається якістю рівноваги економіки. Коли кратність виродження стану економічної рівноваги невисока, можна говорити про сталий економічний розвиток. У разі, коли кратність виродження висока, попит на визначальну групу товарів є низьким. За низького попиту на визначальну групу товарів економічна система може перейти у стан рецесії [1–6]. На макроекономічному рівні це супроводжується інфляцією, девальвацією національної валюти, спадом цін активів. Явище називається зломом обмінного механізму. Його можна виявити завчасно зі статистичних даних про структуру виробництва, випуски, зовнішньоекономічні зв'язки.

Є багато факторів, що спричиняють порушення стійкості економіки, проте всі вони виступають лише спусковими гачками для руйнації обмінного механізму. Прихованою причиною зламу обмінного механізму є якість рівноважного стану, її зумовлюють структурні характеристики економіки [1–6].

Рівновага відкритої економіки визначається структурою виробництва, системою оподаткування, наявністю природних і неприродних монополій, структурою зовнішньо-економічних зв'язків і структурою попиту на товари.

Зміна технологій виробництва в деяких галузях може виявитися технологічним шоком для решти галузей виробництва. Останнє може зумовити зміну системи оподаткування, структури попиту на товари, внаслідок чого в економіці встановиться певний новий стан рівноваги. Судити про якість цього рівноважного стану можна на підставі кратності його виродження. З іншого боку це вплине на рівень цін в економіці, валютний курс, грошову масу. Надзвичайно важливо встановити зв'язок між мікроекономічним і макроекономічним описом, тобто дати характеристику стану економічної рівноваги в термінах ВВП, грошової маси та ставки рефінансування.

Розглянемо зв'язок між монетарною політикою та рецесією економіки. Передусім з'ясуємо, яким є вплив монетарної політики на обмінний курс у нелінійних регресивних моделях і встановимо рівняння грошового обігу. Опис курсу національна валюта/долар США за допомогою випадкового процесу, що задовольняє різницеє стохастичне рівняння, підтверджує, що логарифм обмінного курсу є бездрифтовим випадковим блуканням. На цій підставі знайде-

<sup>1</sup>Роботу підтримано Програмою фундаментальних досліджень НАН України (проект № 0118U003196).

но рівняння грошового обігу 2015–2017 рр. У цій статті, з урахуванням того, що обмінний курс щодо долару США є показником економічної рівноваги з довкіллям, складено канонічне рівняння грошового обігу, яке є функційною залежністю між кількістю грошей в економіці, ВВП і ставкою рефінансування Центрального банку держави. Останнє надає змогу визначити поняття сталого економічного розвитку і його стійкості. Відхилення від цього означає різний ступінь наближення економіки до рецесії. Визначені поняття застосовано до економіки України. Далі досліджено адекватність обмінного курсу визначальним факторам та сформульовано динамічну стохастичну модель еволюції обмінного курсу і темпу інфляції як неспостережуваний випадковий процес, який оцінено методом фільтра Калмана [7, 8].

#### МОДЕЛЬ ОБМІННОГО КУРСУ

Наведемо евристичні доводи для рівняння, що описує грошовий обіг. Спочатку виведемо рівняння дискретної еволюції курсу гривня/долар США. Нехай  $p_t$  і  $p_t^*$  — це логарифми індексів споживчих цін у момент часу  $t$  для двох держав, тоді з точністю до сталої, залежної лише від вибору цін базового року, різниця  $p_t - p_t^*$  є логарифмом курсу гривня/долар США з урахуванням монетарної теорії формування обмінного курсу. Щоб одержати рівняння, яке описує курс, скористаємося рівнянням грошового обігу двох країн у вигляді

$$m_t = p_t + ky_t - \lambda r_t, \quad (1)$$

$$m_t^* = p_t^* + k^* y_t^* - \lambda^* r_t^*, \quad (2)$$

де  $m_t$ ,  $y_t$ ,  $r_t$  — відповідно логарифми пропозиції грошей, ВВП і ставки рефінансування Центрального банку на момент часу  $t$ , а  $k$ ,  $\lambda$ ,  $k^*$ ,  $\lambda^*$  — певні сталі. Рівняння (2) стосується закордонної економіки. Логарифм обмінного курсу з точністю до сталої, яка визначається базовою ставкою, має такий вигляд:

$$s_t = p_t - p_t^* + a. \quad (3)$$

З формул (1)–(3) маємо

$$s_t = a + m_t - m_t^* - (ky_t - k^* y_t^*) + \lambda r_t - \lambda^* r_t^*. \quad (4)$$

Рівняння (4) потребує багатьох припущень, зокрема, щодо гнучкості цін в обох економіках. Досить складно аргументувати нехтування ринком товарів, праці, зовнішніми економічними зв'язками. Спростимо модель, поклавши  $k^* = k$ ,  $\lambda^* = \lambda$ . З (4) одержуємо

$$s_t = a + m_t - m_t^* - k(y_t - y_t^*) + \lambda(r_t - r_t^*). \quad (5)$$

Слід визначити коефіцієнти у рівнянні (5). Простий зв'язок між обмінним курсом, індексами споживчих цін, ВВП і пропозицією грошей у рівнянні грошового обігу (5) не може справджуватися детерміністично через обмеження монетарної моделі. Навіть рівняння грошового обігу як таке не є відомим.

Далі припустимо, що відхилення лівої частини (5) від правої є випадковим процесом. Нехай дискретний випадковий процес  $\zeta_{k+1,i}$ ,  $i = \overline{-p, 0}$ , і  $k$  факторів

$$X_i = \{x_{ji}\}_{j=0}^k, \quad i = \overline{0, n}, \quad X_0 = \{x_{j0}\}_{j=1}^k, \quad x_{j0} = 1, \quad j = \overline{1, k},$$

є такими, що

$$\sum_{s=0}^p a_s \zeta_{k+1,i-s} - f_i(X_0, X_1, \dots, X_k) = \varepsilon_i, \quad i = \overline{1, n}, \quad (6)$$

де  $a_0 = 1$ , випадкові величини  $\zeta_{k+1,-p}, \dots, \zeta_{k+1,0}$  є відомими, випадкові величини

ни  $\varepsilon_i, i = \overline{1, n}$ , є незалежними з нульовим середнім і дисперсією  $\sigma^2$ , при цьому  $\zeta_{k+1, -p}, \dots, \zeta_{k+1, 0}$  не залежать від  $\varepsilon_i, i = \overline{1, n}$ , функції  $f_i(X_0, X_1, \dots, X_k), i = \overline{1, n}$ , є нелінійними функціями факторів. Найважливішим є випадок, коли

$$f_i(X_0, X_1, \dots, X_k) = \sum_{j=0}^k b_j x_{ji}, i = \overline{1, n},$$

і рівності (6) набувають вигляду

$$\zeta_{k+1, i} - \sum_{j=0}^k b_j x_{ji} = \varepsilon_i, i = \overline{1, n}. \quad (7)$$

Надалі вважатимемо, що випадкові змінні  $\zeta_{k+1, i}, i = \overline{1, n}$ , є незалежними та мають спільний нормальний розподіл із середнім  $E\zeta_{k+1, i} = \sum_{j=0}^k b_j x_{ji}$  і дисперсією  $\sigma^2$ .

Із (7) випливає, що найкращий прогноз випадкового процесу  $\zeta_{k+1, -p}, \dots, \zeta_{k+1, 0}$  — це його середнє. Щоб виразити в зручний спосіб оцінку максимальної правдоподібності для вектора  $b = \{b_0, b_1, \dots, b_k\}$  і коефіцієнта детермінації, що є кореляцією процесу і його прогнозу, визначимо матрицю  $X$ , стовпцями якої є вектори  $X_i, i = 0, k$ , де

$$X_i = \{x_{ij}\}_{j=1}^n, i = \overline{1, k}, X_0 = \{e_j\}_{j=1}^n, e_j = 1, j = \overline{1, n}. \quad (8)$$

Тоді цю матрицю можна подати як

$$X = \begin{pmatrix} 1, x_{11}, \dots, x_{k1} \\ \dots\dots\dots \\ 1, x_{1n}, \dots, x_{kn} \end{pmatrix},$$

а систему рівнянь (7) як

$$\zeta_{k+1} = Xb + \varepsilon, \quad (9)$$

де  $\zeta_{k+1} = \{\zeta_{k+1, i}\}_{i=1}^n, \varepsilon = \{\varepsilon_i\}_{i=1}^n$  — вектор-стовпці з відповідними елементами  $\zeta_{k+1, i}$  та  $\varepsilon_i$ . Нехай рангом матриці  $X$  є  $k+1$ . Позначимо  $A = X^T X$  симетричну матрицю, яка має обернену. При цьому оцінка максимальної правдоподібності (ОМП) для коефіцієнтів вектора-стовпця  $b = \{b_0, b_1, \dots, b_k\}$  є незміщеною та може бути подана як

$$\bar{b} = A^{-1} X^T \zeta_{k+1}. \quad (10)$$

Якість регресійної моделі визначається вибірковою коефіцієнтом множинної кореляції між вибіркою і прогнозом

$$R_{n-1} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{k+1, i} - \overline{x_{k+1}})(x_{k+1, i}^1 - \overline{x_{k+1}^1})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{k+1, i} - \overline{x_{k+1}})^2 \sum_{i=1}^n (x_{k+1, i}^1 - \overline{x_{k+1}^1})^2}}, \quad (11)$$

де  $x_{k+1}^1 = X\bar{b} = \{x_{k+1, i}^1\}_{i=1}^n$ , та  $\overline{x_{k+1}} = \frac{\sum_{i=1}^n x_{k+1, i}}{n}, \overline{x_{k+1}^1} = \frac{\sum_{i=1}^n x_{k+1, i}^1}{n}$ .

Легко показати, що для  $R_{n-1}^2$  є справедливим подання

$$R_{n-1}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{k+1, i}^1 - \overline{x_{k+1}^1})^2}{\sum_{i=1}^n (x_{k+1, i} - \overline{x_{k+1}})^2}. \quad (12)$$

Величину  $R_{n-1}^2$  називають коефіцієнтом детермінації. Що ближче він до одиниці, то вища якість регресії. Щоб його обчислити, зручно записати його як

$$R_{n-1}^2 = \frac{\langle x_{k+1} - \overline{x_{k+1}}, X_1 A_1^{-1} X_1^T (x_{k+1} - \overline{x_{k+1}}) \rangle}{\langle x_{k+1} - \overline{x_{k+1}}, x_{k+1} - \overline{x_{k+1}} \rangle}, \quad (13)$$

де

$$X_1 = \begin{pmatrix} x_{11}^1, \dots, x_{k1}^1 \\ \dots \\ x_{1n}^1, \dots, x_{kn}^1 \end{pmatrix}, \quad (14)$$

$$x_{ji}^1 = x_{ji} - \frac{\sum_{i=1}^n x_{ji}}{n}, \quad A_1 = X_1^T X_1, \quad x_{k+1} - \overline{x_{k+1}} = \left\{ x_{k+1,i} - \frac{\sum_{i=1}^n x_{k+1,i}}{n} \right\}_{i=1}^n, \quad \text{і } \langle a, b \rangle —$$

скалярний добуток векторів  $a$  і  $b$ . Оцінкою ОМП для дисперсії  $\sigma^2$  є

$$\sigma^2 = \frac{\langle x_{k+1} - \overline{x_{k+1}}, x_{k+1} - \overline{x_{k+1}} \rangle}{n}. \quad (15)$$

Про якість факторів можна судити зі статистики Снедекора-Фішера

$$\eta_{n-k-1, k+1} = \frac{\langle \varepsilon, (I - XA^{-1}X^T)\varepsilon \rangle}{\langle \varepsilon, XA^{-1}X^T\varepsilon \rangle} \frac{(k+1)}{(n-k-1)}, \quad (16)$$

де  $\varepsilon = \{\varepsilon_i\}_{i=1}^n$ , і випадкові значення  $\varepsilon_i = \frac{\zeta_{k+1,i} - E\zeta_{k+1,i}}{\sigma}$ ,  $i = \overline{1, n}$ , мають нормальний розподіл  $N(0, 1)$  з нульовим середнім і одиничною дисперсією, а також є взаємно незалежними. Величина  $E\zeta_{k+1,i}$  є середнім значенням випадкової величини  $\zeta_{k+1,i}$ .

#### КАНОНІЧНЕ РІВНЯННЯ ГРОШОВОГО ОБІГУ

Рівняння грошового обігу в економіці може слугувати додатковим знаряддям аналізу наближення економіки до рецесії. Проте немає математичних методів, які дають змогу отримати залежності між кількістю грошей в економіці, ВВП і ставкою рефінансування Центрального банку. Як показав один із авторів у роботі [1], коли попит на певну групу товарів є меншим за пропозицію, ВВП спадає і національна валюта девальвує. Глибина спаду ВВП залежить від якості рівноважного стану, тобто від кратності виродження рівноважного стану економіки.

Центральний банк може відреагувати по-різному: або знизити ставку рефінансування для збільшення обсягу грошей в економіці, коли метою є реформа сектору економіки, в якому попит на певну групу товарів є досить низьким, або підвищити її, щоб зменшити обсяг грошей в економіці для запобігання інфляції. Все це залежить від оцінки глибини рецесії в попиті. Правдоподібною гіпотезою є те, що загальним показником рівноваги економіки з довкіллям є курс національної валюти щодо долара США. Беручи до уваги викладене вище та монетарний підхід до формування обмінного курсу, встановимо стохастичне рівняння для прогнозу обмінного курсу щодо долара США. Найліпший прогноз обмінного курсу щодо долара США дає рівняння грошового обігу в зазначений період. Останнє надає змогу сформулювати умови сталого економічного розвитку. Узнявши статистику для України та США [9–11], встановлюємо рівняння грошового обігу та класифікуємо монетарну політику. Коли рівняння грошового

обігу економіки задовольняє умови сталого економічного розвитку, обсяг грошей можна регулювати зміною ставки рефінансування. Якщо кратність виродження рівноважного стану економіки є невисокою, Центральний банк може впливати на обсяг грошей в економіці.

У цьому розділі з використанням статистичних даних 2015–2017 рр. для України та США [9–11] встановлено стохастичне різницеве рівняння для курсу гривня/долар США. За відомих квартальних статистичних даних 2015–2017 рр. уведемо такі позначення. Залежна змінна  $Y_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ , описує еволюцію курсу гривня/долар США. Означимо вектор  $Y = \{Y_i\}_{i=1}^n$ . Нехай  $X_0 = \{e_i\}_{i=1}^n$ ,  $e_i = 1$ ,  $i = \overline{1, n}$ , — одиничний вектор-стовпець,  $G_1 = \{G_i^1\}_{i=1}^n$  та  $G_2 = \{G_i^2\}_{i=1}^n$  — вектор-стовпці ВВП України та США відповідно, а  $M_1 = \{M_i^1\}_{i=1}^n$ ,  $M_2 = \{M_i^2\}_{i=1}^n$  — вектори пропозиції грошей в Україні та США відповідно. Нехай  $R_1 = \{R_i^1\}_{i=1}^n$ ,  $R_2 = \{R_i^2\}_{i=1}^n$  — ставки рефінансування Національного банку України і Федеральної резервної системи США відповідно. Означимо вектори

$$\begin{aligned} m_1 &= \log(M_1) = \{\log M_i^1\}_{i=1}^n = \{m_i^1\}_{i=1}^n, \\ m_2 &= \log(Y * M_2) = \{\log(Y_i M_i^2)\}_{i=1}^n = \{m_i^2\}_{i=1}^n, \\ r_1 &= \log(R_1) = \{\log R_i^1\}_{i=1}^n = \{r_i^1\}_{i=1}^n, \quad r_2 = \log(R_2) = \{\log R_i^2\}_{i=1}^n = \{r_i^2\}_{i=1}^n, \\ g_1 &= \log(G_1) = \{\log G_i^1\}_{i=1}^n = \{g_i^1\}_{i=1}^n, \\ g_2 &= \log(Y * G_2) = \{\log(Y_i G_i^2)\}_{i=1}^n = \{g_i^2\}_{i=1}^n, \\ y &= \log(Y) = \{\log Y_i\}_{i=1}^n = \{y_i\}_{i=1}^n. \end{aligned}$$

Нехай вектор  $\{y_i\}_{i=1}^n$  є випадковим процесом, що задовольняє стохастичне рівняння

$$y_i = b_0 + b_1(m_i^1 - m_i^2) + b_2(g_i^1 - g_i^2) + b_3(r_i^1 - r_i^2) + \varepsilon_i, \quad i = \overline{1, n}, \quad (17)$$

де  $\varepsilon_i$  — незалежні випадкові величини з розподілом  $N(0, \sigma)$ . Означимо вектор-стовпці  $X_1 = m_1 - m_2$ ,  $X_2 = g_1 - g_2$ ,  $X_3 = r_1 - r_2$ , де  $X_i = \{x_{ij}\}_{j=1}^n$ ,  $i = \overline{0, 3}$ .

Оцінимо параметри, використовуючи формулу (10) з  $b_1 = 1$ . Нехай такими оцінками є  $b_0$ ,  $b_2$ ,  $b_3$ . З рівняння (17) одержуємо найкращий прогноз для обмінного курсу

$$Y_i = e^{b_0} \frac{M_i^1}{M_i^2 Y_i} \frac{[G_i^1]^{b_2}}{[G_i^2 Y_i]^{b_2}} \frac{[R_i^1]^{b_3}}{[R_i^2]^{b_3}}, \quad i = \overline{1, n}. \quad (18)$$

З рівняння (18) маємо рівність

$$M_i^1 = e^{-b_0} [Y_i]^2 M_i^2 [G_i^2 Y_i]^{b_2} [R_i^2]^{b_3} [G_i^1]^{-b_2} [R_i^1]^{-b_3}, \quad i = \overline{1, n}. \quad (19)$$

Позначимо  $F_i = e^{-b_0} [Y_i]^2 M_i^2 [G_i^2 Y_i]^{b_2} [R_i^2]^{b_3}$ ,  $f_i = \log F_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ , і розглянемо задачу

$$\min \sum_{i=1}^n (f_i - a_0 - a_2 g_i^1 - a_3 r_i^1)^2. \quad (20)$$

Тоді рівняння (19) можна подати в канонічній формі

$$M_i^1 = e^{a_0} [G_i^1]^{a_2 - b_2} [R_i^1]^{a_3 - b_3}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (21)$$

де  $a_0$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  — розв'язок задачі (20).

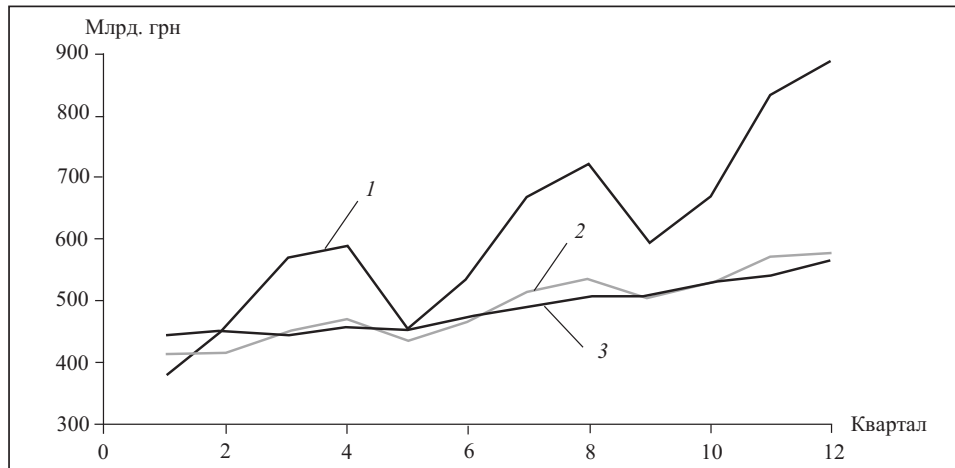


Рис. 1. Канонічне рівняння грошового обігу української економіки: 1 — ВВП України; 2 — пропозиція грошей; 3 — канонічне рівняння грошового обігу

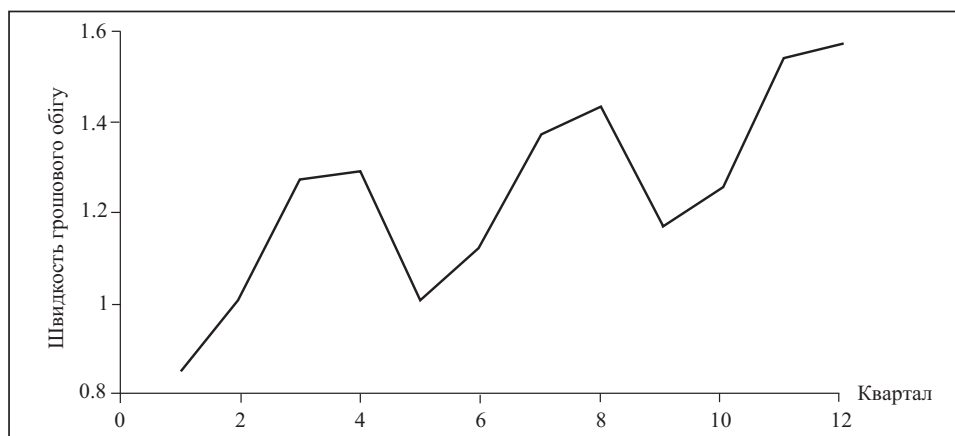


Рис. 2. Графік функції швидкості грошового обігу економіки України

Функційну залежність (21) між змінними  $M_i^1$ ,  $G_i^1$ ,  $R_i^1$  називатимемо канонічним рівнянням грошового обігу в  $i$ -му періоді,  $i = \overline{1, n}$ .

**Означення 1.** Економіка в період функціонування має сталий розвиток, якщо канонічне рівняння грошового обігу задовольняє умови  $L_2 = a_2 - b_2 > 0$ ,  $L_3 = a_3 - b_3 < 0$ , де  $a_2, a_3$  — розв’язок задачі (20), а  $b_2, b_3$  — компоненти вектора  $b = \{b_0, b_1, b_2, b_3\}$ , які входять у (17) і оцінку яких отримано вище.

Нижче подано аналіз економічного стану України на підставі статистичних даних 2015–2017 рр. [9–11]. Канонічне рівняння грошового обігу в економіці України задовольняє критерій сталого економічного розвитку, бо  $L_2 = 1.937858$ ,  $L_3 = -0.098206$ ,  $R_{11} = 0.75603$ .

При цьому  $L_2$  і  $L_3$  визначаються формулами  $L_2 = a_2 - b_2$ ,  $L_3 = a_3 - b_3$ . Задача (20) розв’язується за допомогою методу найменших квадратів. Стандартне відхилення становить  $\sigma = 0.086$ . Позначивши швидкість грошового обігу  $V_1$ , маємо

$$V_1 = \frac{G_1}{M_1}. \quad (22)$$

На рис. 1 наведено графіки часової зміни ВВП, пропозиції грошей та канонічного рівняння грошового обігу української економіки, а на рис. 2 — графік функції швидкості грошового обігу в 2015–2017 рр.

Протягом 2015–2017 рр. в Україні спостерігався тренд до економічного зростання з двома істотними провалами. Грошова політика, яку провадив Національний банк України, була виваженою та сприяла стабілізації української економіки. Згідно з канонічним рівнянням грошового обігу Національний банк України активно впливав на грошову масу в економіці. Швидкість зміни грошового обігу відповідала зміні величини ВВП.

#### СТІЙКІСТЬ СТАНУ ЕКОНОМІЧНОЇ РІВНОВАГИ

У цьому розділі надано специфічне означення стійкості стану економічної рівноваги. Його суть полягає у тому, що попередній обмінний курс не має чинити значний вплив на його майбутні значення, які істотно змінять стан економічної рівноваги. Отримані оцінки параметрів рівняння (17) надають змогу передбачити обмінний курс. Сформулюємо означення стійкості економіки в аналітичній формі. Хай випадковий процес  $y$  задовольняє стохастичне рівняння

$$y_i = b_0 + b_1(m_i^1 - m_i^2) + b_2(g_i^1 - g_i^2) + b_3(r_i^1 - r_i^2) + b_4 y_{i-1} + \varepsilon_i, \quad i = \overline{1, n}, \quad (23)$$

де  $\varepsilon_i$  — незалежні випадкові величини з розподілом  $N(0, \sigma)$ , а  $y_0$  — відоме число.

З рівняння (23) отримуємо найкращий прогноз для обмінного курсу

$$Y_i = e^{b_0} \frac{M_i^1}{M_i^2 Y_i} \frac{[G_i^1]^{b_2}}{[G_i^2 Y_i]^{b_2}} \frac{[R_i^1]^{b_3}}{[R_i^2]^{b_3}} [Y_{i-1}]^{b_4}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (24)$$

а з рівняння (24) — рівність

$$M_i^1 = e^{-b_0} [Y_i]^2 M_i^2 [G_i^2 Y_i]^{b_2} [R_i^2]^{b_3} [Y_{i-1}]^{-b_4} \times [G_i^1]^{-b_2} [R_i^1]^{-b_3}, \quad i = \overline{1, n}. \quad (25)$$

Позначимо  $F_i = e^{-b_0} [Y_i]^2 M_i^2 [G_i^2 Y_i]^{b_2} [R_i^2]^{b_3} [Y_{i-1}]^{-b_4}$ ,  $f_i = \log F_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ , і розглянемо задачу

$$\min \sum_{i=1}^n (f_i - a_0 - a_2 g_i^1 - a_3 r_i^1)^2. \quad (26)$$

Рівняння (26) можна подати в канонічній формі

$$M_i^1 = e^{a_0} [G_i^1]^{a_2 - b_2} [R_i^1]^{a_3 - b_3}. \quad (27)$$

**Означення 2.** Економіка в період функціонування перебуває у стійкому стані рівноваги, якщо канонічне рівняння грошового обігу (27) задовольняє умови  $L_2 = a_2 - b_2 > 0$ ,  $L_3 = a_3 - b_3 < 0$ , для значення числа  $y_0$ , що знаходиться в околі числа  $y_1$ , яке є першою компонентою вектора  $y$ . Як і раніше, дамо означення вектор-стовпців  $X_1 = m_1 - m_2$ ,  $X_2 = g_1 - g_2$ ,  $X_3 = r_1 - r_2$ ,  $X_4 = \{y_{i-1}\}_{i=1}^{n-1}$ , де  $X_i = \{x_{ij}\}_{j=1}^n$ ,  $i = \overline{0, 4}$ . Потрібно оцінити параметри як у (14) з  $b_1 = 1$ . У цьому розділі проведено аналіз економіки України з огляду на близькість до рецесії. Суттєвим є питання стійкості економічного розвитку. Для української економіки оцінка найменших квадратів дає  $L_2 = -6.7605$ , а оцінка стандартного відхилення  $\sigma = 0.070430$ . З цього випливає, що українська економіка перебувала у нестійкому стані з  $y_0 = 3.0248$ .

#### ЗАЛЕЖНІСТЬ ОБМІННОГО КУРСУ ВІД ВНУТРІШНІХ ФАКТОРІВ

У цьому та наступних розділах обґрунтовано припущення, зроблені у попередніх розділах. З'ясуємо, чи відіграє обмінний курс визначальну роль у встановленні рівноваги між відкритою економікою та її довкіллям. У цьому



розділі встановлено внутрішні визначальні фактори для обмінного курсу, а в наступному — запропоновано механізм перевірки відповідності темпу інфляції та обмінного курсу визначальним факторам. Припустимо, що неспостережуваний випадковий процес темпу інфляції та обмінного курсу задовольняє стохастичне рівняння, визначене внутрішніми факторами. Для оцінювання цього неспостережуваного процесу застосуємо метод фільтра Калмана.

З'ясуємо вплив інфляції, дефіциту бюджету, рівня цін енергоносіїв, поточного платіжного балансу, торговельного балансу та пропозиції грошей на обмінний курс. Нехай обмінний курс, як і раніше, є випадковим процесом, що задовольняє систему рівнянь (6). Обмінний курс зазнає впливу факторів  $X_i = \{x_{ij}\}_{j=1}^n$ ,  $i = 0, 5$ , де  $X_0 = \{e_i\}_{i=1}^n$ ,  $e_i = 1$ ,  $i = 1, n$ , — одиничний вектор-стовпець,  $X_1 = \{x_{1j}\}_{j=1}^n$  — рівень інфляції,  $X_2 = \{x_{2j}\}_{j=1}^n$  — дефіцит бюджету,  $X_3 = \{x_{3j}\}_{j=1}^n$  — ціна енергоносіїв,  $X_4 = \{x_{4j}\}_{j=1}^n$  — поточний платіжний баланс,  $X_5 = \{x_{5j}\}_{j=1}^n$  — торговельний баланс,  $X_6 = \{x_{6j}\}_{j=1}^n$  — пропозиція грошей. На підставі  $y = \log(Y) = \{\log Y_i\}_{i=1}^n = \{y_i\}_{i=1}^n$  припустимо, що випадковий процес  $y$  задовольняє систему рівнянь

$$y_i = b_0 + b_1 x_{1i} + b_2 x_{2i} + b_3 x_{3i} + b_4 x_{4i} + b_5 x_{5i} + b_6 x_{6i} + b_7 y_{i-1} + \varepsilon_i, \quad i = \overline{1, n}, \quad (28)$$

де  $\varepsilon_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ , — множина нормально розподілених за законом  $N(0, \sigma)$  незалежних випадкових величин, а  $y_0$  — фіксоване число. Для української економіки ОМП для вектора  $B = \{b_i\}_{i=0}^7$  дає  $b_0 = 2.8891 \cdot 10^0$ ,  $b_1 = 1.3063 \cdot 10^{-2}$ ,  $b_2 = -2.1495 \cdot 10^{-20}$ ,  $b_3 = -9.7866 \cdot 10^{-5}$ ,  $b_4 = 4.3277 \cdot 10^{-13}$ ,  $b_5 = -3.9417 \cdot 10^{-13}$ ,  $b_6 = -4.9350 \cdot 10^{-13}$ ,  $b_7 = 9.3165 \cdot 10^{-3}$  для  $y_0 = 3.0248$ . При цьому коефіцієнт детермінації  $R_{11}^2 = 0.98775$ , оцінка стандартного відхилення  $\sigma = 0.010399$ . Останнє свідчить про дуже тісний зв'язок обмінного курсу з інфляцією, бюджетним дефіцитом, цінами енергоносіїв, поточним платіжним балансом, торговельним балансом і пропозицією грошей.

#### ВІДПОВІДНІСТЬ ОБМІННОГО КУРСУ І ТЕМПУ ІНФЛЯЦІЇ ВИЗНАЧАЛЬНИМИ ФАКТОРАМИ

У попередньому розділі вивчено відповідність обмінного курсу визначальним факторам. Знайдений зв'язок є доволі тісним. Нижче запропоновано метод встановлення відповідності обмінного курсу визначальним факторам. Формування обмінного курсу та темпу інфляції в неконкурентних економіках може не відповідати факторам, які є визначальними для конкурентних економік. Причиною є монопольні впливи на економічні процеси та спотворення податкової системи, що долучаються до інфляційних процесів і зумовлюють неналежні зміни обмінного курсу. Враховуючи поняття відповідності обмінного курсу і темпу інфляції, з'ясуємо їхню відповідність визначальним факторам.

Певно, що обмінний курс гривня/долар США і темп інфляції визначаються цінами енергоносіїв, бюджетним дефіцитом, поточним платіжним балансом, торговельним балансом і пропозицією грошей. Складність проблеми в тому, що немає однозначної стохастичної динамічної еволюції економіки. Головним припущенням є те, що обмінний курс і темп інфляції визначаються певною множиною факторів і є неспостережуваним випадковим процесом, який потрібно оцінити.



**Таблиця 1.** Прогноз інфляції та обмінного курсу для української економіки у 2015–2017 рр.

Статистичні дані		Прогноз	
Інфляція, %	Курс гривня/долар США	Інфляція, %	Курс гривня/долар США
20.59	32.10	—	—
21.68	45.60	—	—
21.71	49.53	24.059	56.956
22.63	49.13	24.016	54.966
25.37	35.83	22.752	45.511
25.27	21.13	23.642	45.190
24.94	15.47	27.093	15.071
25.99	14.10	25.457	14.254
26.64	13.30	27.876	20.030
26.45	13.60	26.790	13.948
25.90	14.37	27.535	14.632
26.97	14.50	27.454	15.281

**Формулювання задачі.** Задано еволюцію факторів  $Y_i, i = \overline{1, N}$ , що можуть впливати на інфляцію та обмінний курс, а також еволюцію темпу інфляції та обмінного курсу  $x_i, i = \overline{1, N}$ , де вектор факторів є  $n$ -вимірним, а вектор  $x_i$  є дво-вимірним. Потрібно з'ясувати відповідність впливу факторів на інфляцію та обмінний курс. Далі припускаємо, що  $N = 5$ . Кожен вектор  $Y_i, i = \overline{1, 5}$ , має вимірність 12. Це — вектори бюджетного дефіциту, цін енергоносіїв, поточного платіжного балансу, торговельного балансу і пропозиції грошей.

Розв'язуємо задачу, будуючи неспостережуваний випадковий процес  $\bar{x}_k$ , який відповідає темпу інфляції та обмінному курсу в  $k$ -му періоді, що змінюється за законом

$$\bar{x}_{k+1} = F_{k,k+1}\bar{x}_k + w_k, \quad k = \overline{0, N-1}, \quad (29)$$

$$Y_{k+1} = H_k\bar{x}_k + v_k, \quad k = \overline{0, N-1}, \quad (30)$$

вважаючи  $w_k$  і  $v_k$  гавсівськими білими шумами, тобто,  $E w_k^i v_s^j = 0$ , де

$$E w_k^i v_s^j = \delta_{ks} \delta_{ij} a^i, \quad a^i > 0, \quad i = \overline{1, 2}, \quad E v_k^i v_s^j = \delta_{ks} \delta_{ij} b^i, \quad b^i > 0, \quad i = \overline{1, N},$$

з нульовим середнім  $E w_k = 0, E v_k = 0$ .  $F_{k,k+1} = E$  — одинична  $2 \times 2$ -матриця.

Матрицю  $H_k$  визначимо з умови мінімуму функціоналу

$$\min \sum_{i=1}^n \{ [Y_i^k - h_{i1}^k x_1^k - h_{i2}^k x_2^k]^2 + [Y_i^{k+1} - h_{i1}^k x_1^{k+1} - h_{i2}^k x_2^{k+1}]^2 \}, \quad (31)$$

де  $H_k = |h_{i1}^k, h_{i2}^k|_{i=1}^n$ ,  $Y_i^k = \{y_i^k\}_{i=1}^n$ ,  $k = \overline{1, N}$ .

У початковий момент часу

$$\hat{x}_0 = E \bar{x}_0, \quad (32)$$

$$P_0 = E(\bar{x}_0 - E\bar{x}_0)(\bar{x}_0 - E\bar{x}_0)^T. \quad (33)$$

Еволюцію оцінки стану описано формулою [7, 8]

$$\hat{x}_k^- = F_{k,k-1} \hat{x}_{k-1}^-. \quad (34)$$

Матрицю похибок періоду  $[k-1, k]$  задано виразом

$$P_k^- = F_{k,k-1} P_{k-1}^- F_{k,k-1}^T + Q_{k-1}. \quad (35)$$

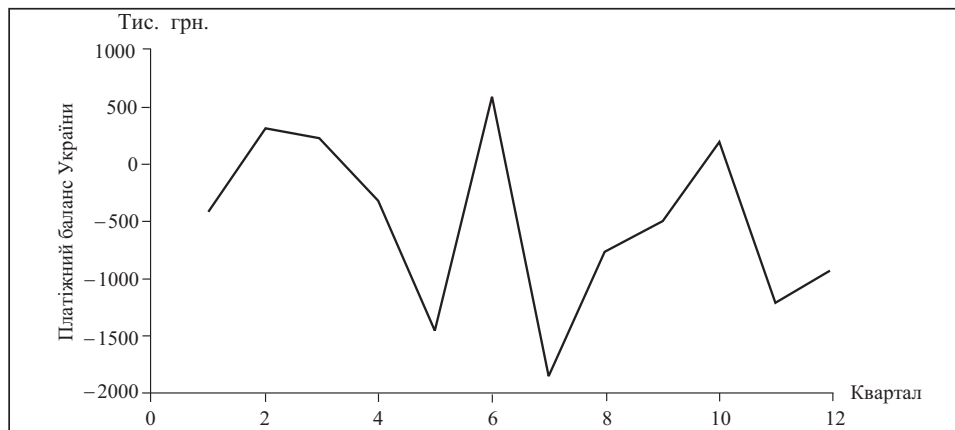


Рис. 3. Поточний платіжний баланс України

Матриця Калмана має вигляд

$$G_k = P_k^- H_k^T [H_k P_k^- H_k^T + R_k]^{-1} \text{ і } \hat{x}_k = \hat{x}_k^- + G_k (Y_{k+1} - H_k \hat{x}_k^-).$$

Оновлена матриця похибок має вигляд  $P_k = (E - G_k H_k) P_k^-$ . Припустимо, що  $F_{k,k+1} = E$ , де  $E$  — одинична  $2 \times 2$ -матриця.

У табл. 1 наведено квартальні дані щодо темпу інфляції та курсу гривня/долар США в Україні для 2015–2017 рр. Прогноз курсу гривня/долар США, що відповідає визначальним факторам, коливається згідно з поточним платіжним балансом, який був від’ємним у зазначені роки. На рис. 3 подано графік функції платіжного балансу України у 2015–2017 рр.

Прогноз темпу інфляції та обмінного курсу тісно корелює зі статистичними даними.

## ВИСНОВКИ

Сформульовано принцип рівноваги відкритої економіки з її довідками на основі такої гіпотези: обмінний курс національної валюти до долара США є показником рівноваги економіки з її довідками. На цій підставі встановлено канонічне рівняння грошового обігу в економіці, що є підґрунтям сформульованого принципу сталого економічного розвитку. Поза цим станом економіка може бути у стані рецесії чи близько до неї. Канонічне рівняння грошового обігу є основою класифікації станів економічної рівноваги. Якість стану економічної рівноваги визначають параметри канонічного рівняння грошового обігу. Основну гіпотезу про те, що курс національної валюти до долара США є показником рівноваги економіки з довідками, підтверджено дослідженням залежності обмінного курсу від визначальних внутрішніх факторів.

Вивчено відповідність темпу інфляції та обмінного курсу визначальним факторам за припущення, що темп інфляції та обмінний курс є неспостережуваним випадковим процесом, який визначається внутрішніми факторами. Для оцінювання цього процесу застосовано метод фільтра Калмана та проаналізовано економіку України.

Доведено, що економіка України задовольняла критерій сталого економічного розвитку протягом 2015–2017 рр. Прогноз обмінного курсу, визначений внутрішніми факторами, відхиляється від реального, коли поточний платіжний баланс має різкі спади.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Gonchar N.S., Kozyrski W.H., Zhokhin A.S. General equilibrium and recession phenomenon. *American Journal of Economics, Finance and Management*. 2015. Vol. 1, N 5. P. 559–573.
2. Gonchar N.S., Zhokhin A.S. Critical states in dynamical exchange model and recession phenomenon. *Journal of Automation and Information Science*. 2013. Vol. 45, N 1. P. 50–58.
3. Gonchar N.S. Mathematical foundations of information economics. Kiev: Inst. for Theoretical Physics, 2008. 468 p.
4. Gonchar N.S., Zhokhin A.S., Kozyrski W.H. On mechanism of recession phenomenon. *Journal of Automation and Information Sciences*. 2015. Vol. 47, N 4. P. 1–17.
5. Gonchar N. S., Kozyrski W.H., Zhokhin A.S., Dovzhyk O.P. Kalman filter in the problem of the exchange and the inflation rates adequacy to determining factors. *Noble International Journal of Economics and Financial Research*. 2018. Vol. 3, Iss. 3. P. 31–39.
6. Gonchar N.S. Mathematical model of banking operation. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2015. Vol. 51, N 3. P. 378–399.
7. Kalman R.E. A new approach to linear filtering and prediction problems. *Trans. ASME J. Basic Engineering, Ser. D*. 1960. Vol. 82. P. 34–45.
8. Kalman filtering and neural networks. Haykin S. (Ed.). New York: John Wiley & Sons, Inc., 2001. 410 p.
9. Статистичні дані Національного банку України. URL: [https://bank.gov.ua/control/uk/publish/article?art\\_id=65162&cat\\_sub\\_id=36674](https://bank.gov.ua/control/uk/publish/article?art_id=65162&cat_sub_id=36674).
10. Вебсайт Державної служби статистики України, розділ «Статистична інформація». URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/>.
11. Статистичні дані Організації економічного співробітництва та розвитку. URL: <https://data.oecd.org/>.

Надійшла до редакції 25.06.2019

### **Н.С. Гончар, А.С. Жохин, В.Г. Козырский** **ОБ ОСОБЕННОСТЯХ СТАНОВЛЕНИЯ ЭКОНОМИКИ УКРАИНЫ**

**Аннотация.** Представлен новый метод исследования равновесных состояний экономики. Дана классификация равновесных состояний. Сформулирован основной принцип равновесия экономики с окружением, который применен для получения уравнения обращения денег. На этой основе определено понятие устойчивого экономического развития. Проанализирована динамика украинской экономики. Предложен принцип соответствия обменного курса и темпа инфляции определяющим факторам.

**Ключевые слова:** обменный курс, прогноз, устойчивое экономическое развитие, рецессия.

### **N.S. Gonchar, A.S. Zhokhin, W.H. Kozyrski** **ON THE PECULIARITIES OF ESTABLISHING THE UKRAINIAN ECONOMY**

**Abstract.** We have proposed a new method to analyze equilibrium states of the economy and classified them. Also, we introduced the main principle of the economy-environment equilibrium and used it to obtain the money circulation equation. On this basis, we have defined the notion of sustainable economic development and analyzed the dynamics of the Ukrainian economy. We have proposed the principle of adequacy of exchange rate and rate of inflation to the critical factors.

**Keywords:** exchange rate, forecast, sustainable economic development, recession.

**Гончар Микола Семенович,**  
доктор фіз.-мат. наук, професор, завідувач лабораторії Інституту теоретичної фізики імені Миколи Боголюбова, Київ, e-mail: [mhonchar@i.ua](mailto:mhonchar@i.ua).

**Жохін Анатолій Сергійович,**  
кандидат фіз.-мат. наук, старший науковий співробітник Інституту теоретичної фізики імені Миколи Боголюбова, Київ, e-mail: [aszokhin@gmail.com](mailto:aszokhin@gmail.com).

**Козырський Володимир Глібович,**  
кандидат фіз.-мат. наук, старший науковий співробітник Інституту теоретичної фізики імені Миколи Боголюбова, Київ, e-mail: [kozyrski@ukr.net](mailto:kozyrski@ukr.net).