

УДК 519.25:330.43

МАРИНИЧ Т.О., НАЗАРЕНКО Л.Д.

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНИХ ЧАСОВИХ РЯДІВ

### 1. Вступ

Дослідження складних природних, технічних, екологічних, соціально-економічних динамічних систем і процесів вимагає пошуку та постійного удосконалення методів математичного моделювання для адекватного відтворення кількісних і якісних аспектів зазначених явищ та їх прогнозування. Залежність більшості параметрів цих систем від часу, багатоманітність зовнішніх та внутрішніх зв'язків, а також істотний вплив невизначених факторів актуалізує проведення порівняльного аналізу методів моделювання нестационарних часових рядів та панельних даних, що представляють досліджувані явища. Сучасні підходи поєднують теоретично обумовлені та емпіричні експериментальні моделі. Існуючі методики моделювання економічних систем базуються на оцінюванні одновимірних авторегресійних рівнянь (методика Бокса-Дженкінса) [1-2], систем одночасних економетричних рівнянь та балансових співвідношень (структурний підхід) [3-6], векторних моделей авторегресії та коінтеграційних рівнянь [7-11], динамічних стохастичних моделей загальної рівноваги [12], а також імітаційних моделей з використанням методу Монте-Карло та нейронних мереж [13]. Вибір оптимального підходу обумовлений метою моделювання, наявністю та повнотою відповідних статистичних даних і можливістю визначення екзогенних та ендогенних змінних. Вітчизняні економетричні дослідження представлені такими напрямками, як структурний комплексний аналіз функціонування системи в цілому [3]; короткострокове, середньострокове чи довгострокове прогнозування [3, 4]; оцінювання ефективності політики через вивчення реакції параметрів системи на керовані та некеровані шоки [11].

### 2. Мета та завдання дослідження

Метою роботи є порівняння прогнозних якостей авторегресійних (Autoregressive Moving Average Model, ARMA), векторних авторегресійних моделей (Vector Autoregressive Model, VAR) та векторних моделей корекції похибок (Vector Error Correction Model, VEC), що описують макроекономічні та фінансові процеси в Україні. Дослідження включає аналіз детермінованих та стохастичних компонент часових рядів, визначення класу стаціонарності; пошук найкращої специфікації та параметризації моделей, перевірки статистичної значущості параметрів та адекватності моделей у цілому; тестування залишків моделей та прогнозування за динамічним та статичним сценаріями.

### 3. Економетричні методи моделювання часових рядів

Найбільш розповсюдженим методом одновимірного моделювання часових рядів є підхід Бокса-Дженкінса [1], який складає прогноз майбутніх значень часового ряду на підставі лінійної комбінації його попередніх значень (рівняння авторегресії, AR) та збурень або випадкових шоків (рівняння ковзного середнього, MA). Методика передбачає попереднє дослідження стаціонарності ряду, для чого використовують розширений тест Дікі-Фулера, тест Філіпса-Перрона, побудову корелограми, що містить значення автокореляційної та часткової кореляційної функції [2]. При цьому велике значення має визначення класу стаціонарності – TS кореляційної функції [2]. При цьому велике значення має визначення класу стаціонарності – TS (тренд-стаціонарні ряди) чи DS (інтегровані ряди певного порядку) [14]. Якщо TS ряди потребують виділення тренду, то DS ряди для приведення до стаціонарного вигляду вимагають диференціювання, застосовуючи оператор послідовних різниць. Загальний вигляд інтегрованої авторегресійної моделі ковзного середнього ARIMA ( $p, d, q$ ) представлений рівнянням (1):

$$y'_t = c + \varphi_1 y'_{t-1} + \dots + \varphi_p y'_{t-p} + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \dots + \theta_q \varepsilon_{t-q} + \varepsilon_t. \quad (11)$$

Тут  $p$  – порядок авторегресії (кількість лагів моделі),  $d$  – порядок інтеграції та  $q$  – порядок ковзного середнього;  $\varphi_p$  – коефіцієнти авторегресії,  $\omega_q$  – коефіцієнти ковзного середнього,  $\varepsilon_t$  – помилка у момент часу  $t$  (процес «білого шуму»:  $E(\varepsilon_t)=0$ ,  $S(\varepsilon_t)=\text{const}$ ).

УДК 519.25:330.43

МАРИНИЧ Т.О., НАЗАРЕНКО Л.Д.

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНИХ ЧАСОВИХ РЯДІВ

### 1. Вступ

Дослідження складних природних, технічних, екологічних, соціально-економічних динамічних систем і процесів вимагає пошуку та постійного удосконалення методів математичного моделювання для адекватного відтворення кількісних і якісних аспектів зазначених явищ та їх прогнозування. Залежність більшості параметрів цих систем від часу, багатоманітність зовнішніх та внутрішніх зв'язків, а також істотний вплив невизначених факторів актуалізує проведення порівняльного аналізу методів моделювання нестационарних часових рядів та панельних даних, що представляють досліджувані явища. Сучасні підходи поєднують теоретично обумовлені та емпіричні експериментальні моделі. Існуючі методики моделювання економічних систем базуються на оцінюванні одновимірних авторегресійних рівнянь (методика Бокса-Дженкінса) [1-2], систем одночасних економетричних рівнянь та балансових співвідношень (структурний підхід) [3-6], векторних моделей авторегресії та коінтеграційних рівнянь [7-11], динамічних стохастичних моделей загальної рівноваги [12], а також імітаційних моделей з використанням методу Монте-Карло та нейронних мереж [13]. Вибір оптимального підходу обумовлений метою моделювання, наявністю та повнотою відповідних статистичних даних і можливістю визначення екзогенних та ендогенних змінних. Вітчизняні економетричні дослідження представлені такими напрямками, як структурний комплексний аналіз функціонування системи в цілому [3]; короткострокове, середньострокове чи довгострокове прогнозування [3, 4]; оцінювання ефективності політики через вивчення реакції параметрів системи на керовані та некеровані шоки [11].

### 2. Мета та завдання дослідження

Метою роботи є порівняння прогнозних якостей авторегресійних (Autoregressive Moving Average Model, ARMA), векторних авторегресійних моделей (Vector Autoregressive Model, VAR) та векторних моделей корекції похибок (Vector Error Correction Model, VEC), що описують макроекономічні та фінансові процеси в Україні. Дослідження включає аналіз детермінованих та стохастичних компонент часових рядів, визначення класу стаціонарності; пошук найкращої специфікації та параметризації моделей, перевірки статистичної значущості параметрів та адекватності моделей у цілому; тестування залишків моделей та прогнозування за динамічним та статичним сценаріями.

### 3. Економетричні методи моделювання часових рядів

Найбільш розповсюдженим методом одновимірного моделювання часових рядів є підхід Бокса-Дженкінса [1], який складає прогноз майбутніх значень часового ряду на підставі лінійної комбінації його попередніх значень (рівняння авторегресії, AR) та збурень або випадкових шоків (рівняння ковзного середнього, MA). Методика передбачає попереднє дослідження стаціонарності ряду, для чого використовують розширений тест Дікі-Фулера, тест Філіпса-Перрона, побудову корелограми, що містить значення автокореляційної та часткової кореляційної функції [2]. При цьому велике значення має визначення класу стаціонарності – TS кореляційної функції [2]. При цьому велике значення має визначення класу стаціонарності – TS (тренд-стаціонарні ряди) чи DS (інтегровані ряди певного порядку) [14]. Якщо TS ряди потребують виділення тренду, то DS ряди для приведення до стаціонарного вигляду вимагають диференціювання, застосовуючи оператор послідовних різниць. Загальний вигляд інтегрованої авторегресійної моделі ковзного середнього ARIMA ( $p, d, q$ ) представлений рівнянням (1):

$$y'_t = c + \varphi_1 y'_{t-1} + \dots + \varphi_p y'_{t-p} + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \dots + \theta_q \varepsilon_{t-q} + \varepsilon_t. \quad (11)$$

Тут  $p$  – порядок авторегресії (кількість лагів моделі),  $d$  – порядок інтеграції та  $q$  – порядок ковзного середнього;  $\varphi_p$  – коефіцієнти авторегресії,  $\theta_q$  – коефіцієнти ковзного середнього,  $\varepsilon_t$  – помилка у момент часу  $t$  (процес «білого шуму»:  $E(\varepsilon_t)=0$ ,  $S(\varepsilon_t)=\text{const}$ ).

При цьому для місячних або квартальних часових рядів необхідне проведення сезонного згладжування рядів або додавання фіктивних змінних сезонності, які виступають у якості екзогенних змінних. Також практикується використання сезонної моделі SARIMA, яка будується із додаванням сезонних параметрів  $(P, D, Q)_m$ , які перемножуються із несезонними компонентами, де  $m$  – кількість періодів у сезоні [2].

Успішним методом багатовимірного моделювання є підхід векторної авторегресії (VAR), запропонований Сімсом у 1980 році як альтернатива громіздким структурним економетричним моделям, які ґрунтуються на великій кількості теоретичних обмежень [7]. Методика, призначена спочатку для короткострокового прогнозування та аналізу реакції економічної системи на шоки монетарної політики, була апробована у всьому світі [6, 9, 10, 11] і розширена у 1990 р. Енглом, Грейнджером [8] та Йохансеном, Юзеліусом [9] VEC моделями для аналізу довгострокової рівноваги нестационарних змінних.

У специфікації VAR моделі без обмежень кожна змінна є ендогенною і пояснюється рівнянням, яке включає лаги самої змінної та лаги інших модельних змінних. Загальний вигляд векторної авторегресійної моделі  $k$  порядку із  $p$  змінними представлений рівнянням (2):

$$y_t = \sum_{i=1}^k \Pi_i y_{t-i} + \phi D_t + \varepsilon_t, \quad (2)$$

де  $y_t$  –  $(p \times 1)$  вектор ендогенних змінних із  $t=1, 2, \dots, T$ ;  
 $\Pi_i$  –  $(p \times p)$  матриця параметрів (невдомих коефіцієнтів) із  $i=1, 2, \dots, k$ ;  
 $D_t$  – вектор детермінованих компонент (константа, тренд та фіктивні змінні), із вектором відповідних коефіцієнтів  $\phi$ ;  
 $\varepsilon_t$  –  $(p \times 1)$  вектор збурень (процес «білого шуму»).

Для вибору ендогенних змінних VAR і VEC моделей застосовується тест Грейнджера, що визначає каузальні причинно-наслідкові зв'язки між часовими рядами [2, с. 302].

Одержання робастних оцінок VAR моделей вимагає отримання перших різниць для нестационарних часових рядів інтегрованих першого порядку  $I(1)$ , втрачаючи таким чином довгострокову інформацію. Ця проблема вирішується VEC моделями коінтеграційних співвідношень, які описують стаціонарні лінійні комбінації часових рядів  $I(1)$ . Специфікація загальної VEC моделі без обмежень представлена рівнянням (3):

$$G_0 \Delta Y_t = \Omega Y_{t-1} + G_1 \Delta Y_{t-1} + \dots + G_{p-1} \Delta Y_{t-p+1} + \varphi X_t + \omega D_t + \varepsilon_t. \quad (3)$$

Тут  $\Delta Y_t = Y_t - Y_{t-1}$  – вектор перших різниць ендогенних змінних;  
 $X_t$  – вектор екзогенних змінних;  
 $G_i = -(I_k, A_1, \dots, A_i)$  – матриця короткострокових параметрів;  $I_k$  – одинична матриця;  
 $D_t$  – вектор детермінованих компонент (константа, тренд та фіктивні змінні);  
 $\varepsilon_t$  – вектор збурень;  
 $\Omega = \alpha \beta^T$  – матриця довгострокових параметрів, де  $\beta$  – коінтеграційна матриця коефіцієнтів довгострокових відносин,  $\alpha$  – матриця коефіцієнтів корекції похибок, що демонструють швидкість відновлення довгострокової рівноваги.

Коінтеграційні моделі можуть також включати обмеження на параметри для визначення слабкої екзогенності змінних чи обумовлення матриці довгострокових параметрів, а також теоретично обумовлені обмеження балансових співвідношень між змінними, перетворюючи таким чином VEC модель на лінеаризовану динамічну версію моделі загальної рівноваги [15].

Оцінювання і верифікація векторних моделей корекції похибок передбачає реалізацію наступних етапів [8, 9]:

- 1) перевірка порядку інтегрованості нестационарних часових рядів;
- 2) визначення структури лагів ендогенних змінних, які описують короткострокову динаміку рядів;
- 3) ідентифікація рангу коінтеграційної матриці та оцінка коінтеграційних векторів;
- 4) специфікація детермінованих компонент та ідентифікуючих обмежень;
- 5) тестування значущості коефіцієнтів, екзогенності змінних та стійкості моделі;
- 6) перевірка залишків на відсутність автокореляції, гомоскедастичність, нормальний розподіл; включення фіктивних змінних структурного розриву для їх усунення;
- 7) перевірка якості статичного та динамічного прогнозу ендогенних змінних моделі;
- 8) аналіз імпульсних функцій та декомпозиції варіації похибок прогнозу.

При цьому для місячних або квартальних часових рядів необхідне проведення сезонного згладжування рядів або додавання фіктивних змінних сезонності, які виступають у якості екзогенних змінних. Також практикується використання сезонної моделі SARIMA, яка будується із додаванням сезонних параметрів  $(P, D, Q)_m$ , які перемножуються із несезонними компонентами, де  $m$  – кількість періодів у сезоні [2].

Успішним методом багатовимірного моделювання є підхід векторної авторегресії (VAR), запропонований Сімсом у 1980 році як альтернатива громіздким структурним економетричним моделям, які ґрунтуються на великій кількості теоретичних обмежень [7]. Методика, призначена спочатку для короткострокового прогнозування та аналізу реакції економічної системи на шоки монетарної політики, була апробована у всьому світі [6, 9, 10, 11] і розширена у 1990 р. Енглом, Грейнджером [8] та Йохансеном, Юзеліусом [9] VEC моделями для аналізу довгострокової рівноваги нестационарних змінних.

У специфікації VAR моделі без обмежень кожна змінна є ендогенною і пояснюється рівнянням, яке включає лаги самої змінної та лаги інших модельних змінних. Загальний вигляд векторної авторегресійної моделі  $k$  порядку із  $p$  змінними представлений рівнянням (2):

$$y_t = \sum_{i=1}^k \Pi_i y_{t-i} + \phi D_t + \varepsilon_t, \quad (2)$$

де  $y_t$  –  $(p \times 1)$  вектор ендогенних змінних із  $t=1, 2, \dots, T$ ;  
 $\Pi_i$  –  $(p \times p)$  матриця параметрів (невдомих коефіцієнтів) із  $i=1, 2, \dots, k$ ;  
 $D_t$  – вектор детермінованих компонент (константа, тренд та фіктивні змінні), із вектором відповідних коефіцієнтів  $\phi$ ;  
 $\varepsilon_t$  –  $(p \times 1)$  вектор збурень (процес «білого шуму»).

Для вибору ендогенних змінних VAR і VEC моделей застосовується тест Грейнджера, що визначає каузальні причинно-наслідкові зв'язки між часовими рядами [2, с. 302].

Одержання робастних оцінок VAR моделей вимагає отримання перших різниць для нестационарних часових рядів інтегрованих першого порядку  $I(1)$ , втрачаючи таким чином довгострокову інформацію. Ця проблема вирішується VEC моделями коінтеграційних співвідношень, які описують стаціонарні лінійні комбінації часових рядів  $I(1)$ . Специфікація загальної VEC моделі без обмежень представлена рівнянням (3):

$$G_0 \Delta Y_t = \Omega Y_{t-1} + G_1 \Delta Y_{t-1} + \dots + G_{p-1} \Delta Y_{t-p+1} + \varphi X_t + \omega D_t + \varepsilon_t. \quad (3)$$

Тут  $\Delta Y_t = Y_t - Y_{t-1}$  – вектор перших різниць ендогенних змінних;  
 $X_t$  – вектор екзогенних змінних;  
 $G_i = -(I_k, A_1, \dots, A_i)$  – матриця короткострокових параметрів;  $I_k$  – одинична матриця;  
 $D_t$  – вектор детермінованих компонент (константа, тренд та фіктивні змінні);  
 $\varepsilon_t$  – вектор збурень;  
 $\Omega = \alpha \beta^T$  – матриця довгострокових параметрів, де  $\beta$  – коінтеграційна матриця коефіцієнтів довгострокових відносин,  $\alpha$  – матриця коефіцієнтів корекції похибок, що демонструють швидкість відновлення довгострокової рівноваги.

Коінтеграційні моделі можуть також включати обмеження на параметри для визначення слабкої екзогенності змінних чи обумовлення матриці довгострокових параметрів, а також теоретично обумовлені обмеження балансових співвідношень між змінними, перетворюючи таким чином VEC модель на лінеаризовану динамічну версію моделі загальної рівноваги [15].

Оцінювання і верифікація векторних моделей корекції похибок передбачає реалізацію наступних етапів [8, 9]:

- 1) перевірка порядку інтегрованості нестационарних часових рядів;
- 2) визначення структури лагів ендогенних змінних, які описують короткострокову динаміку рядів;
- 3) ідентифікація рангу коінтеграційної матриці та оцінка коінтеграційних векторів;
- 4) специфікація детермінованих компонент та ідентифікуючих обмежень;
- 5) тестування значущості коефіцієнтів, екзогенності змінних та стійкості моделі;
- 6) перевірка залишків на відсутність автокореляції, гомоскедастичність, нормальний розподіл; включення фіктивних змінних структурного розриву для їх усунення;
- 7) перевірка якості статичного та динамічного прогнозу ендогенних змінних моделі;
- 8) аналіз імпульсних функцій та декомпозиції варіації похибок прогнозу.

#### 4. Інформаційна база та результати чисельного моделювання

Вхідні дані представлені місячною офіційною статистикою 2002-2015 рр. міжбанківського валютного курсу гривні до долара США (*Kurs*), реального ефективного обмінного курсу (*Reer*), обсягів реалізованої продукції промисловості (*Prod*) та сільського господарства (*Agr*) в доларовому еквіваленті, експорту та імпорту товарів і послуг з країнами Європи (*Exu*, *Imu*) та Російською Федерацією (*Exr*, *Imr*) [16, 17]. Прогнозні властивості моделей аналізуються для ендогенної змінної *Reer*. Для усунення гетероскедастичності та автокореляції залишків моделей, спричинених структурними розривами часових рядів, включено фіктивні змінні (*s\_b*), які відображують кризові процеси 2008-2009 та 2014-2015 років.

Чисельна реалізація зазначених алгоритмів здійснювалася в програмному пакеті EViews 9.0. Аналіз стаціонарності показав, що змінні є інтегрованими 1-го порядку I(1), ряд імпорту з Європи – I(2). У результаті моделювання за методикою Бокса-Дженкінса отримано модель ARIMA з параметрами  $d=1, p=3, q=3, sp=0, sq=0$ . Досліджено причинно-наслідкові зв'язки між показниками на 3-6 лагах за допомогою тесту Грейнджера. За допомогою тесту Йохансена виявлено коінтеграційні вектори та побудовано відповідні моделі корекції помилок для логарифмів показників: VEC\_1 – *Reer*, *Exu*, *Agr* (сезонно згладжений ряд); VEC\_2 – *Reer*, *Exu*, *Agr* (із включенням змінних сезонності). Модель VEC\_2 обрахована із урахуванням слабкої екзогенності змінної *Exu*, для чого включено обмеження на коефіцієнт корекції похибки  $A(Exu)=0$ . Також побудовано VAR модель для змінних *Reer*, *Exr* та *Prod*. Порівняльний аналіз зазначених моделей представлений у табл. 1 та на рис. 1.

Табл.1 Порівняльний аналіз статистичних та прогнозних характеристик моделей

Вид моделі	Коеф. детермінації R <sup>2</sup>	Ст.похибка регресії (S.E.R.)	Детермін. компоненти та обмеження	Інформ. критерій Акаїке (AIC)	Середня абсолютна процентна похибка прогнозу (MAPE)	
					Динамічний	Статичний
ARIMA_1 (3, 3) (0, 0)	0.144	0.033	-	-3.83	3.398	2.269
ARIMA_2 (3, 3) (0, 0)	0.205	0.032	<i>s_b_reer</i>	-3.92	2.773	4.771
VEC_1 (lag=4)	0.3278	0.03	<i>s_b_reer</i> <i>s_b_exu</i>	-4.02	99.72	99.71
VEC_2 (lag=4)	0.389	0,031	<i>s_b_reer</i> $A(Exu)=0$	-3,93	99,99	99,99
VAR (lag=1)	0.122	0.034	<i>s_b_reer</i> <i>s_b_exu</i>	-3.88	99.97	99.97

Незважаючи на перевагу ARIMA за показниками прогнозної якості моделей (MAPE), моделі векторної корекції похибки демонструють кращі апроксимаційні властивості (рис. 1).

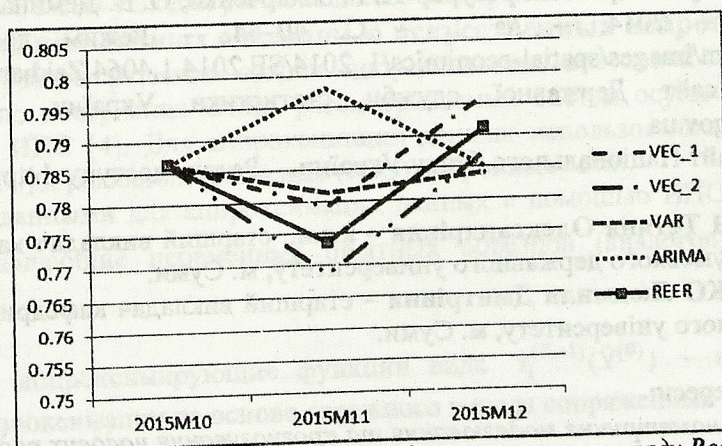


Рис. 1 Порівняння прогнозних та фактичних значень ряду *Reer*

#### 4. Інформаційна база та результати чисельного моделювання

Вхідні дані представлені місячною офіційною статистикою 2002-2015 рр. міжбанківського валютного курсу гривні до долара США (*Kurs*), реального ефективного обмінного курсу (*Reer*), обсягів реалізованої продукції промисловості (*Prod*) та сільського господарства (*Agr*) в доларовому еквіваленті, експорту та імпорту товарів і послуг з країнами Європи (*Exu*, *Imu*) та Російською Федерацією (*Exr*, *Imr*) [16, 17]. Прогнозні властивості моделей аналізуються для ендогенної змінної *Reer*. Для усунення гетероскедастичності та автокореляції залишків моделей, спричинених структурними розривами часових рядів, включено фіктивні змінні (*s\_b*), які відображують кризові процеси 2008-2009 та 2014-2015 років.

Чисельна реалізація зазначених алгоритмів здійснювалася в програмному пакеті EViews 9.0. Аналіз стаціонарності показав, що змінні є інтегрованими 1-го порядку I(1), ряд імпорту з Європи – I(2). У результаті моделювання за методикою Бокса-Дженкінса отримано модель ARIMA з параметрами  $d=1, p=3, q=3, sp=0, sq=0$ . Досліджено причинно-наслідкові зв'язки між показниками на 3-6 лагах за допомогою тесту Грейнджера. За допомогою тесту Йохансена виявлено коінтеграційні вектори та побудовано відповідні моделі корекції помилок для логарифмів показників: VEC\_1 – *Reer*, *Exu*, *Agr* (сезонно згладжений ряд); VEC\_2 – *Reer*, *Exu*, *Agr* (із включенням змінних сезонності). Модель VEC\_2 обрахована із урахуванням слабкої екзогенності змінної *Exu*, для чого включено обмеження на коефіцієнт корекції похибки  $A(Exu)=0$ . Також побудовано VAR модель для змінних *Reer*, *Exr* та *Prod*. Порівняльний аналіз зазначених моделей представлений у табл. 1 та на рис. 1.

Табл.1 Порівняльний аналіз статистичних та прогнозних характеристик моделей

Вид моделі	Коеф. детермінації R <sup>2</sup>	Ст.похибка регресії (S.E.R.)	Детермін. компоненти та обмеження	Інформ. критерій Акаїке (AIC)	Середня абсолютна процентна похибка прогнозу (MAPE)	
					Динамічний	Статичний
ARIMA_1 (3, 3) (0, 0)	0.144	0.033	-	-3.83	3.398	2.269
ARIMA_2 (3, 3) (0, 0)	0.205	0.032	<i>s_b_reer</i>	-3.92	2.773	4.771
VEC_1 (lag=4)	0.3278	0.03	<i>s_b_reer</i> <i>s_b_exu</i>	-4.02	99.72	99.71
VEC_2 (lag=4)	0.389	0,031	<i>s_b_reer</i> $A(Exu)=0$	-3,93	99,99	99,99
VAR (lag=1)	0.122	0.034	<i>s_b_reer</i> <i>s_b_exu</i>	-3.88	99.97	99.97

Незважаючи на перевагу ARIMA за показниками прогнозної якості моделей (MAPE), моделі векторної корекції похибки демонструють кращі апроксимаційні властивості (рис. 1).

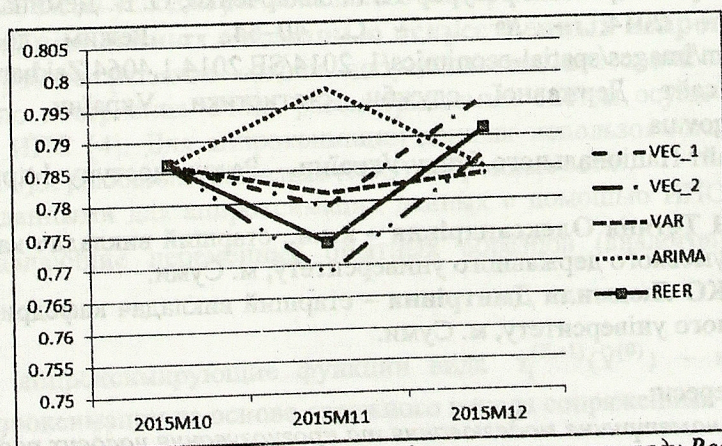


Рис. 1 Порівняння прогнозних та фактичних значень ряду *Reer*

Підсумовуючи, можна констатувати доречність використання багатомірного коінтеграційного аналізу як з точки зору достовірності отриманих прогнозних даних, так і зважаючи на більш широкі можливості дослідження динамічної рівноваги економічних систем. Подільшого вивчення потребує ідентифікація структурних міжгалузевих взаємозв'язків та їх включення у модель корекції похибки з метою покращення прогнозних оцінок та більш достовірного відображення процесів системи.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Box G.E.P., Jenkins G.M. Time Series Analysis, Forecasting and Control. – San-Francisco: Holden-Day, 1970.
2. Hamilton J.D. Time Series Analysis. – N. J.: Princeton University Press. – 1994. – 816 p.
3. Сухоруков А. І. Моделювання та прогнозування соціально-економічного розвитку регіонів України: монографія / А. І. Сухоруков, Ю. М. Харазішвілі. – К. : НІСД, 2012. – 368 с.
4. Скрипниченко М. І. Ендогенні моделі зростання економіки України / за ред. д. е. н. М. І. Скрипниченко. – К. : Ін-т екон. та прогноз., 2007. – 576 с.
5. Айвазян С. А., Бродский Б. Е. Макроэконометрическое моделирование: подходы, проблемы, пример эконометрической модели для российской экономики. – М.: ЦЭМИ РАН. 2005. 32 с.
6. Fair R. C. Macroeconometric Modeling. – 2013. – 443 p. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://fairmodel.econ.yale.edu/mmm2/mm.pdf>.
7. Sims C. Macroeconomics and reality / C. Sims // Econometrica. – 1980. – Series 48 (1). – 48 p.
8. Engle R. (1987). Co-integration and Error-Correction: Representation, Estimation and Testing / R. Engle, C. Granger // Econometrica. – 1987. – No. 55, P. 251-276.
9. Johansen S. (2000). Modelling of Cointegration in the Vector Autoregressive Model / S. Johansen // Economic Modelling. – 2000. – No. 17, P. 359-373.
10. Persan M.H., Schuermann T., Weiner S.M. Modeling Regional Interdependencies using a Global Error-Correcting Macroeconomic Model // Journal of Business Economics and Statistics. 2004. Vol. 22. № 2. Pp. 129–162.
11. Монетарний трансмісійний механізм в Україні: Науково-аналітичні матеріали. Вип. 9 / В.І. Міщенко, О.І. Петрик, А.В. Сомик, Р.С. Лисенко та ін. – К.: НБУ. Центр наукових досліджень, 2008. – 144 с.
12. Fernandez-Villaverde J. (2009) The Econometrics of DSGE Models / J. Fernandez-Villaverde // NBER Working Paper. – 2009. – No. 14677 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nber.org/papers/w14677.pdf>
13. Економіко-математичне моделювання: Навчальний посібник / За ред. О. Т. Івашука. – Тернопіль: ТНЕУ «Економічна думка», 2008. – 704 с.
14. Канторович Г. Г. Анализ временных рядов / Г. Г. Канторович // Экономический журнал ВШЭ. – 2002. – № 2. – С. 251–273.
15. Захарченко Н. Г. Макроэконометрическое моделирование как метод региональных исследований [Електронний ресурс] / Н. Г. Захарченко, О. В. Демина // Пространственная экономика. – 2014. – № 1. – С. 40–64. – Режим доступу: [http://spatial-economics.com/images/spatial-economics/1\\_2014/SE.2014.1.4064.Zakharchenko.pdf](http://spatial-economics.com/images/spatial-economics/1_2014/SE.2014.1.4064.Zakharchenko.pdf).
16. Офіційний сайт Державної служби статистики України. – Режим доступу: <http://ukrstat.gov.ua>
17. Офіційний сайт Національного банку України. – Режим доступу: <http://www.bank.gov.ua>

**МАРИНИЧ Тетяна Олександрівна** – к.е.н., старший викладач кафедри моделювання складних систем Сумського державного університету, м. Суми.

**НАЗАРЕНКО Людмила Дмитрівна** – старший викладач кафедри комп'ютерних наук Сумського державного університету, м. Суми.

Наукові інтереси:

- економічне моделювання та прогнозування часових рядів;
- моделювання та ідентифікація слабо формалізованих динамічних систем.

Підсумовуючи, можна констатувати доречність використання багатомірного коінтеграційного аналізу як з точки зору достовірності отриманих прогнозних даних, так і зважаючи на більш широкі можливості дослідження динамічної рівноваги економічних систем. Подільшого вивчення потребує ідентифікація структурних міжгалузевих взаємозв'язків та їх включення у модель корекції похибки з метою покращення прогнозних оцінок та більш достовірного відображення процесів системи.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Box G.E.P., Jenkins G.M. Time Series Analysis, Forecasting and Control. – San-Francisco: Holden-Day, 1970.
2. Hamilton J.D. Time Series Analysis. – N. J.: Princeton University Press. – 1994. – 816 p.
3. Сухоруков А. І. Моделювання та прогнозування соціально-економічного розвитку регіонів України: монографія / А. І. Сухоруков, Ю. М. Харазішвілі. – К. : НІСД, 2012. – 368 с.
4. Скрипниченко М. І. Ендогенні моделі зростання економіки України / за ред. д. е. н. М. І. Скрипниченко. – К. : Ін-т екон. та прогноз., 2007. – 576 с.
5. Айвазян С. А., Бродский Б. Е. Макроэконометрическое моделирование: подходы, проблемы, пример эконометрической модели для российской экономики. – М.: ЦЭМИ РАН. 2005. 32 с.
6. Fair R. C. Macroeconometric Modeling. – 2013. – 443 p. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://fairmodel.econ.yale.edu/mmm2/mm.pdf>.
7. Sims C. Macroeconomics and reality / C. Sims // Econometrica. – 1980. – Series 48 (1). – 48 p.
8. Engle R. (1987). Co-integration and Error-Correction: Representation, Estimation and Testing / R. Engle, C. Granger // Econometrica. – 1987. – No. 55, P. 251-276.
9. Johansen S. (2000). Modelling of Cointegration in the Vector Autoregressive Model / S. Johansen // Economic Modelling. – 2000. – No. 17, P. 359-373.
10. Persan M.H., Schuermann T., Weiner S.M. Modeling Regional Interdependencies using a Global Error-Correcting Macroeconomic Model // Journal of Business Economics and Statistics. 2004. Vol. 22. № 2. Pp. 129–162.
11. Монетарний трансмісійний механізм в Україні: Науково-аналітичні матеріали. Вип. 9 / В.І. Міщенко, О.І. Петрик, А.В. Сомик, Р.С. Лисенко та ін. – К.: НБУ. Центр наукових досліджень, 2008. – 144 с.
12. Fernandez-Villaverde J. (2009) The Econometrics of DSGE Models / J. Fernandez-Villaverde // NBER Working Paper. – 2009. – No. 14677 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nber.org/papers/w14677.pdf>
13. Економіко-математичне моделювання: Навчальний посібник / За ред. О. Т. Івашука. – Тернопіль: ТНЕУ «Економічна думка», 2008. – 704 с.
14. Канторович Г. Г. Анализ временных рядов / Г. Г. Канторович // Экономический журнал ВШЭ. – 2002. – № 2. – С. 251–273.
15. Захарченко Н. Г. Макроэконометрическое моделирование как метод региональных исследований [Електронний ресурс] / Н. Г. Захарченко, О. В. Демина // Пространственная экономика. – 2014. – № 1. – С. 40–64. – Режим доступу: [http://spatial-economics.com/images/spatial-economics/1\\_2014/SE.2014.1.4064.Zakharchenko.pdf](http://spatial-economics.com/images/spatial-economics/1_2014/SE.2014.1.4064.Zakharchenko.pdf).
16. Офіційний сайт Державної служби статистики України. – Режим доступу: <http://ukrstat.gov.ua>
17. Офіційний сайт Національного банку України. – Режим доступу: <http://www.bank.gov.ua>

**МАРИНИЧ Тетяна Олександрівна** – к.е.н., старший викладач кафедри моделювання складних систем Сумського державного університету, м. Суми.

**НАЗАРЕНКО Людмила Дмитрівна** – старший викладач кафедри комп'ютерних наук Сумського державного університету, м. Суми.

Наукові інтереси:

- економічне моделювання та прогнозування часових рядів;
- моделювання та ідентифікація слабо формалізованих динамічних систем.