



Національний технічний університет України “КПІ”  
ННК “Інститут прикладного системного аналізу”

## Дипломна робота

тема:

*Прогнозування нестационарних макроекономічних процесів альтернативними методами*

Виконав: студент групи КА-23  
Белас Андрій Олегович

Київ 2016

Науковий керівник: д.т.н., професор,  
Бідюк Петро Іванович

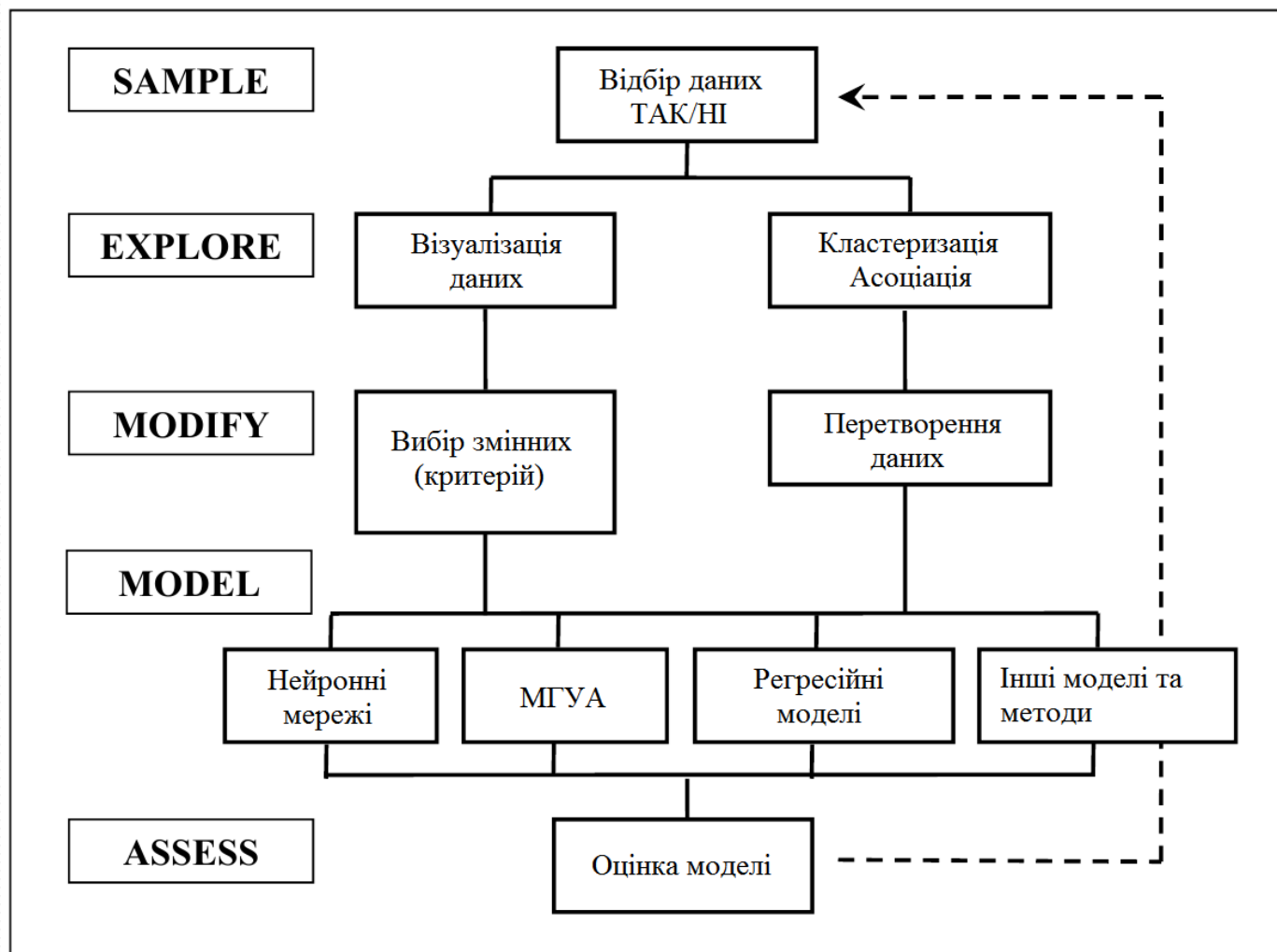
# Об'єкт, предмет і мета дослідження

- **Об'єкт дослідження** – нелінійні нестационарні фінансово-економічні процеси (динаміка ВВП, інфляція, біржові курси), представлені статистичними даними.
- **Мета дослідження** – розробка програми, побудова адекватних моделей вибраних процесів, оцінювання прогнозів і порівняльний аналіз альтернативних методів прогнозування ФЕП.
- **Предмет дослідження** – математичні моделі та методи прогнозування: регресія, МГУА, нейронні мережі.
- **Актуальність дослідження** – поширеність нелінійних нестационарних процесів, складність аналізу і побудови моделей вибраних процесів.

# Постановка задачі дослідження

1. Вибір класів процесів для дослідження (нелінійні, нестационарні в економіці та фінансах).
2. Розробка методики побудови моделей і прогнозування нелінійних нестационарних процесів.
3. Вибір методу оцінювання параметрів моделей ННП.
4. Розробка програмного забезпечення для виконання обчислювальних експериментів.
5. Виконання і аналіз результатів виконаних обчислювальних експериментів.

# Аналітична методологія SEMMA



# Перелік використаних методів та моделей прогнозування

## Методи регресійного аналізу:

- Авторегресійна модель (АР);
- Авторегресія з ковзним середнім (АРКС);
- Авторегресія з інтегрованим ковзним середнім (АРІКС);
- Авторегресійна умовно гетероскедастична модель (АРУГ);
- Узагальнена авторегресійна умовно гетероскедастична модель (УАРУГ).

## Альтернативні методи:

- Метод групового урахування аргументів;
- Нейронні мережі;
- Метод апроксимуючих поліноміальних функцій.

# Математичні моделі для прогнозування вибраних процесів

## 1. Методи регресійного аналізу

Авторегресія:

$$y(k) = a_0 + a_1 \cdot y(k-1) + \dots + a_p \cdot y(k-p) + \varepsilon(k)$$

Авторегресія з ковзним середнім:

$$y(k) = a_0 + \sum_{i=1}^p a_i \cdot y(k-i) + \varepsilon(k) + \sum_{j=1}^q b_j \cdot \varepsilon(k-j)$$

Авторегресія з інтегрованим ковзним середнім:

$$\left(1 - \sum_{i=1}^p a_i \cdot L^i\right) \cdot (1-L)^d y(k) = \left(1 + \sum_{j=1}^q b_j \cdot L^j\right) \varepsilon(k)$$

# Математичні моделі для прогнозування вибраних процесів

## 2. Метод групового урахування аргументів

Особливості задачі:

- Вид функціональної залежності невідомий
- Коротка вибірка даних

Види часткових описів:

- Лінійний
- Неповний квадратичний
- Квадратичний

Основна ідея – **механізм еволюції**: схрещення та відбір кращих

Поліном Колмогорова-Габора:

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^N a_i x_i + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N a_{ijk} x_i x_j x_k + \dots$$

Заміна простими функціями:

$$y_1 = f(x_1, x_2); \quad y_2 = f(x_1, x_3); \quad \dots \quad y_s = f(x_{N-1}, x_N)$$

# Математичні моделі для прогнозування вибраних процесів

## 3. Метод апроксимуючих поліноміальних функцій

- Вихідні змінні розподілені по 3-м групам, в залежності від означуваного типу невизначеності (цілі, взаємодії, ситуаційна).
- Апроксимуючі функції формуються у вигляді ієрархічної багаторівневої системи моделей.
- На верхньому рівні реалізується модель, що визначає залежність від вихідних змінних:

$$\Phi_i(x_1, x_2, x_3) = c_{i1} \Phi_{i1}(x_1) + c_{i2} \Phi_{i2}(x_2) + c_{i3} \Phi_{i3}(x_3)$$

- На другому рівні формуються моделі, що визначають залежність функцій наближення від компонент змінних:

$$\Phi_{ik}(\vec{x}_k) = \sum_{j=1}^{n_k} a_{kj}^{(i)} \psi_{kj}^{(i)}(\vec{x}_{kj}), i = 1 \dots m, k = 1 \dots 3$$

- На третьому рівні формуються моделі, що визначають функції  $\Psi_{1j_1}, \Psi_{2j_2}, \Psi_{3j_3}$  у вигляді узагальнених поліномів (Чебишева, Лежандра, Лагерра чи Ерміта).

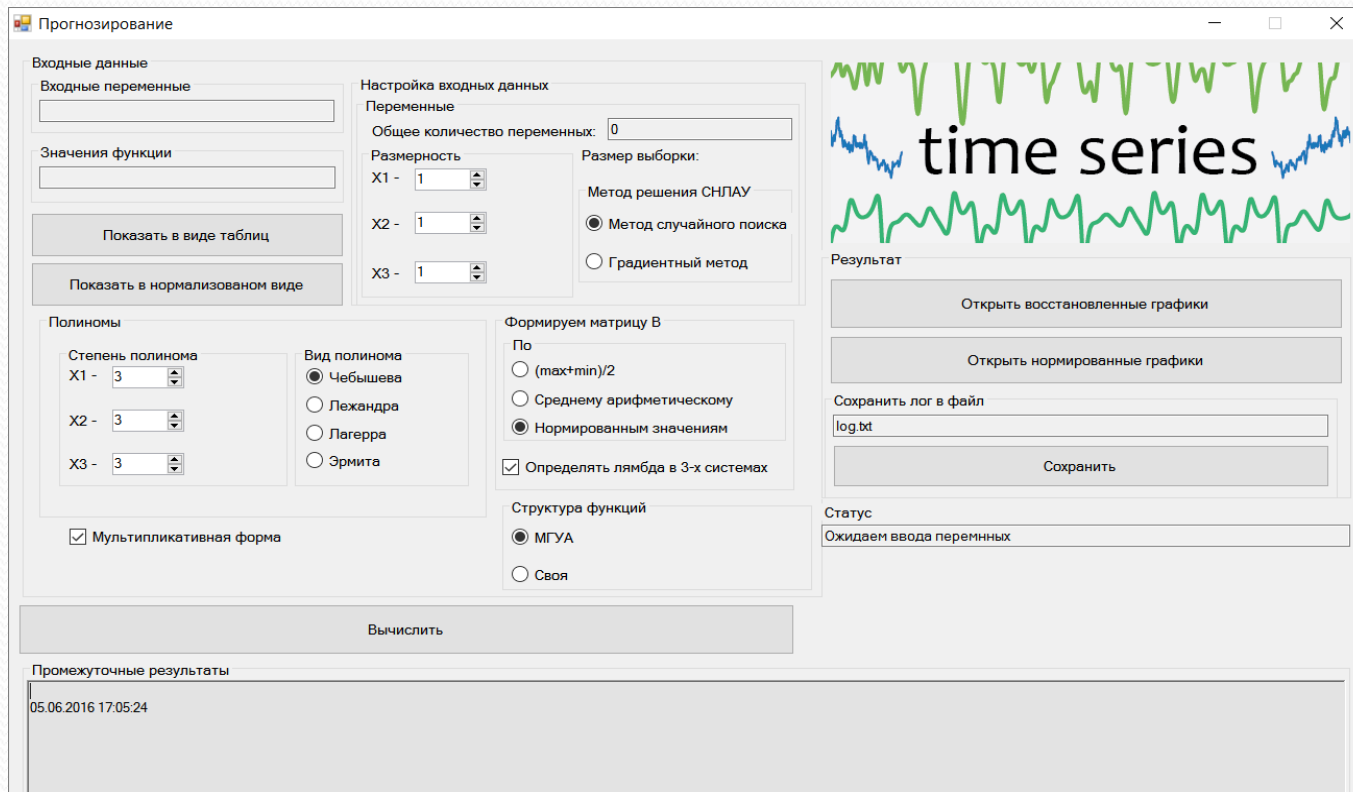


# Архітектура програми для моделювання нестационарних процесів



Призначення: аналіз даних; моделювання; прогнозування; прийняття рішень

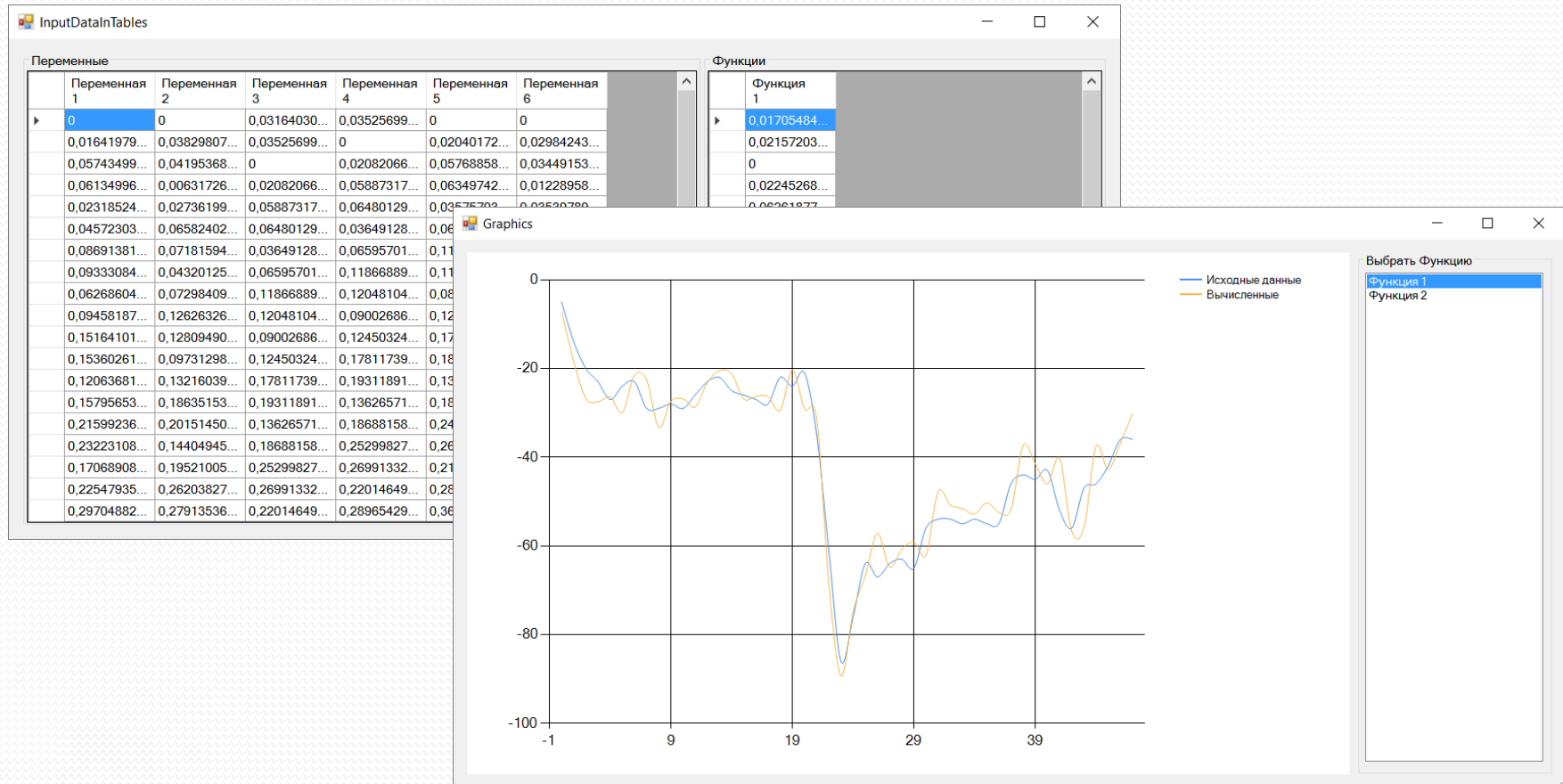
# Вигляд інтерфейсу програми



Створена на базі розробленої архітектури

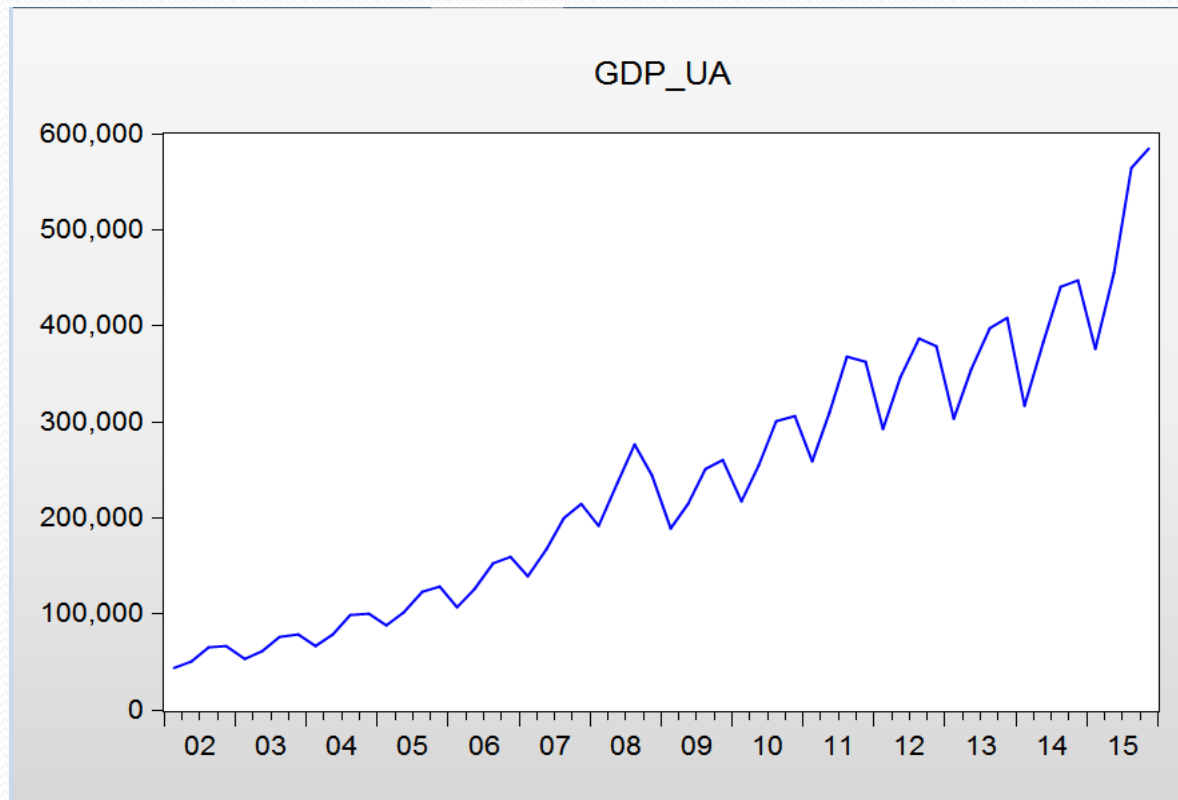
Середовище реалізації: Visual Studio C# Windows Forms

# Вигляд інтерфейсу програми

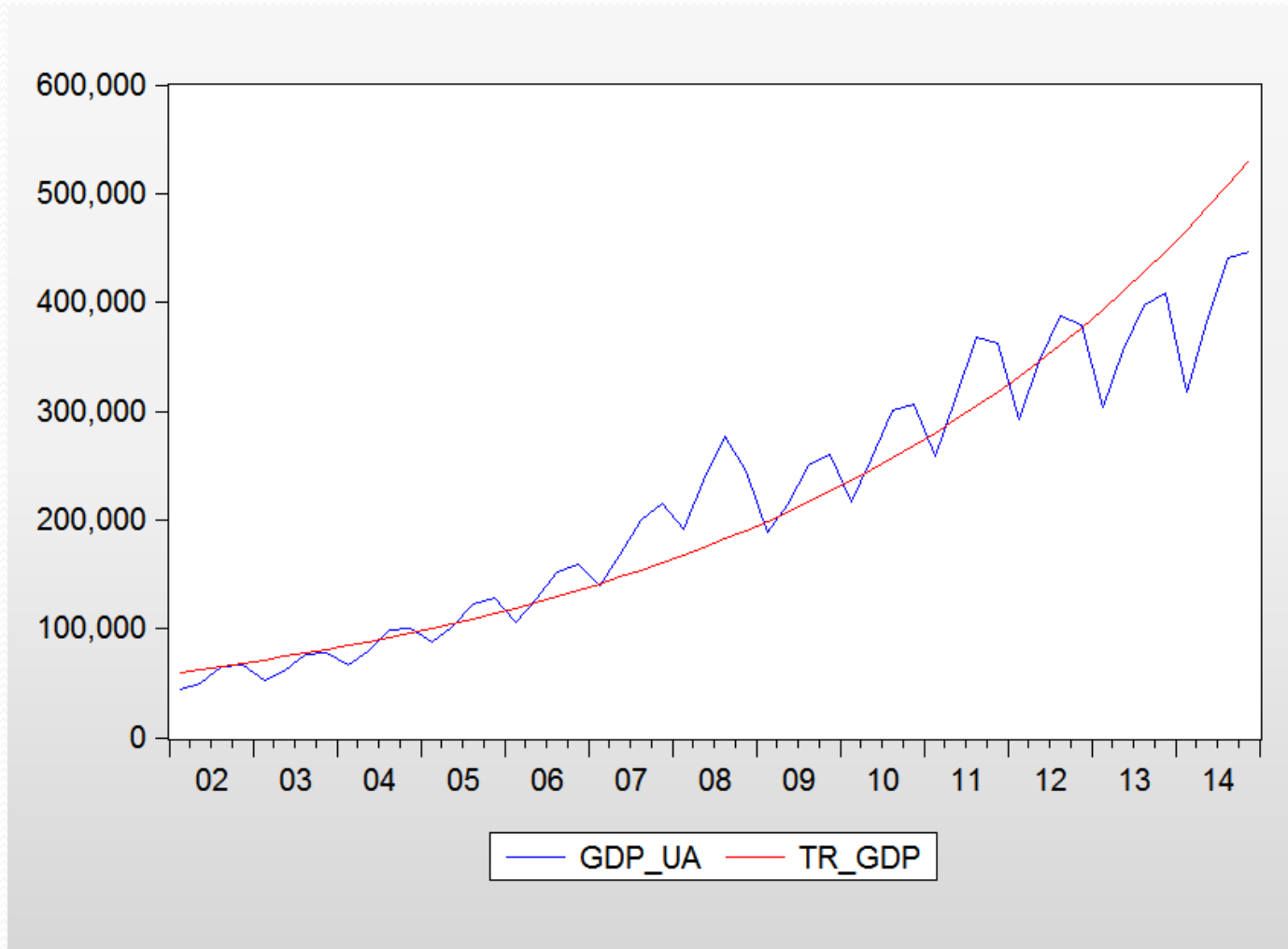


# Моделювання вибраних економічних змінних України: ВВП України

Для побудови моделей взято квартальні дані об'єму ВВП України з 1-го кварталу 2002 року по 4-й квартал 2015 року



# Моделювання ВВП України: виділений тренд

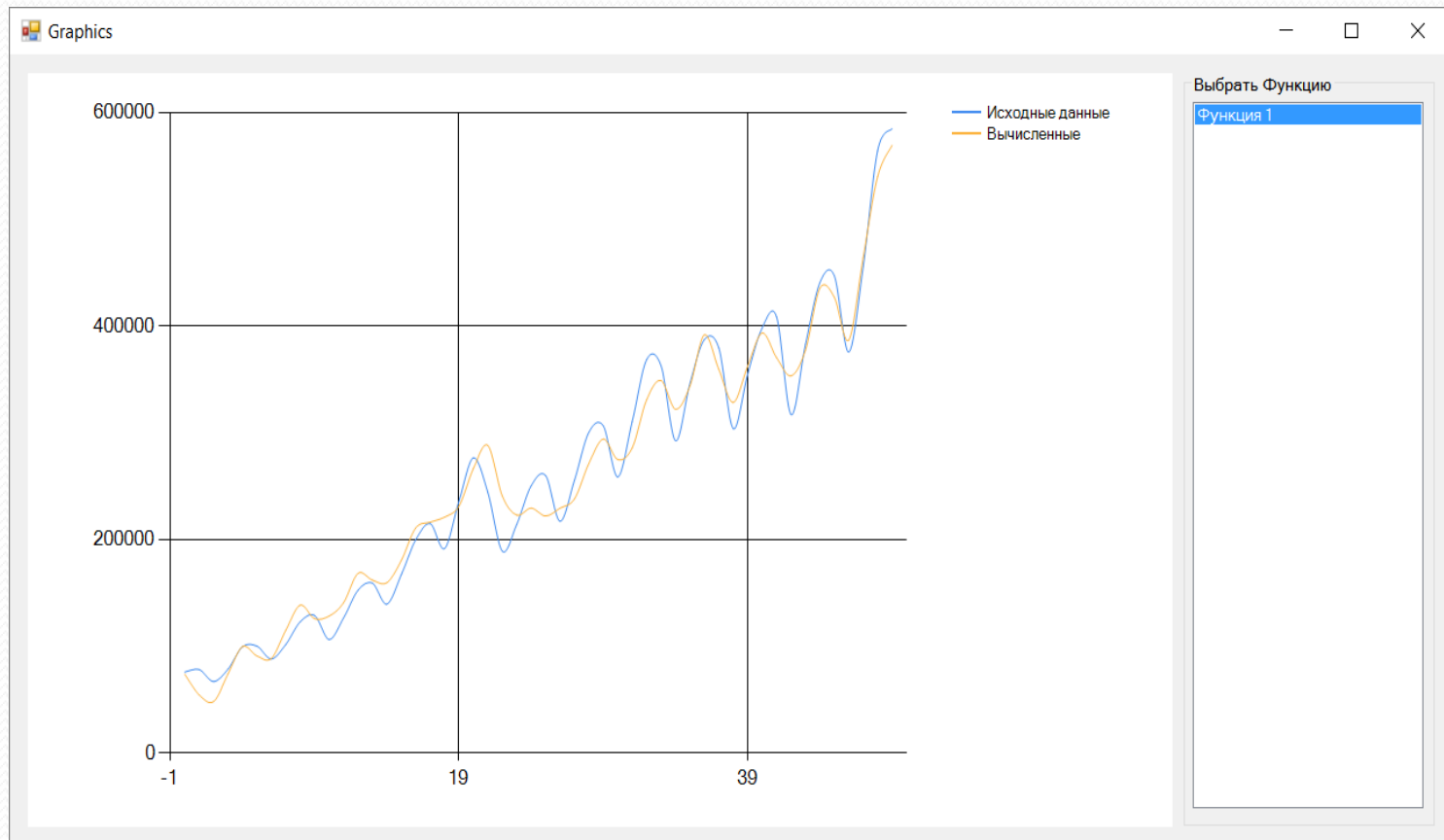


# Моделювання ВВП України: регресійні моделі

- АРІКС (5,1,5):  $\log y(k) = d\log y(k) + \log y(k - 1)$ ,  
де  $d\log y(k) = 0.023413 - 0.031072 \cdot d\log y(k - 2) - 0.078236 \cdot d\log y(k - 3) + 0.966025 \cdot d\log y(k - 4) - 0.088745 \cdot d\log y(k - 5) + 0.324469 \cdot ma(k - 1) - 0.908235 \cdot ma(k - 4) - 0.233016 \cdot ma(k - 5)$ ;
- АР(5):  $\log y(k) = 0.441635 + 0.752236 \cdot \log y(k - 1) + 0.433702 \cdot \log y(k - 3) - 0.218660 \cdot \log y(k - 5)$
- АРСК(5,9):  $\log y(k) = 13.52214 + 0.606155 \cdot \log y(k - 1) + 0.379769 \cdot \log y(k - 3) - 0.039670 \cdot \log y(k - 5) - 0.321819 \cdot ma(k - 2) - 0.199008 \cdot ma(k - 3) + 0.580483 \cdot ma(k - 4) - 0.619080 \cdot ma(k - 5) - 0.440447 \cdot ma(k - 9)$ ;

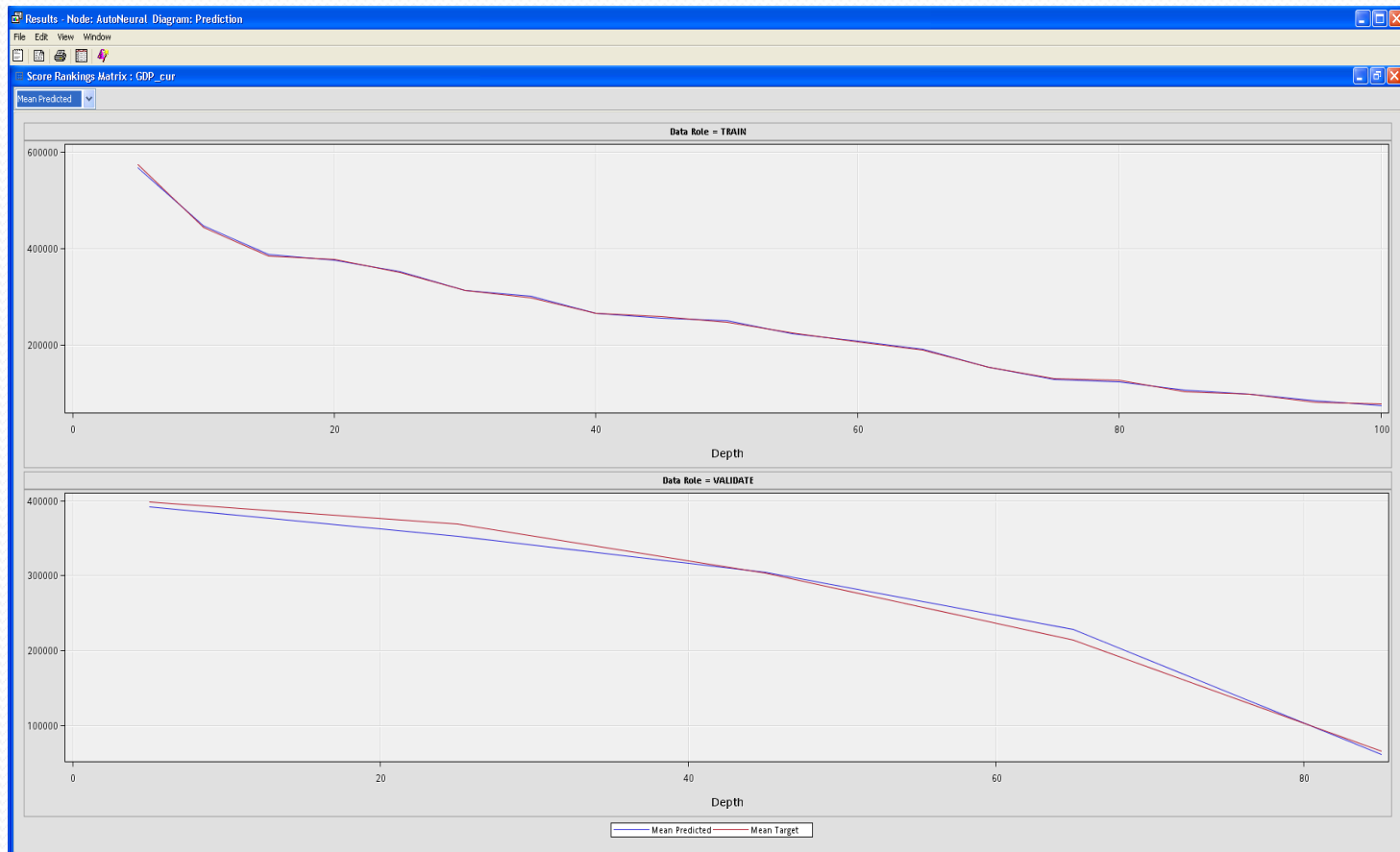
# Моделювання ВВП України: МГУА

Результати роботи розробленої програми (МГУА)



# Моделювання ВВП України: нейронна мережа

Результати роботи нейронної мережі (багатошаровий перцептрон) в SAS





# Моделювання ВВП України: порівняння моделей

Тип моделі	Характеристики моделі		Характеристики прогнозу			
	R <sup>2</sup>	AIC	СеКП	САП	САПП	Коеф. Тейла
АР(5)	0,953493	- 1,334485	3755005	18 890	11,2	0.105685
АРКС(5,9)	0,959576	- 2,152699	2297782	18887	11,2	0,095462
АРІКС(5,1,5)	0,985583	- 3,701301	2086771	15350	10,7	0,0885412
МГУА	0,995901	-5,185456	1893512	10576	8,6	0,07541
Нейронна мережа	0,997932	-7,452875	1452301	9269	7,4	0.069243

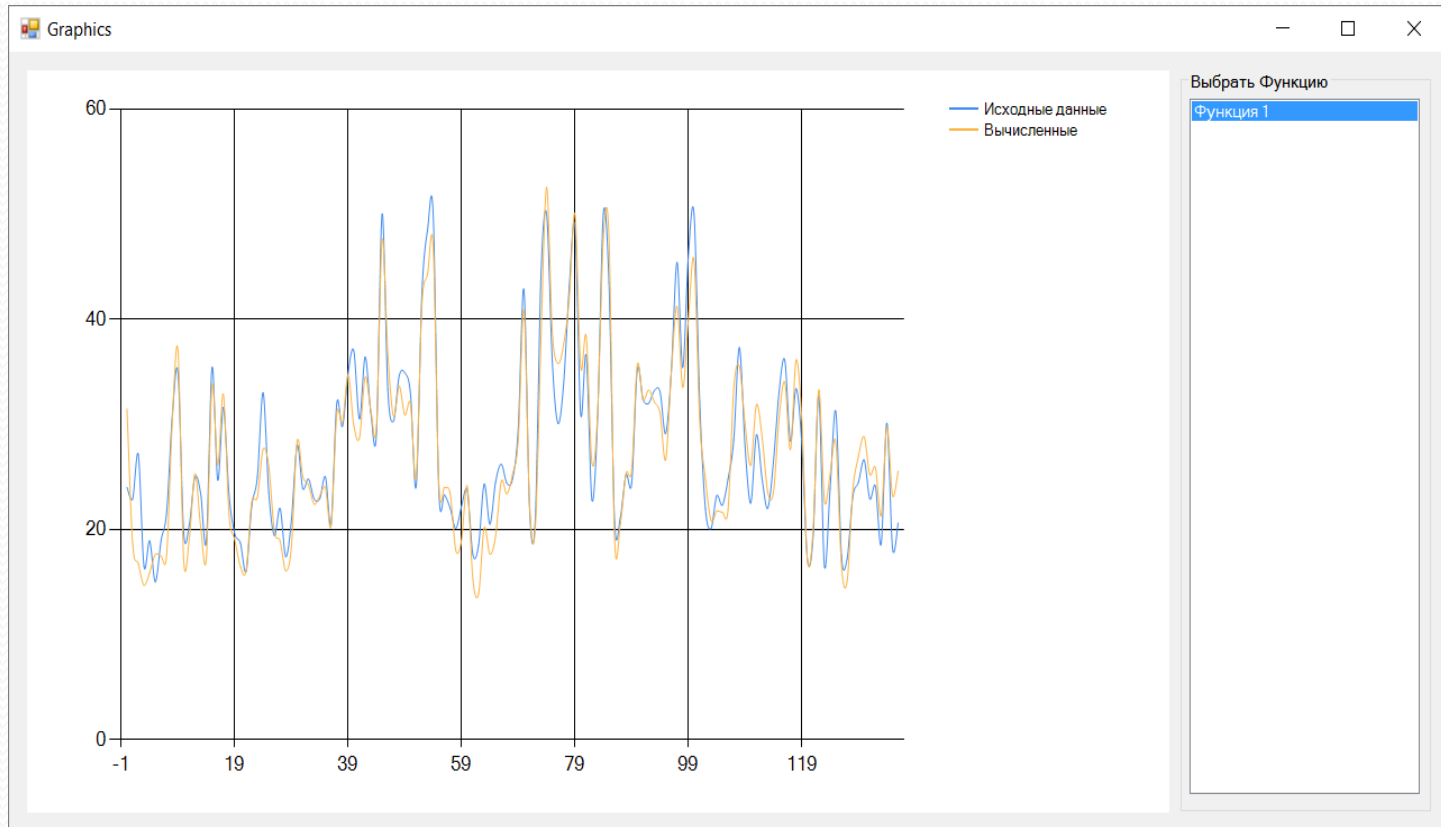
Найкращі результати показало застосування нейронних мереж

# Моделювання цін на нерухомість у Європі

Мета дослідження: моделювання і прогнозування вартості житла в Брістолі та його околицях враховуючи також різноманітні фактори та їх взаємозв'язки.

Ряд відповідних тестів підтвердив гетероскедастичність даного процесу, що характерно для біржових цін та цін на нерухомість.

# Моделювання цін на нерухомість: модель апроксимуючих функцій



# Моделювання цін на нерухомість: порівняння моделей

Тип моделі	Характеристики моделі		Характеристики прогнозу			
	R <sup>2</sup>	AIC	СеКП	САП	САПП	Коеф. Тейла
АР(1)	0,877424	9,445204	27,13	24,84	5,97	0,0340
АРУГ(1)	0,919674	3,954878	24,87	22,35	5,37	0,0310
УАРУГ(1)	0,995862	1,326537	22,61	20,02	4,80	0,0280
Поліноміальна	0,908754	5,845761	25,22	22,60	5,43	0,0310

Найкращі результати прогнозування дисперсії показала класична УАРУГ модель

# ВИСНОВКИ

- Виконано огляд існуючих методів аналізу, моделювання і прогнозування нестационарних макроекономічних процесів. Розглянуто типи нестационарних процесів. Виявлено особливості моделювання процесів з трендом і гетероскедастичних процесів.
- Розроблено програмне забезпечення з використанням платформи Visual Studio C# Windows Forms для проведення обчислювальних експериментів за допомогою альтернативних методів.
- Застосовано розроблену методологію до аналізу ВВП України та цін на нерухомість у Європі. Побудовані моделі процесів з урахуванням результатів тестів, щодо їх нестационарності використовуючи SAS, EViews і власне програмне забезпечення.
- На основі моделювання і прогнозування визначені кращі моделі для вибраних процесів:
  - для ВВП України – модель з використанням нейронних мереж;
  - для цін на нерухомість у Європі – класична УАРУГ модель.

# Перспективи щодо подальших досліджень

- Подальше вдосконалення та розробка архітектури програми
- Поліпшення побудованих моделей для прогнозування
- Аналіз факторів, які впливають на зміну динаміки вибраних процесів
- Застосування інших методів та моделей (нечіткі нейронні мережі, метод опорних векторів, метод подібних траєкторій, метод градієнтного бустінгу)

**Дякую за увагу!**