

ПРОГНОЗУВАННЯ МАКРОЕКОНОМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ З АВТОМАТИЗОВАНИМ ВИБОРОМ КРАЩИХ МОДЕЛЕЙ

УДК 519.246.8



Бідюк П.І.
*доктор технічних наук,
професор, Національ-
ний технічний універ-
ситет України
"Київський політех-
нічний інститут імені
Ігоря Сікорського"*



Данилов В.Я.
*доктор технічних наук,
професор, Національ-
ний технічний універ-
ситет України "Київсь-
кий політехнічний
інститут імені Ігоря
Сікорського"*



Жиров О.Л.
*кандидат технічних наук,
доцент, Національний
технічний університет
України "Київський
політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського"*



Грицаюк М.О.
*студент Інституту
прикладного системно-
го аналізу КПІ імені
Ігоря Сікорського*

Анотація. У статті розглядається: розробка сучасної системи підтримки прийняття рішень (СППР) на основі принципів системного аналізу; вибір макроекономічних процесів для моделювання і прогнозування; ілюстрація застосування системи до розв'язування задачі прогнозування нелінійних нестационарних макроекономічних процесів на основі статистичних даних. Запропоновано: опис функцій розробленої СППР; вибрано типи математичних моделей, які можуть бути побудовані за допомогою СППР; подано приклади застосування СППР до побудови моделей вибраних макроекономічних процесів в Україні та обчислено оцінки короткострокових прогнозів на їх основі.

Аннотация. В статье рассматривается: разработка современной системы поддержки принятия решений (СППР) на основе принципов системного анализа; выбор макроекономических процессов для моделирования и прогнозирования; иллюстрация применения системы для решения задачи прогнозирования нелинейных нестационарных макроекономических процессов с помощью статистических данных. Предложено: описание функций разработанной СППР; выбраны типы математических моделей, ко-

торые могут быть построены с помощью этой системы; приведены примеры использования созданной системы для построения моделей выбранных макроекономических процессов в Украине и вычислены оценки краткосрочных прогнозов на их основе.

Abstract. The present article deals with the development of modern decision support system (DSS) on the principles of system analysis; selection of macroeconomic processes for modeling and forecasting; illustration of the system application to solving the problems of forecasting nonlinear nonstationary processes using statistical data. In this article we proposed and did the following: description of functions of the DSS developed; selected the types of models that could be constructed with the system constructed; developed mathematical models of selected macroeconomic processes in Ukraine and estimates of short term forecasts computed on the basis of the models developed.

Вступ. Задачі побудови і вибору адекватних математичних моделей для розв'язання задач коротко- і довгострокового прогнозування є актуальними для різних сфер діяльності [1, 2]. Наявність високоякісних прогнозів сприяє

підвищенню якості рішень, що приймаються на їх основі. Незважаючи на наявність великої кількості комп'ютерних систем для розв'язання задач моделювання і прогнозування за статистичними даними, існує необхідність створення нових з розширеною функціональністю. Корисною функцією таких систем є автоматизований вибір кращих моделей з використанням відповідних множин статистичних критеріїв якості. В існуючих комп'ютерних системах (Eviews, STATISTICA, SPSS та інших), як правило, немає можливості автоматизованого вибору кращої моделі, що вимагає від дослідника суттєвих витрат часу та зусиль на пошук кращих моделей. Система SAS відрізняється надзвичайно розвинутою функціональністю, але і дуже високою вартістю.

Разом з тим, введення функцій автоматизованого вибору у спеціалізовані системи підтримки прийняття рішень надає можливість значно підвищити продуктивність особи, що приймає рішення (ОПР) і поліпшити якість остаточного результату – оцінок прогнозів досліджуваних процесів та рішень, що приймаються на їх основі. Для спрощення вибору кращої моделі з множини оцінених кандидатів краще підходять комбіновані статистичні критерії якості, які формуються з окремих відомих критеріїв. Це критерії адекватності моделей і якості оцінок прогнозів.

Дослідження присвячене розробці комбінованого статистичного критерію якості, який поєднав би у собі критерії якості моделей та оцінок прогнозів. Також ставиться і розв'язується задача автоматизованого вибору прогнозуючих моделей у запропонованій системі підтримки прийняття рішень (СППР), призначеній для моделювання фінансово-економічних процесів.

Постановка задачі. Розробити комбінований критерій для автоматизованого вибору кращої регресійної моделі, побудованої на основі статистичних даних.

– Розробити програмне забезпечення для виконання необхідних обчислювальних експериментів у формі системи підтримки прийняття рішень (мова програмування C#).

– Зібрати статистичні дані для виконання обчислювальних експериментів.

– Побудувати регресійні моделі на основі зібраних даних та обчислити статистичні оцінки адекватності моделей та якості прогнозів.

– Вибрати кращі моделі для короткострокового прогнозування та виконати порівняльний аналіз отриманих результатів.

Інтегральний критерій якості моделі. Сьогодні якість математичних моделей, що будуються

на основі статистичних даних, оцінюються за допомогою множини статистичних критеріїв якості, зокрема таких: коефіцієнт множинної детермінації (R^2), який характеризує інформативність моделі по відношенню до інформативності даних; статистика Дарбіна-Уотсона (DW), що визначає ступінь автокорельованості похибок моделі; інформаційний критерій Акайке (AIC) і статистика Байєса-Шварца (BSC); сума квадратів похибок (SSE) моделі ($\sum e^2(k)$); F – статистика Фішера та інших [1, 2]. Для автоматизованого вибору кращої моделі при використанні СППР запропоновано інтегральний критерій якості виду:

$$IK = e^{1-R^2} + \frac{SSE}{N} + \left\{ \begin{array}{l} \ln(AIC + BSC), \text{ якщо } AIC + BSC > 0 \\ e^{AIC+BSC}, \text{ якщо } AIC + BSC \leq 0 \end{array} \right\} + e^{2-DW} + \ln(CKIT) + \ln(CAIII) + e^U$$

Цей критерій комбінує вибрані статистичні характеристики, які використовуються для визначення адекватності моделі та критерії, що використовуються для визначення якості оцінок прогнозів, які обчислюються за побудованою моделлю.

Архітектура та функціональна схема розробленої СППР.

Архітектура (узагальнена структура) розробленої системи підтримки прийняття рішень подана на рис. 1.



Рисунок 1 – Архітектура розробленої СППР

Як видно з рис. 1, користувач взаємодіє з системою через відповідно спроектований інтерфейс. Також через інтерфейс відбувається керування зчитуванням даних з файлу, за яке відповідає окремий програмний модуль. Зчитуванням, зазвичай, керує ОПР (користувач системи) за допомогою команд, що подаються через інтерфейс. Дані стосовно розвитку досліджуваного процесу потрапляють до центрального об-

числовального модуля, в якому і реалізується найважливіший етап роботи системи: попередня обробка даних та всі необхідні обчислювальні операції, розглянуті на функціональній схемі (рис. 2). Всі обчислення зберігаються в пам'яті проміжних результатів та передаються до блоку представлення даних, а звідти в блок інтерфейсу. Відповідно, за допомогою інтерфейсу ОПР має можливість виконати візуальний аналіз отриманих результатів обчислень. Зазначимо, що при проектуванні і реалізації інтерфейсу враховано можливість адаптації системи до характеристик ОПР. Зокрема, забезпечується адаптація відповіді системи до часу реакції користувача з метою забезпечення максимально комфортної взаємодії між СППР і ОПР. Також реалізовано функцію адаптації системи до типів представлення проміжних та остаточних результатів, які визначаються перевагами користувача. Розглянемо докладніше функції СППР, розроблені в рамках даного дослідження. Процедури обробки статистичних даних, побудова моделей і оцінювання прогнозів виконуються за етапами, наведеними нижче.

На вхід системи подається вибірка статистичних даних. Спочатку вибірка проходить попередню обробку – приводиться до форми, придатної і зручної для оцінювання структури і параметрів регресійних моделей. В розробленій СППР – це нормування, заповнення пропусків, обробка екстремальних значень і цифрова фільтрація. Зокрема, заповнення пропусків реалізується за допомогою оцінок прогнозів (за моделлю, що будується на основі наявних даних), усереднення вимірів та генеруванням псевдовипадкових чисел із заданого типу розподілу. У випадку генерування даних із заданого розподілу використовується оптимізаційна процедура, у якій за критерій оптимальності використано статистичні критерії адекватності моделі – коефіцієнт детермінації, сума квадратів похибок і статистика Дарбіна-Уотсона. Для проектування цифрових фільтрів із заданими амплітудно-частотними характеристиками використано інструментарій Matlab. Частіше всього проектуються низькочастотні фільтри, оскільки похибки вимірів знаходяться, як правило, у високочастотній частині спектру досліджуваних процесів.

1. Після попередньої обробки виконується кореляційний аналіз даних: обчислюються кореляційна матриця, автокореляційні функції і часткові автокореляційні функції та функції взаємної кореляції. Для встановлення факту наявності нелінійності у досліджуваному процесі використовуються відповідні статистичні тести і нелінійні кореляційні функції (НКФ) такого типу [1, 2]:

$$r_{yx^2}(s) = r_{y(k)x^2(k-s)} = \frac{1}{N} \frac{\sum_{k=s+1}^N \{ [y(k) - \bar{y}][x(k-s) - \bar{x}]^2 \}}{\sigma_y \sigma_x^2},$$

$$s = 0, 1, 2, 3, \dots,$$

де σ_y, σ_x – вибіркові стандартні відхилення для залежної змінної і регресора, відповідно; N – потужність вибірки даних; s – параметр зсуву. Якщо розглянута НКФ містить значення, які суттєво відрізняються від нуля в статистичному сенсі, то процес містить квадратичну нелінійність стосовно регресора x . Наявність нелінійного детермінованого тренду в процесі можна визначити шляхом оцінювання полінома від дискретного часу k :

$$y(k) = a_0 + c_1 k + c_2 k^2 + \dots + c_m k^m,$$

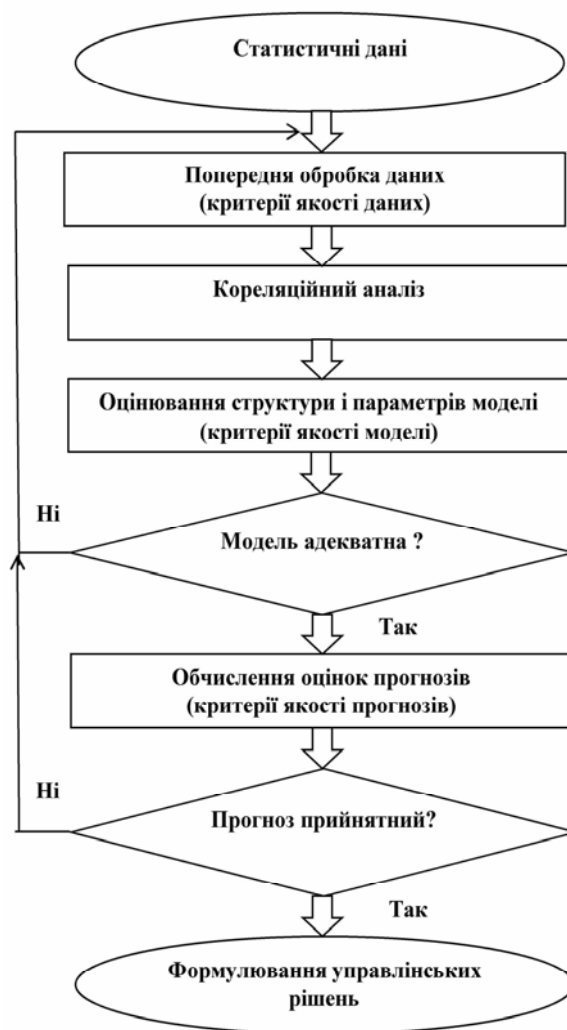


Рисунок 2 – Функціональна схема розробленої СППР

яке являє собою поліном порядку m стосовно часу. Якщо хоча б один із коефіцієнтів $c_i, i = 1, \dots, m$ є статистично значущим, то гіпотеза щодо відсутності тренду відхиляється. Якщо тренд відносно швидко змінює свій напрям руху і для нього трудно знайти адекватний опис за детермінованою функцією, то застосовуються моделі випадкових трендів, які ґрунтуються на комбінаціях випадкових величин. Так, модель локального лінійного тренду (ЛЛТ) поєднує в собі кілька процесів випадкового кроку з шумом:

$$\begin{aligned} y(k) &= \mu(k) + \eta(k), \\ \mu(k) &= \mu(k-1) + \lambda(k) + \varepsilon(k), \\ \lambda(k) &= \lambda(k-1) + v(k), \end{aligned}$$

де $\{\eta(k)\}, \{\varepsilon(k)\}, \{v(k)\}$ – незалежні процеси білого шуму. У даному випадку зміни тренду спричиняються процесом випадкового кроку та шумовою складовою, тобто, $\Delta\mu(k)$ складається з процесу випадкового кроку $\lambda(k)$ та білого шуму $\varepsilon(k)$. Знайдемо розв'язок для $y(k)$. Спочатку запишемо його для $\lambda(k)$:

$$\lambda(k) = \lambda_0 + \sum_{i=1}^k v(i),$$

а також для $\mu(k)$:

$$\mu(k) = \mu(k-1) + \lambda_0 + \sum_{i=1}^k v(i) + \varepsilon(k),$$

або

$$\mu(k) = \mu_0 + \sum_{i=1}^k \varepsilon(i) + k(\lambda_0 + v(1)) + (k-1)v(2) + (k-2)v(3) + \dots + v(k)$$

Оскільки $y_0 = \mu_0 + \eta_0$, то розв'язок для $y(k)$ має вигляд

$$\begin{aligned} y(k) &= y_0 + [\eta(k) - \eta_0] + \\ &+ \sum_{i=1}^k \varepsilon(i) + k(\lambda_0 + v(1)) + (k-1)v(2) + \dots + v(k). \end{aligned}$$

У цьому рівнянні можна спостерігати об'єднані властивості кількох моделей. Кожний елемент послідовності $\{y(k)\}$ містить детермінований тренд

$$(k(\lambda_0 + v(1)) + (k-1)v(2) + \dots + v(k)),$$

стохастичний тренд ($\sum \varepsilon(i)$) та нерегулярну компоненту ($\eta(k)$). В узагальненій формі моделі ЛЛТ нерегулярна компонента визначатиметься

членом $A(L)\eta(k)$. Детермінований тренд залежить у даному випадку від поточних та минулих значень послідовності $\{v(k)\}$. Якщо в момент k сума $(\lambda_0 + v(1) + \dots + v(k))$ буде додатною, то коефіцієнт при k буде додатним. Очевидно, що в загальному випадку для деяких k ця сума може бути додатною, а для інших від'ємною, а тому тренд може мати відрізки з додатним та від'ємним нахилом. Функція прогнозування на s кроків для ЛЛТ має вигляд:

$$\begin{aligned} y(k+s) &= y_0 + [\eta(k+s) - \eta_0] + \\ &+ \sum_{i=1}^{k+s} \varepsilon(i) + (k+s)(\lambda_0 + v(1)) + \\ &+ (k+s-1)v(2) + (k+s-2)v(3) + \dots + v(k+s) \end{aligned}$$

або

$$\begin{aligned} y(k+s) &= y(k) + \dots + v(k) + \\ &+ [\eta(k+s) - \eta(k)] + \sum_{i=1}^k \varepsilon(i) + \\ &+ s[\lambda_0 + v(1) + v(2) + \dots + v(k)] + \\ &+ \sum_{i=1}^s (s+1-i)v(k+i). \end{aligned}$$

Умовне математичне сподівання визначається за виразом:

$$\begin{aligned} E_k [y(k+s)] &= \\ &= [y(k) - \eta(k)] + s[\lambda_0 + v(1) + v(2) + \dots + v(k)]. \end{aligned}$$

Нахил тренду визначається сумою

$$s[\lambda_0 + v(1) + v(2) + v(3) + \dots + v(k)].$$

У випадку, коли можна набрати кілька груп (вибірок) спостережень для одного і того ж процесу, то можна скористатись статистичним тестом:

$$\widehat{F} = \frac{\frac{1}{m-2} \sum_{i=1}^m n_i (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2}{\frac{1}{n-m} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2},$$

де \bar{y}_i – середнє значення для i -ї групи (вибірки або групи) даних; \hat{y}_i – середнє, визначене за лінійною апроксимацією даних; m – кількість груп даних; n_i – кількість вимірів в i -й групі; n – загальна кількість вимірів. Фактично, наведена статистика являє собою таке відношення:

$$\widehat{F} = \frac{\text{Відхилення середніх значень від прямої регресії}}{\text{Відхилення значень } y(k) \text{ від групових середніх}}.$$

Якщо статистика \hat{F} з $\nu_1 = m - 2$ та $\nu_2 = n - m$ степенями свободи досягає або перевищує рівень значимості, то гіпотезу щодо лінійності необхідно відхилити.

2. На основі результатів кореляційного аналізу виконується оцінювання структури моделей-кандидатів, тобто оцінюються такі елементи структури математичної моделі: розмірність, порядок, значення лагу, наявність нелінійності та її тип (стосовно змінних або стосовно параметрів), а також аналіз типу розподілу, до якого належить вибірка даних. Для встановлення типу розподілу випадкових величин використовуються такі статистичні параметри: статистика Жак-Бера (Jarque-Bera), статистика χ^2 і статистика Колмогорова-Смірнова. Параметри лінійних моделей оцінюються за методом найменших квадратів (МНК), рекурсивного МНК (РМНК) і методу Монте-Карло для марковських ланцюгів (МКМЛ). Метод МКМЛ використовується у випадках, коли розподіл вибірки відрізняється від нормального.

3. На наступному етапі виконується діагностика моделей – аналіз адекватності оцінених моделей-кандидатів; для цього у розробленій СППР використано такі статистики: SSE , R^2 , DW , AIC , BSC . Після цього виконується обчислення прогнозів та аналіз їх якості. В розробленій системі використано такі статистичні критерії якості оцінок прогнозів: середня абсолютна похибка у процентах ($САПП$), середня квадратична похибка ($СКП$) і коефіцієнт Тейла (U). Для моделей з

високими характеристиками якості оцінок прогнозів коефіцієнт Тейла прямує до нуля.

4. На фінальному етапі моделювання відбувається вибір кращої моделі за допомогою запропонованого в рамках даної роботи інтегрального критерію адекватності моделей і якості оцінок прогнозів. На виході системи отримуємо кращу модель за обраними характеристиками та розробленим інтегральним критерієм якості. Оцінки прогнозів використовуються для формування управлінських рішень.

Інструментальна платформа та вимоги до інструментарію по експлуатації створеної СППР. Для реалізації СППР обрано мову програмування C# та середовище розробки програмного забезпечення Microsoft Visual Studio 2015. Це середовище є зручним для програмної реалізації СППР даного типу (обробка даних, побудова моделей та оцінювання прогнозів) завдяки його широкій функціональності. Для експлуатації розробленої системи необхідно використовувати комп'ютер з такими характеристиками: персональний комп'ютер або ноутбук з процесором частотою 2 ГГц або більше; операційні системи: XP, Vista, 7, 8, 8.1 або 10; встановлений на комп'ютері .NET Framework 4.5.

Приклади застосування розробленої СППР. Створена система підтримки прийняття рішень апробована при розв'язанні задач моделювання та прогнозування реальних фінансово-економічних процесів, зокрема: валового внутрішнього продукту України, індексу споживчих цін та грошового агрегату M3 (об'єм загальної



Рисунок 3. Інтерфейс розробленої СППР

грошової маси в обороті в Україні). За допомогою СППР для згаданих процесів автоматично обрані кращі регресійні моделі. Для цих моделей за допомогою СППР були побудовані графіки. Далі детально розглянутий кожний з проведених експериментів. А зараз розглянемо докладно інтерфейс СППР та її функціональні можливості (рис. 3).

Інтерфейс розробленої системи

Зліва у верхньому куті, можна обрати файл з вибіркою «Файл з рядом»; він повинен бути у форматі .txt, виміри вибірки повинні бути розділені між собою новим рядком (за допомогою символу «Enter»).

«Вид ковзного середнього» дає можливість обрати спосіб обрахунку ковзного середнього. При цьому існують такі варіанти: експоненційне ковзне середнє із зменшенням значень коефіцієнтів, починаючи від поточного виміру; експоненційне ковзне середнє у формі e^n ; просте ковзне середнє, при цьому накладання шуму на вибірку рекомендується використовувати тільки для нормованих даних. Розмір вікна ковзного середнього можна змінювати у таких межах: 3, 5, 7 або 9. Опція «Прогноз на S кроків» дає можливість задати кількість кроків прогнозування від 1 до 5. Також можна обрати опцію нормування даних.

Після налаштування всіх параметрів, описаних вище, потрібно виконати функцію «Зчитати», програма читає дані з файлу і можна продовжити роботу стосовно обробки даних. Для того щоб розрахувати і переглянути кореляційну матрицю, автокореляційну функцію (АКФ) і функцію взаємної кореляції потрібно натиснути на відповідну кнопку, яка стане активною після натискання кнопки «Зчитати».

Для того щоб обрахувати характеристики якості моделей та оцінок прогнозів для всіх моделей-кандидатів та обрання СППР кращої моделі, необхідно натиснути кнопку «Пуск!». У таблиці, що спочатку є пустою (рис. 3) з'являться відповідні параметри та у лівому нижньому куті буде показана краща модель. Таблицю можна сортувати за змінними, які потрібні у конкретному випадку, натискаючи на відповідну кнопку (стовпчик). Автоматичний перебір моделей-кандидатів відбувається до тих пір, поки значення АКФ $> 0,3$.

Валовий внутрішній продукт України. Дані взято з сайту Державної служби статистики України [3]. Результатом виконання програми з файлом, у якому знаходяться дані з таблиці 1, є кілька моделей типу АРКС(p, q). Тут і далі для всіх експериментів використано експоненційне

ковзне середнє з вікном 3, прогнозом на один крок та нормуванням даних, оскільки саме такі параметри дають кращі результати.

Кращою моделлю виявилась АРКС(1,3):

$$y(k) = -0,00048 - 0,5468 * y(k-1) + 1,7578 * v(k-1) + 0,0637 * v(k-2) - 0,4577 * v(k-3)$$

Результати, отримані для всіх експериментів, подані в табл.1. На рис. 4 представлена АКФ для даного процесу.

Виходячи з результатів АКФ програма виконувала перебір за усіма степенями до 10 включно. На рис. 5 представлено графіки вихідної змінної для кращої моделі та фактичної вибірки. Обидва графіки збігаються, що свідчить про високу ступінь адекватності побудованої моделі.

Індекс споживчих цін України. Дані взято з сайту Державної служби статистики України за 1991 – 2009 роки [3]. Результати обробки файлу з цими даними представлено на рис. 6.

Автокореляційна функція

	АКФ	АКФ Y	АКФ KC
▶	r(1)	0.933818400818...	0.953017166931...
	r(2)	0.872122061119...	0.895736769990...
	r(3)	0.824858290900...	0.836982756758...
	r(4)	0.771955023588...	0.777791411838...
	r(5)	0.701492375780...	0.717661035853...
	r(6)	0.643066318945...	0.671967529710...
	r(7)	0.629596602405...	0.651661044466...
	r(8)	0.632166355124...	0.644698029047...
	r(9)	0.613610889946...	0.634344161886...
	r(10)	0.601825799597...	0.629734952394...
*			

Рисунок 4. АКФ для процесу ВВП

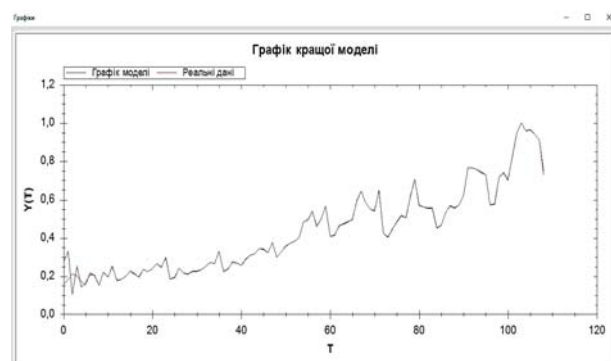


Рисунок 5. Графік кращої моделі та вибірки для процесу ВВП

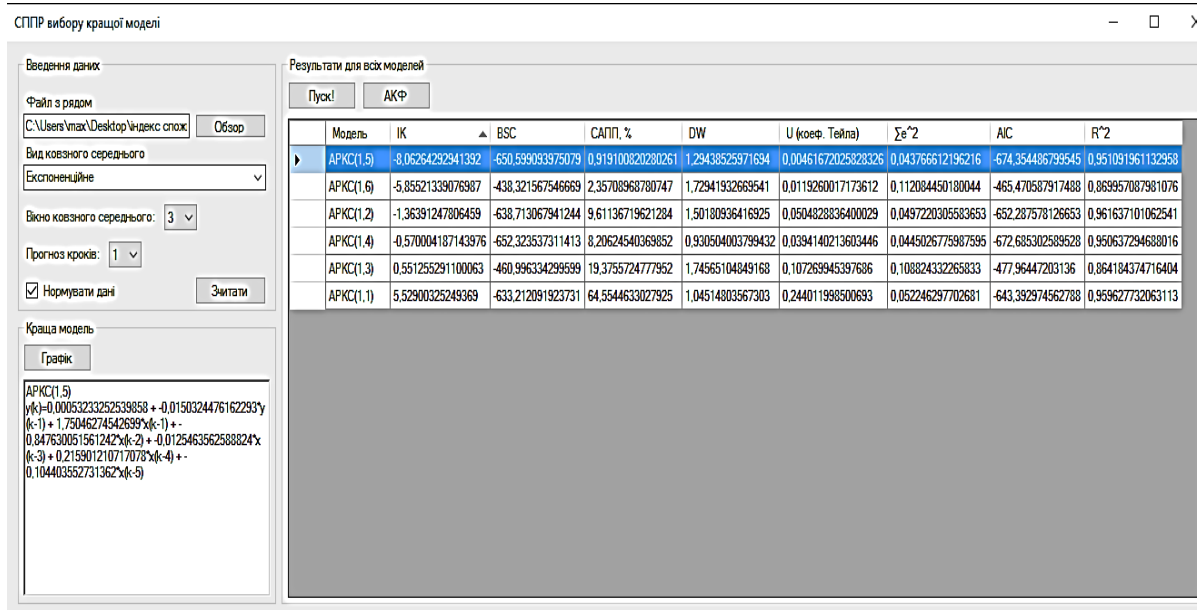


Рисунок 6. Результат роботи програми на вибірці ІСЦ України

Кращою моделлю у даному випадку виявилась ARKC(1,5):

$$y(k) = 0,00053 - 0,0151 * y(k-1) + 1,7504 * v(k-1) - 0,8476 * v(k-2) - 0,01254 * v(k-3) + 0,2159 * v(k-4) - 0,10441 * v(k-5)$$

Загальні результати для всіх експериментів можна переглянути в табл. 1.

На рис. 7 представлена АКФ для даного процесу.

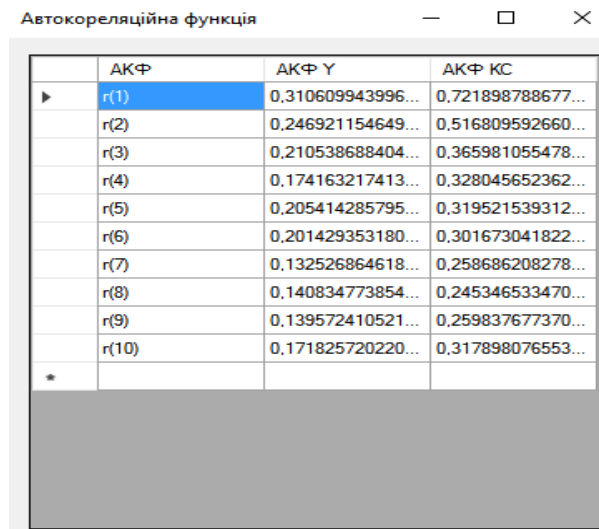


Рисунок 7. АКФ для процесу ІСЦ

Виходячи із фактичних значень АКФ, програма виконала перебір для авторегресійної складової лише першого порядку, а для складової ковзного середнього до 6-го порядку. На рис. 8 представлено графік кращої моделі та вибірки.

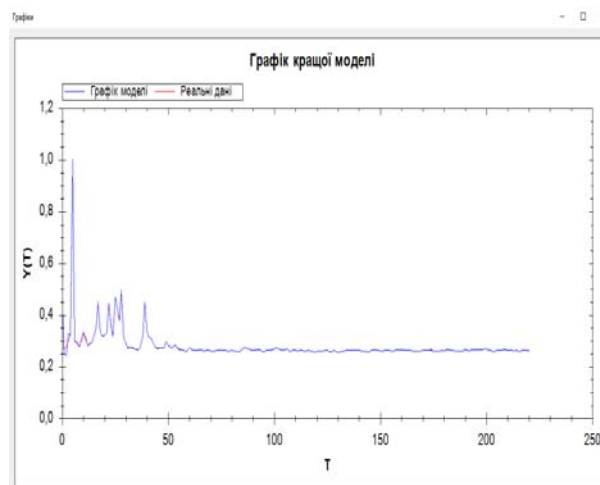


Рисунок 8. Графік кращої моделі та вибірки для процесу ІСЦ

Грошовий агрегат М3 (загальна грошова маса) в Україні. Дані взято з сайту Державної служби статистики України [3] за 1993 – 2007 роки. Результат роботи програми з файлом, у якому знаходяться ці дані, представлено на рис. 9.

Індекс споживчих цін України. Дані взято з сайту Державної служби статистики України за 1991 – 2009 роки [3]. Результати обробки файлу з цими даними представлено на рис. 6.

Як видно з рис. 10 кращою моделлю виявилась ARKC(1,4):

$$y(k) = -0,00039 - 0,1845 * y(k-1) + 1,7529 * v(k-1) - 0,5544 * v(k-2) - 0,1647 * v(k-3) + 0,2225 * v(k-4)$$

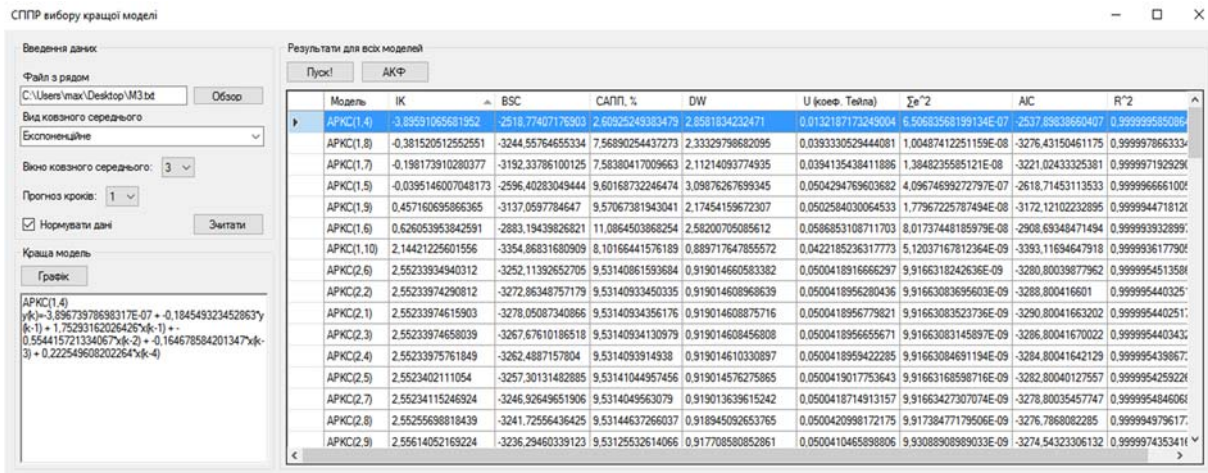


Рисунок 9. Результат роботи програми на вибірці грошовий агрегат МЗ України

Загальні результати для всіх експериментів можна переглянути в табл. 1. На рис. 10 представлена АКФ для даного процесу.

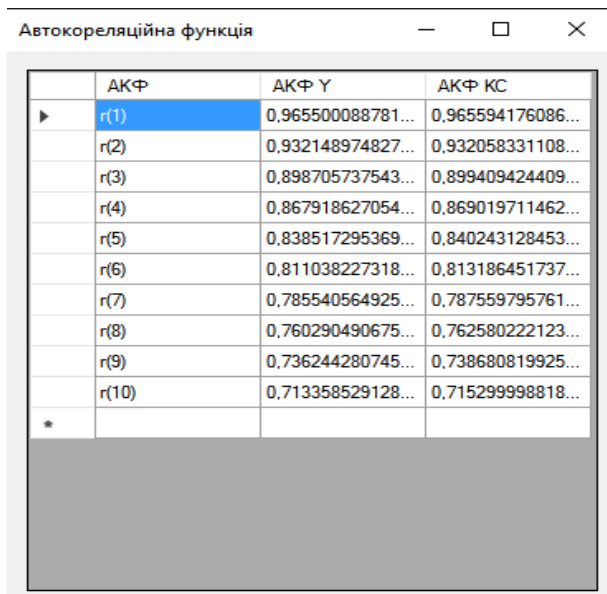


Рисунок 10. АКФ для грошового агрегату МЗ України

Виходячи з фактичних результатів розрахунку АКФ програмно виконано перебір за усіма степенями до 10-и включно. На рис. 11 представлено графік для кращої моделі та вибірки – вони практично співпадають.

В табл. 1 представлені по 3 кращі моделі для кожного з розглянутих вище фінансово-економічних процесів, оцінки адекватності моделей та оцінки якості прогнозів.

Процес ціноутворення на квартири. У табл. 2 подано моделі типу $ARKCP(p, q)$ для процесу ціноутворення на квартири з використанням додаткових регресорів – від одного до чотирьох. У якості регресорів вибрані такі: вартість одного квадратного метра житла у Києві; оплата праці в будівництві; вартість бетону марки П-3 В15б; вартість арматурної сітки та індекс споживчих цін. Аббревіатура $ARKCP$, яка зустрічається у таблиці 2, означає, що до моделі авторегресії з ковзним середнім додається щонайменше один регресор – незалежна змінна у правій частині рівняння. Тренд першого або вищого порядку описується відповідним поліномом від дискретного часу k .

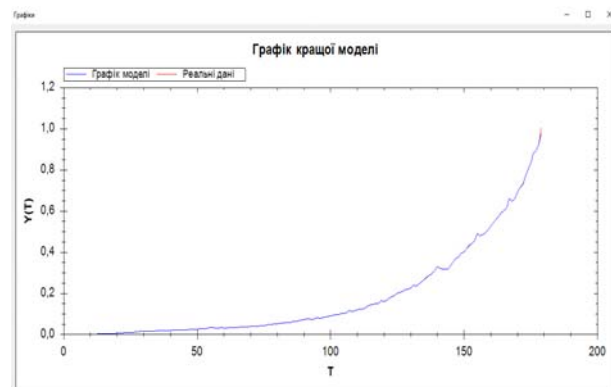


Рисунок 11. Графік кращої моделі та вибірки для процесу грошовий агрегат МЗ України

Краща модель має середню абсолютну похибку у процентах 2,72% (модель з 4-ма регресорами і фактичними одиничними лагами), а гірший результат показала модель у формі тренду 1-го порядку з САПП = 7,86%.

Таблиця 1.

Загальні результати для всіх експериментів

Процес	Модель	ІК	Адекватність моделі			Якість прогнозу	
			R^2	$\sum e^2$	DW	САПП,%	U
ІСЦ	АРКС(1,5)	-8,062	0,951	0,043	1,294	0,919	0,004
	АРКС(1,6)	-5,855	0,869	0,112	1,729	2,357	0,011
	АРКС(1,2)	-1,363	0,961	0,049	1,501	9,611	0,05
ВВП	АРКС(1,3)	-3,846	0,988	0,051	2,001	2,691	0,013
	АРКС(1,2)	-2,268	0,991	0,016	1,506	3,677	0,018
	АРКС(1,6)	3,025	0,988	0,045	1,861	24,449	0,108
Грошовий агрегат МЗ	АРКС(1,4)	-3,895	0,999	6,506E-07	2,858	2,609	0,013
	АРКС(1,8)	-0,381	0,999	1,004E-08	2,333	7,568	0,039
	АРКС(1,7)	-0,198	0,999	1,384E-08	2,112	7,583	0,039

Таблиця 2.

Моделі для ціноутворення з додатковими регресорами

Тип моделі	Характеристики моделі			Характеристики прогнозу		
	R^2	$\sum e^2(k)$	DW	$CeKП$	САПП	Коеф-т Тейла
АРКСР 1	0,9948	39886,78	2,5432	252,0454	3,717	0,027
АРКСР 2	0,9949	38477,90	2,4380	203,97	2,74	0,022
АРКСР 3	0,9946	40852,79	2,5723	262,78	3,86	0,029
АРКСР 4	0,9918	72392,47	2,3986	276,23	3,7	0,03
АРКСР 5	0,9920	73235,59	2,3845	298,87	4,18	0,033
АРКСР 6	0,9923	73925,19	2,3097	315,25	4,5	0,035
АРКСР 7	0,9903	92795,29	1,7624	286,17	3,58	0,031
АРКСР 8	0,9939	58105,83	2,3773	182,83	2,72	0,02
АРКСР 9	0,9931	65704,10	2,7136	242,05	2,88	0,026
тренд 1 порядку	0,9051	952634,6	0,1257	429,07	7,857	0,048
тренд 2 порядку	0,9794	206058,7	0,5352	176,72	3,362	0,019
АР(1)	0,9884	110649,2	1,8179	182,315	3,256	0,019
АРКС (1,3)	0,9875	119530,7	1,6125	231,124	3,183	0,025
АРІКС (7,2,0)	0,5102	94430,13	1,9355	181,78	3,745	0,019

Така модель не враховує можливих коливань, що накладаються на тренд. Загалом, більшість побудованих моделей з додатковими регресорами дають можливість отримати цілком прийнятну якість оцінок прогнозів, тобто їх можна використовувати на практиці для розв'язання задач короткострокового прогнозування відповідних процесів.

Висновки. Розроблено та реалізовано програмно систему підтримки прийняття рішень при моделюванні і прогнозуванні фінансово-економічних процесів. Для програмної реалізації СППР обрано мову програмування C# та середовище розробки програмного забезпечення Microsoft Visual Studio 2015. Запропоновано інтегральний критерій якості моделі, який поєднав у собі критерії адекватності моделей та оцінок прогнозів, обчислених за цими моделями. Виконано обчислювальні експерименти з використанням розробленої СППР, побудовано регресійні моделі та обчислено короткострокові прогнози для таких макроекономічних процесів: ВВП, ІСЦ та грошовий агрегат МЗ (загальна грошова маса) в Україні. За допомогою СППР автоматично обрано кращі регресійні моделі типу $АРКС(p, q)$ з використанням інтегрального

критерію якості. Для згладжування вищезгаданих процесів всюди використовувалось експоненційне ковзне середнє, що зменшується з віддаленістю від поточного виміру, з вікном 3, прогнозом на один крок та нормуванням даних. За статистичним критерієм «середня абсолютна похибка у процентах» кращими виявились такі моделі: для ІСЦ – $АРКС(1,5)$, САПП = 0,919 %; для ВВП $АРКС(1,3)$, САПП = 2,691 %; для агрегату МЗ $АРКС(1,4)$, САПП = 2,609 %. Таким чином, за обраним критерієм всі обчислені оцінки прогнозів є цілком прийнятні за якістю і можуть бути використані на практиці для підтримки прийняття рішень. Серед моделей, побудованих для процесу ціноутворення на квартири, кращі результати отримані для моделі з чотирьома регресорами та фактичними одиничними лагами для кожного з них (САПП = 2,72%).

У подальших дослідженнях необхідно розширити номенклатуру типів математичних моделей, які можна побудувати за допомогою запропонованої СППР (зокрема, моделями ймовірнісного типу), а також автоматизувати процеси оцінювання їх структури і параметрів. Також доцільно ввести процедури комбінування оцінок прогнозів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. *Analysis of financial time series* / R.S.Tsay – New York: John Wiley & Sons, Inc., 2010. – 715 p.
2. *Аналіз часових рядів* / П.І. Бідюк, В.Д. Романенко, О.Л. Тимошук – Київ: «Політехніка», НТУУ «КПІ», 2013. – 600 с.
3. *Державна служба статистики* / [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/> – Назва з екрана.
4. *Аналіз та моделювання економічних процесів перехідного періоду* / Бідюк П.І., Половцев О.В. — Київ: НТУУ «КПІ», 1999. — 230 с.
5. *Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования* / Лукашин Ю.П. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 414 с.
6. *Time series forecasting* / C. Chatfield – London: Chapman & Hall, 2000. – 267 p.