

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет інформатики та обчислювальної техніки

Кафедра інформаційних систем та технологій

«На правах рукопису»
УДК 004.891

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Олександр РОЛІК

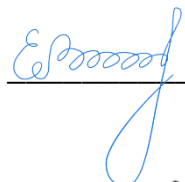
«__» _____ 2022 р.

Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
за освітньо-професійною програмою «Інформаційні управляючі системи та
технології»
зі спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології»
на тему: «Інформаційна система для прогнозування курсу валют»

Виконала:
студентка VI курсу, групи ІС-12мп
Новаківська Катерина Дмитрівна



Керівник:
к.ф.-м.н., доцент
Гавриленко Олена Валеріївна



Рецензент:
к.т.н., доцент
Олійник Юрій Олександрович



Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студентка 

Київ – 2022 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет інформатики та обчислювальної техніки
Кафедра інформаційних систем та технологій

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 126 «Інформаційні системи та технології»

Освітньо-професійна програма «Інформаційні управляючі системи та технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олександр РОЛІК

«___» _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Новаківській Катерині Дмитрівні

1. Тема дисертації «Інформаційна система для прогнозування курсу валют», науковий керівник дисертації Гавриленко Олена Валеріївна, к.ф.-м.н., доцент, затверджені наказом по університету від «09» 11 2022 р. № 4115-с
2. Термін подання студентом дисертації 10 грудня 2022 р.
3. Об'єкт дослідження – програмне забезпечення для прогнозування курсу валют.
4. Вихідні дані
5. Перелік завдань, які потрібно розробити – виконати огляд публікацій про фактори впливу на курс валют та підходи прогнозування курсів валют; проаналізувати фактори впливу і вибрати найбільш важливі; побудувати моделі для прогнозування значень факторів на бажаний період; побудувати моделі для прогнозування курсів валют на основі спрогнозованих значень факторів; перевірити отримані моделі на точність прогнозів та порівняти побудовані моделі; створити веб-застосунок для прогнозування курсів НБУ на майбутні періоди.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу – 8 плакатів
7. Орієнтовний перелік публікацій – одна публікація

8. Дата видачі завдання «30» вересня 2022 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз існуючих рішень для прогнозування курсів валют	10.10.2022	
2	Аналіз публікацій пов'язаних з прогнозуванням курсів валют	17.10.2022	
3	Імплементация методу та функціоналу для визначення важливості факторів	19.10.2022	
4	Імплементация моделей та функціоналу для прогнозування значень факторів	25.10.2022	
5	Імплементация моделей та функціоналу для прогнозування курсів	01.11.2022	
6	Перевірка точностей моделей	03.11.2022	
7	Оформлення пояснювальної записки	20.11.2022	
8	Подання дисертації на захист	10.12.2022	

Студент

Катерина НОВАКІВСЬКА

Науковий керівник

Олена ГАВРИЛЕНКО

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 133 с., 70 рис., 24 табл., 9 додатків, 15 джерела.

Актуальність даної теми зумовлена динамічними змінами на світовому валютному ринку. Уявлення про майбутні зміни курсу НБУ допоможуть експертам ефективно формувати бюджет, представникам економічної сфери та аналітикам – складати аналітичні звіти про валютний ринок тощо.

Мета дослідження – аналіз та відбір найбільш значимих економічних факторів впливу на курс НБУ та побудова моделей для прогнозування курсу.

Для досягнення мети необхідно виконати такі завдання:

- виконати огляд публікацій про фактори впливу на курс валют;
- проаналізувати фактори впливу і вибрати найбільш важливі;
- побудувати моделі для прогнозування значень факторів на бажаний період;
- побудувати моделі для прогнозування курсів валют;
- перевірити отримані моделі на точність прогнозів та порівняти;
- створити веб-застосунок для прогнозування курсів НБУ.

Предмет дослідження – автоматизована система для прогнозування значень макроекономічних показників та курсу валют.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у прогнозуванні курсу валют за факторами, що найбільше впливають на курс, у можливості перенавчання моделей спрогнозованими значеннями, а також у побудові нового методу прогнозування стабільних курсів валют за функцією щільності.

Публікації: Новаківська К. Д. Вибір найбільш впливових економічних факторів для прогнозування курсу долару США./ Новаківська К. Д., Гавриленко О. В., Тетерук А. // Вісник Національного транспортного університету. Серія "Економічні науки". Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2022. – 54. (Подано до друку)

КУРС ВАЛЮТ, ЕКОНОМІЧНІ ФАКТОРИ ВПЛИВУ, МЕТОД ГОЛОВНИХ КОМПОНЕНТ, ПРОГНОЗУВАННЯ, РЕГРЕСІЯ, ARIMA, EXPONENTIAL SMOOTHING, SSA, FAST TREE, FAST TREE TWEEDIE, FAST FOREST, GAM

ABSTRACT

Master thesis: 133 pp., 70 pictures, 24 tables, 9 application, 15 references.

The relevance of this topic is due to dynamic changes in the world currency market. Insights into future changes in the NBU rate will help experts to form a budget effectively, representatives of the economic sphere and analysts to prepare analytical reports on the foreign exchange market, etc.

The purpose of this research is to analyze and select the most significant economic factors affecting the rate of the NBU and build models for rate forecasting.

To achieve the goal, it is necessary to complete the following tasks:

- carry out a review of publications on factors affecting the exchange rate;
- analyze influencing factors and choose the most important ones;
- build models for forecasting factor values for the desired period;
- build models for forecasting currency rates;
- check the obtained models for accuracy of forecasts and compare;
- create a web application for forecasting NBU exchange rates.

The subject of this research is an automated system for forecasting the values of macroeconomic indicators and exchange rates.

The scientific novelty of the obtained results lies in the forecasting of the exchange rate based on the factors that most influence the exchange rate, in the possibility of retraining models with predicted values, as well as in the construction of a new method of forecasting stable exchange rates based on the density function.

Publications: Novakivska K. D. Selection of the most influential economic factors for forecasting the US dollar exchange rate. / Novakivska K. D., Gavrylenko O. V., Teteruk A. // Bulletin of the National Transport University. Series "Economic Sciences". Scientific and technical collection. – K.: NTU, 2022. – 54. (Submitted for publishing)

EXCHANGE RATE, ECONOMIC FACTORS, METHOD OF PRINCIPAL COMPONENTS, FORECASTING, REGRESSION, ARIMA, EXPONENTIAL SMOOTHING, SSA, FAST TREE, FAST TREE TWEEDIE, FAST FOREST, GAM

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	10
Вступ.....	10
1 ОГЛЯД ПІДХОДІВ ТА МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ КУРСУ ВАЛЮТ	12
1.2 Аналіз пов'язаних з прогнозуванням курсу валют публікацій та досліджень	13
1.3 Огляд аналогів, що прогнозують курс валют	14
1.4 Опис функціональної моделі	16
Висновок до розділу.....	17
2 ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	18
2.1 Вхідні дані для аналізу факторів впливу, навчання моделей для прогнозування значень факторів та курсів валют	18
2.2 Вихідні дані аналізу факторів впливу, прогнозування значень факторів та курсів валют.....	19
Висновок до розділу.....	21
3 МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	22
3.1 Змістовна постановка задачі.....	22
3.2 Математична постановка задачі.....	22
3.3 Обґрунтування методу розв'язання	24
3.4 Опис методів розв'язання	25
3.4.1 Опис методу визначення факторів, що мають найбільший вплив на курс	25
3.4.2 Опис методів прогнозування значень макроекономічних показників	28
3.4.3 Опис методів прогнозування курсу валют на основі значень макроекономічних показників.....	37
3.4.4 Опис методу прогнозування стабільного курсу валют за допомогою функції щільності.....	42
3.5 Результати визначення важливості факторів.....	45
3.6 Точність отриманих результатів прогнозу.....	48
Висновок до розділу.....	63
4 ПРОГРАМНЕ ТА ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	64
4.1 Використані засоби розробки.....	64

4.2	Архітектура програмного забезпечення.....	67
4.3	Діаграма класів застосунку.....	68
4.4	Специфікація функцій.....	70
4.5	Керівництво користувача.....	74
	Висновок до розділу.....	91
5	МАРКЕТИНГОВИЙ АНАЛІЗ СТАРТАП-ПРОЄКТУ.....	92
5.1	Опис ідеї стартап-проєкту.....	92
5.2	Технологічний аудит ідеї проєкту.....	95
5.3	Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту.....	96
5.4	Розроблення ринкової стратегії проєкту.....	109
5.5	Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту.....	115
	Висновок до розділу.....	118
	ВИСНОВКИ.....	119
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	121
	ДОДАТОК А. ЛІСТИНГ ЧАСТИНИ КОДУ ПРОГРАМИ.....	123
	ДОДАТОК Б. СХЕМА СТРУКТУРНА ПОСЛІДОВНОСТЕЙ.....	134
	ДОДАТОК В. СХЕМА СТРУКТУРНА КОМПОНЕНТІВ.....	135
	ДОДАТОК Г. СХЕМА СТРУКТУРНА КЛАСІВ.....	136
	ДОДАТОК Д. СХЕМА СТРУКТУРНА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	137
	ДОДАТОК Е. СХЕМА СТРУКТУРНА ВАРІАНТІВ ВИКОРИСТАННЯ.....	138
	ДОДАТОК К. СХЕМА ПОБУДОВИ ДЕРЕВ ДЛЯ ТРЕНУВАННЯ РЕГРЕСІЙНИХ МОДЕЛЕЙ.....	139
	ДОДАТОК Л. ГРАФІК ЧАСТОТИ ПОЯВИ ВАРІАНТ ДЛЯ КУРСУ ЄВРО ПО ВІДНОШЕННЮ ДО АВСТРАЛІЙСЬКОГО ДОЛАРА.....	140
	ДОДАТОК М. ГРАФІК ФУНКЦІЇ ЩІЛЬНОСТІ ДЛЯ КУРСУ ЄВРО ПО ВІДНОШЕННЮ ДО АВСТРАЛІЙСЬКОГО ДОЛАРА.....	141

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ARIMA - Autoregressive Integrated Moving Average

SSA - Singular Spectrum Analysis

Exp. Smoothing – Exponential Smoothing

PCA - Principal Component Analysis

MAE - Mean Absolute Error

RMSE - Root Mean Square Error

ВСТУП

Раніше Національний Банк України формував курс орієнтуючись на біржові операції. З лютого 2014 року було прийняте рішення про перехід до ринкової моделі формування курсу. Таке рішення допомогло посилити контроль над банками і значно зменшити рівень спекуляції валютними курсами. Разом із нововведеннями з'явилася потреба у визначенні курсу на майбутній період для правильного формування бюджету, укладення договорів в іноземній валюті та проведення валютних операцій з Казначейством України. Прогнозування курсу НБУ є досить важливою темою для економічного стану України.

Актуальність даної теми зумовлена динамічними змінами на світовому валютному ринку, змінами в платіжному балансі та споживчому попиті населення України. Досить важко прогнозувати показники розвитку економіки України, планувати державний бюджет тощо за відсутності збалансованої системи управління валютними ризиками. Уявлення про майбутні зміни курсу НБУ допоможуть експертам ефективно формувати бюджет, представникам економічної сфери та аналітикам – складати аналітичні звіти про валютний ринок, науковцям – писати роботи пов'язані із економікою, макроекономікою, міжнародним благодійним та фінансовим організаціям, які працюють в Україні – робити інвестиції.

Метою дослідження є аналіз та відбір найбільш значимих економічних факторів впливу на курс НБУ та побудова моделей для прогнозування курсу.

Для досягнення мети необхідно виконати такі завдання:

- виконати огляд публікацій про фактори впливу на курс валют та підходи прогнозування курсів валют;
- проаналізувати фактори впливу і вибрати найбільш важливі;
- побудувати моделі для прогнозування значень факторів на бажаний період;
- побудувати моделі для прогнозування курсів валют на основі спрогнозованих значень факторів;
- перевірити отримані моделі на точність прогнозів та порівняти побудовані моделі;

- створити веб-застосунок для прогнозування курсів НБУ на майбутні періоди.

Предметом дослідження є автоматизована система для прогнозування значень макроекономічних показників та курсу валют. В межах дослідження для визначення рівня важливості можна використати метод головних компонент, оскільки даний метод належить до групи методів багатofакторного аналізу. Для прогнозування значень значимих факторів можна застосувати такі статистичні моделі, як: ARIMA, Exponential Smoothing та SSA, оскільки вони мають достатню точність для побудови прогнозованих часових рядів. Для прогнозування курсів валют за значеннями факторів можна застосувати регресійні моделі, які шукають залежності між значенням залежної змінної та кількома незалежними між собою змінними. Прикладами таких моделей є регресійні моделі побудовані алгоритмами Fast Tree, Fast Forest, Fast Tree Tweedie та GAM.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у створенні модифікованої моделі прогнозування курсу валют за факторами, що мають найбільший рівень впливу на курс з прогнозуванням майбутніх значень факторів, у можливості перенавчання моделей спрогнозованими значеннями, а також у побудові нового методу прогнозування стабільних курсів валют за функцією щільності.

1 ОГЛЯД ПІДХОДІВ ТА МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ КУРСУ ВАЛЮТ

1.1 Опис предметного середовища

Міжбанківський валютний ринок (МВР) – це система для безготівкових валютних торгів. В даній системі можуть брати участь лише банки-резиденти України, які мають відповідну ліцензію. МВР підпорядковується Національному Банку України (НБУ), для цього використовується система «ВалКлі». Заяви на купівлю та продаж валюти збираються банками від клієнтів з 10-ої до 11-ої години ранку щоденно та реєструються у системі «ВалКлі». Банк може приймати участь у торгах на ринку тільки після реєстрації усіх заяв у «ВалКлі». МВР працює лише в робочі банківські дні. Торги на ринку проходять з 10:00 до 17:00 з понеділка по четвер, а в п'ятницю скорочений день, до 16:00.

Банки-резиденти мають дотримуватися усіх нормативів та постанов НБУ з питань купівлі та продажу. Якщо банк порушує нормативи, то НБУ автоматично виключає банк-порушник із системи «ВалКлі», при цьому банк-порушник не може здійснювати будь-які операції на валютному ринку деякий визначений час. Після виконання валютної угоди вся інформація передається у Національний Банк України та може відстежуватися в режимі реального часу. Угоди, створені та проведені через «ВалКлі» виконуються обов'язково.

НБУ може впливати на курс за допомогою аукціонів та інтервенцій, коли на думку експертів Національного Банку курс є занадто малим або великим. В таких випадках НБУ або проводить операції продажу валюти із золотовалютного резерву або проводить операції купівлі валюти за курсом, який його влаштовує відповідно.[1]

Валютний курс виражає курс грошової одиниці однієї країни у грошових одиницях іншої країни. Існує два режими встановлення валютного курсу: відповідно до золотого паритету або за міжнародною угодою. Перший режим передбачає встановлення курсу в пропорціях до золотого вмісту валюти. Курси валют впливають на баланс зовнішньої торгівлі та хід міжнародних валютних операцій.

Курси валют підпорядковуються паритету купівельної спроможності або закону однієї ціни: ціна одиниці товару в одній країні має бути рівній ціні на цей товар в іншій країні.

Відповідно до «Положення про встановлення офіційного курсу гривні до іноземних валют та розрахунку довідкового значення курсу гривні до долара США й облікової ціни банківських металів» НБУ регламентує питання встановлення та використання офіційного курсу гривні до іноземних валют та розрахунку і використання довідкового значення курсу гривні до долара США й облікової ціни на банківські метали. НБУ встановлює офіційний курс гривні по відношенню до іноземних валют щодня для 34-ьох іноземних валют і щомісяця для 24-ьох.[2]

1.2 Аналіз пов'язаних з прогнозуванням курсу валют публікацій та досліджень

Здановський та Гончарова[3] в своєму дослідженні прогнозування на основі нечіткої логіки для побудови правил та умов використовували як кількісні, так і якісні фактори впливу. З кількісних факторів обрали рівень інфляції, облікової ставки, безробіття, валютних резервів, обсяги грошової маси в обігу, об'єм ВВП.

Зеленська та Барбаш[4] для побудови факторної моделі використовували лише кількісні фактори для прогнозування курсу. Найбільш впливовими факторами обрали дефіцит державного бюджету, темпи інфляції, попит на валюту, платіжний баланс країни, пріоритетні ставки, ВВП, пропозиція валюти, розвиток фондового ринку.

Г. М. Коломієць, А. Г. Іщенко[5] досліджували рівень важливості таких факторів, як: середньозважений курс на міжбанківському рівні, золото-валютні резерви, експорт/імпорт товарів та послуг, прямі інвестиції в Україну, прямі інвестиції з України, валовий зовнішній державний борг. За допомогою регресійно-кореляційної моделі визначили, що найважливішими з перелічених факторів є золотовалютні резерви Національного банку України, експорт, прямі іноземні інвестиції в Україну та з неї, а також валовий зовнішній державний борг.

Фарина О. І[6] за допомогою моделі формування валютного курсу методами системної динаміки визначила такі найбільш значимі фактори, як попит та пропозицію на іноземну валюту. До попиту можна віднести імпорт, збільшення міжнародних активів, повернення міжнародних зобов'язань, процентні виплати за міжнародними зобов'язаннями, а також зняття іноземної валюти населенням; до пропозиції – експорт, збільшення міжнародних зобов'язань, повернення іноземних активів, процентний дохід від іноземних активів та нові депозити в іноземній валюті.

1.3 Огляд аналогів, що прогнозують курс валют

Аналогів, що прогнозують курс валют досить небагато, це пояснюється відсутністю достатньої бази знань про формування курсу валют. Одним з таких аналогів є Trading Economics, що надає своїм користувачам точну інформацію для 196 країн, включаючи історичні дані та прогнози для понад 20 мільйонів економічних показників, курсів валют, індексів фондового ринку, прибутковості державних облігацій і цін на товари. Дані базуються на офіційних джерелах, а не на сторонніх постачальниках даних, і факти регулярно перевіряються на невідповідності. Trading Economics отримав понад 1,3 мільярда переглядів сторінок з понад 200 країн.

Прогнози Trading Economics будуються з використанням власної глобальної макромоделі, яка враховує очікування аналітиків, кореляції між країнами та набір логічних зв'язків між різними показниками. Даний аналог показує поточні значення для усіх курсів, а також прогноз середніх значень курсу на чотири квартали вперед, окрім курсу валют прогнозує середні значення макроекономічних показників для окремих країн, але також на 4 квартали (рис. 1.1).

Major	Price	Signal	Q3/22	Q4/22	Q1/23	Q2/23
EURUSD	0.99819	▼	0.98221	0.96967	0.95723	0.94499
GBPUSD	1.15014	▼	1.13526	1.11996	1.10477	1.08992
AUDUSD	0.67518	▼	0.66909	0.65738	0.64587	0.63457
NZDUSD	0.60585	▼	0.59956	0.58949	0.57955	0.56986
USDJPY	144.140	▼	142.119	144.096	146.100	148.133
USDCNY	6.96636	▲	6.97572	7.03384	7.09195	7.15076
USDCHF	0.97851	▲	0.99285	1.00550	1.01824	1.03119
USDCAD	1.31407	▲	1.32883	1.34459	1.36061	1.37689
USDMXN	20.0062	▲	20.2718	20.6205	20.9753	21.3360
USDINR	79.6560	▲	80.3388	80.9686	81.5983	82.2361
USDBRL	5.24800	▲	5.31126	5.45855	5.60946	5.76502
USDRUB	60.1500	▲	65.4134	71.0167	77.1080	83.7114
USDKRW	1,378.08	▲	1,379.25	1,397.63	1,416.14	1,435.06
DXY	109.8422	▲	110.7170	111.9109	113.1267	114.3425
USDTRY	18.2246	▲	19.2137	20.2856	21.4175	22.6131

Рисунок 1.1 – Прогнози побудовані у Trading Economics

Ще одним аналогом є застосунок Economics TD орієнтований на цільову аудиторію із Канади та США, що прогнозує середнє значення курсу на 6 кварталів вперед для Китайського юаню, Японської єни, Британський фунт, євро, долар США, Швейцарський франк, Канадський долар, Австралійський долар, новозеландський долар. Недоліками цих застосунків є те, що курс валют є динамічною величиною, а середнє значення на квартал не дає достатньо інформації про коливання значень курсу (рис. 1.2).



Foreign Exchange Outlook

Currency	Exchange rate	Spot Price Jul-28	2021				2022				2023			
			Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3F	Q4F	Q1F	Q2F	Q3F	Q4F
Exchange rate to U.S. dollar														
Chinese Yuan	CNY per USD	6.75	6.55	6.46	6.44	6.36	6.34	6.70	6.75	6.80	6.80	6.80	6.80	
Japanese yen	JPY per USD	136	111	111	112	115	121	136	135	125	120	115	110	105
Euro	USD per EUR	1.01	1.17	1.19	1.16	1.13	1.11	1.05	1.03	1.04	1.06	1.08	1.10	1.13
U.K. pound	USD per GBP	1.21	1.38	1.38	1.35	1.35	1.32	1.22	1.20	1.30	1.33	1.35	1.38	1.39
Swiss franc	CHF per USD	0.96	0.94	0.93	0.93	0.92	0.92	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Canadian dollar	CAD per USD	1.28	1.26	1.24	1.27	1.28	1.25	1.29	1.27	1.24	1.26	1.28	1.30	1.29
Australian dollar	USD per AUD	0.70	0.76	0.75	0.72	0.72	0.75	0.69	0.72	0.72	0.73	0.73	0.74	0.74
NZ dollar	USD per NZD	0.63	0.70	0.70	0.69	0.68	0.70	0.63	0.65	0.65	0.66	0.66	0.67	0.67
Exchange rate to Euro														
U.S. dollar	USD per EUR	1.01	1.17	1.19	1.16	1.13	1.11	1.05	1.03	1.04	1.06	1.08	1.10	1.13
Japanese yen	JPY per EUR	137	130	132	129	130	135	142	139	130	127	124	121	119
U.K. pound	GBP per EUR	0.83	0.85	0.86	0.86	0.84	0.84	0.86	0.86	0.80	0.80	0.80	0.80	0.81
Swiss franc	CHF per EUR	0.97	1.11	1.10	1.08	1.04	1.02	1.00	1.03	1.04	1.06	1.08	1.10	1.13
Canadian dollar	CAD per EUR	1.30	1.48	1.47	1.47	1.44	1.39	1.35	1.31	1.29	1.34	1.38	1.43	1.46
Australian dollar	AUD per EUR	1.45	1.54	1.58	1.60	1.56	1.48	1.52	1.43	1.44	1.46	1.48	1.50	1.53
NZ dollar	NZD per EUR	1.61	1.68	1.70	1.68	1.66	1.60	1.68	1.58	1.59	1.61	1.63	1.65	1.69
Exchange rate to Japanese yen														
U.S. dollar	JPY per USD	136	111	111	112	115	121	136	135	125	120	115	110	105
Euro	JPY per EUR	137	130	132	129	130	135	142	139	130	127	124	121	119
U.K. pound	JPY per GBP	164	153	153	150	155	160	165	162	163	160	155	152	146
Swiss franc	JPY per CHF	141.0	117.4	120.0	119.4	125.7	131.8	142.1	135.0	125.0	120.0	115.0	110.0	105.0
Canadian dollar	JPY per CAD	105.8	88.0	89.5	88.0	90.2	97.3	105.4	106.3	100.8	95.2	89.8	84.6	81.4
Australian dollar	JPY per AUD	94.5	84.2	83.2	80.6	83.3	91.1	93.7	97.1	90.4	87.2	84.1	80.9	77.6
NZ dollar	JPY per NZD	85.0	77.3	77.5	76.9	78.5	84.4	84.7	87.8	81.7	78.9	76.0	73.1	70.2
Exchange rate to Canadian dollar														
U.S. dollar	USD per CAD	0.78	0.80	0.81	0.79	0.78	0.80	0.78	0.79	0.81	0.79	0.78	0.77	0.78
Japanese yen	JPY per CAD	105.8	88.0	89.5	88.0	90.2	97.3	105.4	106.3	100.8	95.2	89.8	84.6	81.4
Euro	CAD per EUR	1.30	1.48	1.47	1.47	1.44	1.39	1.35	1.31	1.29	1.34	1.38	1.43	1.46

Рисунок 1.2 – Прогнози побудовані Economics TD

1.4 Опис функціональної моделі

Дійовою особою (актором) застосунку для прогнозування курсу є Користувач.

В межах застосунку Користувач може виконувати такі основні функції:

- аналіз факторів впливу на курс валют;
- прогнозування курсу валют (на період або за введеними макроекономічними показниками);
- генерація звітів точності використовуваних моделей для прогнозування.

Функціональна діаграма варіантів використання користувачем застосунку для прогнозування курсу валют представлена на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 – Функціональна діаграма варіантів використання

Висновок до розділу

У розділі огляду методів та підходів прогнозування курсів валют зазначено мету, цілі та завдання необхідні для досягнення мети, актуальність та призначення розробки. Описано предметну область, проведено аналіз існуючих рішень для прогнозування курсів, а також публікацій пов'язаних із відбором факторів, що впливають на курс та прогнозуванням валютних курсів.

2 ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

2.1 Вхідні дані для аналізу факторів впливу, навчання моделей для прогнозування значень факторів та курсів валют

Вхідними даними для аналізу факторів впливу є датасет сформований з даних починаючи від 2010 року, джерелами даних є сайт Національного Банку України, а саме розділ «Фінансові ринки» (<https://bank.gov.ua/ua/markets>), а також розділ «Економіка України» сайту Мінфіну (<https://index.minfin.com.ua/ua/economy/>). Обсяг результуючого датасету склав 4434 записи. Приклад даних про економічні показники представлений на рисунку 2.1. У стовпці 1 записані значення курсу долара, а у стовпцях 2-18 значення макроекономічних показників, що досліджуються. Один запис відповідає курсу виставленому Нацбанком о 12 годині дня. Купівля/продаж готівкової/безготівкової валюти – це обсяг валюти, що був куплений або проданий відповідно на біржі у млн. доларів США. Різниця усіх операцій купівлі-продажу – це загальний обсяг операцій купівлі/продажу на валютному ринку у млн. доларів США. Рівень інфляції поточного року – це зміна рівня цін на товари та послуги для невиробничого споживання у відсотках. Номінальний ВВП (Внутрішній Валовий продукт) – це обсяг виробництва виміряний у поточних цінах на момент виробництва у млн. гривень, а реальний ВВП – це обсяг виробництва виміряний у сталих цінах у млн. гривень. Купівля/продаж клієнтами банків та транзакції між клієнтами – це обсяг операцій у банках у млрд. доларів США. Валові міжнародні резерви – це високоліквідні активи НБУ в іноземній валюті та золоті у млрд. доларів США, а чисті міжнародні резерви – це сальдо між валовими резервами і залишком заборгованості НБУ та Мінфіну за кредитами перед МВФ у млрд. доларів США. Облікова ставка – це індикатор змін у грошово-кредитній політиці у відсотках. Рівень безробіття – це відношення кількості безробітних до чисельності економічно активного та працездатного населення країни у відсотках. Сальдо валютних інтервенцій – це

різниця обсягу купівлі та продажу валютних інтервенцій у млрд. доларів США. Обсяг угод номінальної вартості – це обсяг продажів боргових цінних папер у млрд. гривень.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	Курс	Купівля готівкової валюти	Продаж готівкової валюти	Продаж безготівкової валюти	Купівля безготівкової валюти	Різниця усіх операцій купівлі-продажу	Рівень інфляції поточного року	Номинальний ВВП	Реальний ВВП	Купівля клієнтами банків	Продаж клієнтами банків	Транзакції між клієнтами	Валові міжнародні резерви	Чисті міжнародні резерви	Рівень безробіття	Облікова ставка	Сальдо валютних інтервенцій	Обсяг угод номінальної вартості
2	28.27944	-37.4362	48.20706	3.470256	-1.21411	13.02701	102	994850	876757	-4.45048	4.421127	5.480059	17.22983	6.84926	9	17.5	0.0503	0.416673
3	28.24612	-56.9289	68.79593	2.332713	-0.93688	13.26291	102	994850	876757	-4.45048	4.421127	5.480059	17.22983	6.84926	9	17.5	0.0503	0.416673
4	28.3783	-32.9953	45.7492	3.748374	-1.36205	15.14018	102	994850	876757	-4.45048	4.421127	5.480059	17.22983	6.84926	9	17.5	0.0503	0.416673
5	28.49299	-32.1947	42.35505	3.891185	-1.40817	12.64339	102	994850	876757	-4.45048	4.421127	5.480059	17.22983	6.84926	9	17.5	0.0503	0.416673
6	28.41155	-32.6437	41.9007	4.923415	-1.72289	12.45754	102	994850	876757	-4.45048	4.421127	5.480059	17.22983	6.84926	9	17.5	0.0503	0.416673
7	28.22463	-39.4859	45.86474	4.477851	-1.65551	9.201206	102	994850	876757	-4.45048	4.421127	5.480059	17.22983	6.84926	9	18	0.0503	0.416673
8	28.22463	-37.4362	48.20706	3.470256	-1.21411	13.02701	102	994850	876757	-4.45048	4.421127	5.480059	17.22983	6.84926	9	18	0.0503	0.416673
9	28.22463	-37.4362	48.20706	3.470256	-1.21411	13.02701	102	994850	876757	-4.45048	4.421127	5.480059	17.22983	6.84926	9	18	0.0503	0.416673
10	28.26498	-55.308	64.07303	2.808511	-0.88048	10.69304	102	994850	876757	-4.45048	4.421127	5.480059	17.22983	6.84926	9	18	0.0503	0.416673
11	28.20069	-33.7003	39.6331	4.588783	-0.57067	9.950878	102	994850	876757	-4.45048	4.421127	5.480059	17.22983	6.84926	9	18	0.0503	0.416673
12	28.09561	-32.1239	37.08483	5.752162	-1.40255	9.310504	102	994850	876757	-4.45048	4.421127	5.480059	17.22983	6.84926	9	18	0.0503	0.416673
13	28.0261	-33.4395	37.07083	4.873034	-1.62927	6.875057	102	994850	876757	-4.45048	4.421127	5.480059	17.22983	6.84926	9	18	0.0503	0.416673
14	28.12684	-36.2905	45.85032	3.59646	-0.77876	12.37753	102	994850	876757	-4.45048	4.421127	5.480059	17.22983	6.84926	9	18	0.0503	0.416673

Рисунок 2.1 – Приклад датасету економічних показників

Вхідними даними для навчання моделей для прогнозування макроекономічних показників та курсів валют є описаний вище датасет, розділений на тренувальну та тестову вибірки у відношенні 0.8 та 0.2.

2.2 Вихідні дані аналізу факторів впливу, прогнозування значень факторів та курсів валют

Вихідними значеннями аналізу факторів впливу є таблиця значень рівнів впливовості макроекономічних факторів на значення курсу валют, за якою обирається множина важливих факторів. На рисунку 2.2 показана така таблиця для трьох валют: долару США, євро та злотого.

Фактор	Курс	Курс			
		Долар	Євро	Польський злотий	Чеська крона
Купівля готівкової валюти		0.8499	0.7893	0.77955	0.69578
Продаж готівкової валюти		0.02087	0.04854	0.06072	0.12924
Продаж безготівкової валюти		0.00349	0.08936	0.15356	-0.02244
Купівля безготівкової валюти		0.24628	0.28978	0.36732	0.35535
Сальдо (купівля-продаж)		0.21585	0.22331	0.21422	0.24268
Інфляція поточного року		0.17147	0.13202	-0.17673	-0.01119
Номинальний ВВП		0.22471	0.21545	-0.30584	-0.24644
Реальний ВВП		0.21352	0.20052	0.15869	0.2189
Купівля клієнтами банків		0.14262	0.1204	-0.12751	0.05034
Продаж клієнтами банків		0.0446	0.06089	0.05023	-0.09552
Операції між банками		0.07079	-0.08078	-0.0756	-0.06339
Валові міжнародні резерви		0.01553	0.01606	0.01459	-0.05468
Чисті міжнародні резерви		0.08252	0.07577	0.07078	0.10511
Рівень безробіття		0.03041	0.03608	0.02561	-0.0242
Облікова ставка		0.00003	0.00467	0.00413	0.00382
Сальдо валютних інтервенцій		0.00055	0.00006	-0.00009	-0.00013
Обсяг угод номінальної вартості		0.000003	0.00001	0.000002	0.00023

Рисунок 2.2 – Значення рівнів важливостей факторів для кожної валюти

В результаті прогнозування макроекономічних показників отримуємо таблиці з колонкою дати передбачення та колонок значень прогнозів отриманих декількома моделями прогнозування. Приклад прогнозованих значень для фактору купівлі готівкової валюти наведено на рисунку 2.3.

Купівля готівкової валюти

#	Дата	SSA	ARIMA	Exponential Smoothing
1	25.07.2021	-68.91658	-91.81882	-80.88856
2	26.07.2021	-68.9449	-67.7554	-82.53627
3	27.07.2021	-68.96411	-69.37132	-84.18398
4	28.07.2021	-68.98515	-72.26026	-85.83169
5	29.07.2021	-69.002556	-82.65292	-87.4794
6	30.07.2021	-69.023705	-80.15869	-89.12711

Рисунок 2.3 – Прогнозовані значення для фактору купівлі готівкової валюти

Результатом прогнозування курсу валют на основі прогнозованих значень факторів є таблиці значень отримані декількома моделями прогнозування. Приклад значень отриманих однією моделлю зображено на рисунку 2.4, де перша колонка – це дата прогнозу, а наступні – прогнози отримані на основі значень факторів спрогнозованих різними моделями.

Прогнозування курсу з використанням моделі тренованої алгоритмом Fast Tree

#	Дата	SSA	ARIMA	Exponential Smoothing
1	25.07.2021	27.281553	27.881018	27.413803
2	26.07.2021	27.270155	27.881018	27.413803
3	27.07.2021	27.270155	27.881018	27.421268
4	28.07.2021	27.265314	27.881018	27.421268
5	29.07.2021	27.270155	27.881018	27.421268
6	30.07.2021	27.281553	27.881018	27.421268

Рисунок 2.4 – Спрогнозовані значення курсів валют

Висновок до розділу

У розділі інформаційного забезпечення було описано вхідні та вихідні дані системи прогнозування курсів валют, наведено ілюстрацію та детально описано структуру датасету для навчання моделей. Наведено приклади вигляду вихідних даних у системі.

3 МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

3.1 Змістовна постановка задачі

На вході маємо історичні дані значень курсу валют та макроекономічних показників. Для досягнення мети за цими даними необхідно серед множини макроекономічних факторів обрати ті, що мають найбільший вплив, при цьому варто пам'ятати, що фактори мають бути попарно незалежними. Потім спрогнозувати майбутні значення впливових факторів. На фінальному етапі необхідно спрогнозувати значення курсу валют на основі прогнозованих значень факторів, що отримали на попередньому кроці. На виході отримаємо прогнозований ряд курсу валют.

3.2 Математична постановка задачі

Задача прогнозування курсу складається з трьох підзадач: задачі визначення факторів, що мають найбільший вплив на даний курс, задачі прогнозування майбутніх значень найбільш впливових факторів та задачі прогнозування значень курсу валют.

На першому етапі необхідно визначити найвпливовіші фактори. Маємо множину факторів $F = \{f_1, \dots, f_i, \dots, f_k\}$, необхідно обрати серед множини макроекономічних факторів ті, що мають найбільший вплив на формування курсу валют за значеннями по кожному фактору $f_i = \{f_{i1}, \dots, f_{im}, \dots, f_{in}\}$, де $i = \overline{1, k}$, k - кількість факторів, $m = \overline{1, n}$, n - кількість значень фактору. На виході отримаємо множину важливих факторів $F^{imp} = \{f_1^{imp}, \dots, f_n^{imp}\}$, де n' - кількість важливих факторів.

На другому етапі необхідно спрогнозувати майбутні значення впливових факторів. Нехай маємо вибірку значень для кожного важливого макроекономічного показника з множини $F^{imp} = \{f_1^{imp}, \dots, f_n^{imp}\}$ за попередні періоди $T = \{t_1, t_2, \dots, t_b, \dots, t_k\}$, $b = \overline{1, k}$,

, де k' - об'єм вибірки. На основі цих даних для кожного з факторів необхідно знайти часовий ряд передбачень $T' = \{t'_1, t'_2, \dots, t'_{k''}\}$, де k'' - кількість прогнозованих значень.

На третьому етапі прогнозуються значення курсу валют. Маємо вибірку історичних даних T^H та вибірку прогнозованих значень факторів T^F :

$$T^H = \begin{cases} t_1^c, t_1^1, t_1^2, \dots, t_1^i, \dots, t_1^k \\ t_2^c, t_2^1, t_2^2, \dots, t_2^i, \dots, t_2^k \\ \dots \\ t_b^c, t_b^1, t_b^2, \dots, t_b^i, \dots, t_b^k \\ \dots \\ t_{k'}^c, t_{k'}^1, t_{k'}^2, \dots, t_{k'}^i, \dots, t_{k'}^k \end{cases}, \quad (2.1)$$

$$T^F = \begin{cases} t_{k'+1}^1, t_{k'+1}^2, \dots, t_{k'+1}^i, \dots, t_{k'+1}^k \\ t_{k'+2}^1, t_{k'+2}^2, \dots, t_{k'+2}^i, \dots, t_{k'+2}^k \\ \dots \\ t_{k'+j}^1, t_{k'+j}^2, \dots, t_{k'+j}^i, \dots, t_{k'+j}^k \\ \dots \\ t_{k'+k''}^1, t_{k'+k''}^2, \dots, t_{k'+k''}^i, \dots, t_{k'+k''}^k \end{cases}, \quad (2.2)$$

де $b = \overline{1, k'}$, k' - об'єм вибірки,

$i = \overline{1, k}$, k - кількість факторів,

$T^c = \{t_1^c, t_2^c, \dots, t_b^c, \dots, t_{k'}^c\}$ - значення курсів валют,

$T_i^H = \{t_1^i, t_2^i, \dots, t_b^i, \dots, t_{k'}^i\}$ - значення фактору i ,

$j = \overline{1, k''}$ k'' - кількість прогнозованих значень,

$T_i^F = \{t_{k'+1}^i, t_{k'+2}^i, \dots, t_{k'+j}^i, \dots, t_{k'+k''}^i\}$ - прогнозовані значення фактору i .

Необхідно знайти часовий ряд прогнозованих курсів валют

$$T_c^F = \{t_{k'+1}^c, t_{k'+2}^c, \dots, t_{k'+j}^c, \dots, t_{k'+k''}^c\}.$$

3.3 Обґрунтування методу розв'язання

Визначити важливість факторів можна за допомогою методу аналізу головних компонент. Метод аналізу головних компонент належить до групи методів факторного аналізу та дозволяє виокремити найбільш значимі компоненти. На вхід подається матриця попарних коефіцієнтів кореляцій або соваріацій. В даному випадку будемо використовувати матрицю кореляцій, оскільки за нею можна додатково перевірити фактори на попарну незалежність. Для побудови кореляційної матриці застосуємо метод Пірсона, бо порівнювані між собою випадкові величини вимірюються в одній шкалі, а також є нормально розподіленими.

Прогнозування макроекономічних показників може бути реалізованим з використанням неточних інтуїтивних методів або формалізованих методів, що за допомогою моделей шукають закономірності певних явищ. Модель прогнозування функціонально описує явища. Для прогнозування застосовуються предметні моделі та моделі часових рядів. Предметні моделі використовують закони області, що досліджується, а моделі часових рядів шукають залежності між майбутніми значеннями та значеннями минулого. Отже, для прогнозування макроекономічних показників будуть застосовуватися моделі часових рядів, оскільки правила змін даних величин в Україні не є повністю дослідженими. Моделі часових рядів поділяються на статистичні та структурні. До статистичних регресійні та авторегресійні, згладжувальні та моделі за вибіркою максимальної подібності. До структурних належать моделі нейромереж та ланцюгів Маркова. Моделі статистичної групи є простішими та швидшими в порівнянні з структурними моделями. Тому застосуємо статистичні моделі, а саме моделі ARIMA, модель експоненціального згладжування та модель аналізу сингулярного спектру для прогнозування значень чинників, що впливають на курс.

Регресійні моделі вивчають закономірності зміни не прогнозованої величини, а факторів, що впливають на показники цієї величини. Оскільки майбутні значення курсу прогноуються на основі даних про фактори формування курсу, то для такого

завдання найбільш застосовними є регресійні моделі. До таких моделей належать моделі навчені алгоритмами Fast Tree, Fast Forest, Fast Tree Tweedie та Gam.

3.4 Опис методів розв'язання

3.4.1 Опис методу визначення факторів, що мають найбільший вплив на курс

Метод головних компонент належить до групи методів факторного аналізу, що полягає у пошуку найбільш значущих факторів. Загальна схема алгоритму методу представлена на рисунку 3.1.

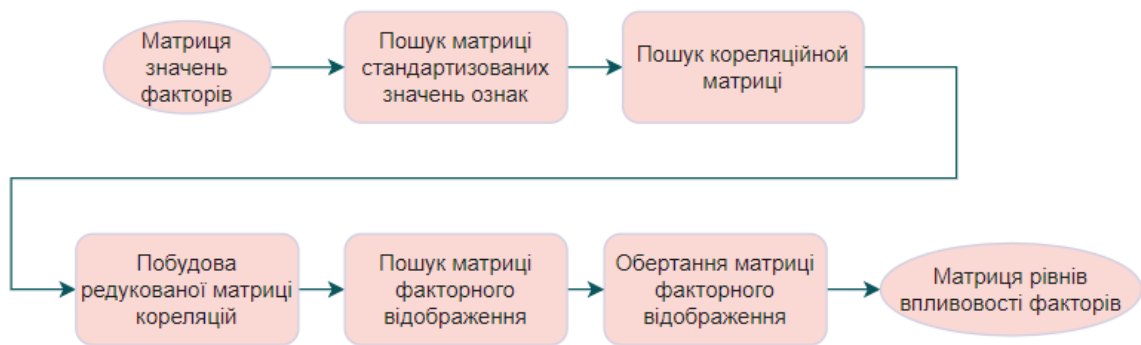


Рисунок 3.1 – Схема алгоритму методу головних компонент

Нехай маємо множину факторів $F = \{f_1, \dots, f_i, \dots, f_k\}$, де $i = \overline{1, k}$, а k - кількість факторів, для кожного фактору $i \in$ множина n значень за досліджувані періоди $f_i = \{f_{i1}, \dots, f_{im}, \dots, f_{in}\}$, де $m = \overline{1, n}$.

На початку необхідно знайти середні значення по кожному фактору:

$$\bar{X}_i = \frac{1}{n} \sum_{m=1}^n f_{im}, \quad (3.1)$$

де i – індекс фактору,

$i = \overline{1, k}$, m – індекс значення фактору впливу $m = \overline{1, n}$.

Потім для кожного з факторів $i = \overline{1, k}$ необхідно порахувати відхилення від середніх значень (3.2) та суми квадратів відхилень (3.3):

$$d_{im} = f_{im} - \overline{X}_i, \quad (3.2)$$

$$S_i = \sum_{m=1}^n d_{im}^2, \quad (3.3)$$

де $i = \overline{1, k}$,

$m = \overline{1, n}$.

Далі рахується середнє значення відхилення для кожного фактору:

$$d_i = \frac{1}{n} \sum_{m=1}^n d_{im}, \quad (3.4)$$

де $i = \overline{1, k}$ i – індекс фактору.

Тепер можна обрахувати коефіцієнти кореляції Пірсона:

$$r_{im} = \frac{\sum_{m=1}^n (d_i \times d_{im})}{\sqrt{\sum_{m=1}^n d_i^2 \times S_i}}, \quad (3.5)$$

де $i, m = \overline{1, k}$,

k – кількість факторів.

Фінальним етапом є пошук взаємозалежних факторів. Якщо $r_{im} < 0.7$, то фактори f_i та f_m будемо вважати незалежними, а якщо $r_{im} \geq 0.7$, то залежними.

На наступному кроці переходимо до пошуку коефіцієнтів важливості методом головних компонент. На початковому етапі необхідно розв'язати рівняння:

$$|R - \lambda E| = 0, \quad (3.6)$$

$$\lambda = \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & \ddots & \vdots & \ddots & 0 \\ \vdots & \dots & \lambda_i & \dots & 0 \\ 0 & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \lambda_k \end{pmatrix}, \quad (3.7)$$

де R - матриця коефіцієнтів кореляції (3.5),

λ – діагональна матриця власних чисел,

E – одинична матриця, $i = \overline{1, k}$,

k – кількість факторів.

Після розв’язання для знаходження визначника $|R|$ застосуємо метод рекурентних співвідношень Фадєєва:

$$\begin{aligned} A_1 &= A & P_1 &= A_1^T & B_1 &= A_1 - P_1 E \\ A_2 &= A_1 B_1 & P_2 &= \frac{1}{2} A_2^T & B_2 &= A_2 - P_2 E \\ &\dots & &\dots & &\dots \\ A_{k-1} &= A B_{k-2} & P_{k-1} &= \frac{1}{k-1} A_{k-1}^T & B_{k-1} &= A_{k-1} - P_{k-1} E \\ A_k &= A B_{k-1} & P_k &= \frac{1}{k} A_k^T & B_k &= A_k - P_k E \end{aligned} \quad (3.8)$$

де k – кількість факторів,

A – симетрична матриця розмірності $k \times k$.

Знайшовши P_k отримуємо визначник кореляційної матриці. Тепер будемо характеристичний багаточлен:

$$P_k(\lambda) = \lambda^k - P_1 \lambda^{k-1} - P_2 \lambda^{k-2} - \dots - P_k. \quad (3.9)$$

Отримане λ підставимо у систему рівнянь $(R - \lambda E)U = 0$ і знайдемо матрицю U , що є матрицею власних векторів і побудуємо пронормовану матрицю:

$$V_j = \frac{U}{|U_j|}. \quad (3.10)$$

З нормованої матриці знайдемо матрицю факторного відображення:

$$A = V\lambda^{\frac{1}{2}}. \quad (3.11)$$

За матрицею A оберемо ті фактори, в яких значення $|a_{im}| > 0.1$. Серед множини отриманих критеріїв знайдемо пари, які взаємозалежні, якщо такі є, то будемо вважати значимим один фактор із такої пари. В результаті отримаємо множину важливих факторів $F^{imp} = \{f_1^{imp}, \dots, f_{n'}^{imp}\}$, де n' - кількість важливих факторів.[7]

3.4.2 Опис методів прогнозування значень макроекономічних показників

ARIMA (Auto-Regressive Integrated Moving Average) – це комбінована версія авторегресійної та ковзної моделі з урахуванням інтегрованості. Зазначена модель враховує параметр порядку відставання - p , степеню відмінності - d та порядку ковзного середнього - q . Модель ARIMA не є конкретною моделлю, вона є класом моделей різного порядку. Така модель може бути або тільки моделлю ковзного середнього, тільки авторегресійною або комбінованою, нижче наведено приклади.

Нехай маємо часовий ряд показників певного макроекономічного показника за попередні періоди $T = \{t_1, t_2, \dots, t_b, \dots, t_k\}$, $b = \overline{1, k}$. Тоді авторегресійна модель порядку p задається так:

$$T = c + \sum_{i=1}^p \varphi_i T_{p-i} + \varepsilon, \quad (3.12)$$

де φ_i – параметри моделі,

c – константа,

ε – «білий шум».

Авторегресійна модель порядку q визначається як:

$$T = \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{q-j} + \varepsilon, \quad (3.13)$$

де θ_j – параметри моделі,

$$\varepsilon \in N(0, \sigma^2).$$

Модель порядку p та q буде виглядати так:

$$T = \sum_{i=1}^p \varphi_i T_{p-i} + \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{q-j} + c + \varepsilon. \quad (3.14)$$

Алгоритм побудови комбінованої моделі:

- вибір оптимальної моделі;
- оцінювання параметрів p, d та q ;
- оцінювання параметрів $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_j, \dots, \theta_q$ та $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_i, \dots, \varphi_p$;
- перевірка часового ряду T_a на адекватність;
- прогнозування майбутніх значень.

Оптимальність моделі полягає у стаціонарності ряду T . Досягти стаціонарності можливо за допомогою методу пошуку послідовних різниць d разів, тобто до моменту, коли ряд не стане однозначно стаціонарним. Основна ідея даного методу полягає у створенні додаткового ряду Z_a такого, що:

$$Z_a = \Delta T_a = T_a - T_{a-1}, \quad (3.15)$$

де $a = \overline{1, p}$.

Для того, щоб оцінити параметри p , d та q застосовується метод рівнянь Юла-Уокера, а для уточнення метод Марквардта. Також на даному етапі виконується перевірка моделі на відсутність протиріччя методом Q-статистики Льюнга-Бокса:

$$Q_a = k' \times (k' - 2) \times \sum_{i=1}^m \frac{r_i^2}{k' - i}, \quad (3.16)$$

де $a = \overline{1, p}$,

k' – обсяг вибірки,

m – к-ть лагів,

r_i – коефіцієнти вибіркової автокореляції.

За умови коли $Q_a < \chi_{1-\alpha, m}^2$ ($\alpha = 0.05$), то приймається гіпотеза про відсутність автокореляції до порядку m . (Примітка: $\chi_{1-\alpha, m}^2$ - це квантиль розподілу χ^2 рівня $1-\alpha$ зі значимістю m). Для збільшення точності отриманої моделі можна застосувати критерії Акаїке (3.17) та Шварца (3.18):

$$AIC = \ln(\sigma^2) + \frac{2(p+q+1)}{k'}, \quad (3.17)$$

$$BIC = \ln(\sigma^2) + \frac{(p+q+1) \ln(k')}{k'}, \quad (3.18)$$

де σ^2 – очікувана дисперсія вибірки.

Після розрахунку критеріїв з класу моделей оберемо ту, де критерії AIC та BIC є мінімальними. Тепер отримана модель є придатною для передбачення майбутніх значень. Для прогнозування застосовуємо одну з формул (3.12), (3.13) або (3.14) в залежності від типу кінцевої моделі.[8]

При навчанні моделі за параметри було взято такі значення: $p = 4$, $d = 1$ та $q = 4$. В результаті отримали такі рівняння моделі для прогнозування купівлі готівкової валюти (3.19), купівлі безготівкової валюти (3.20), сальдо (різниці всіх операцій

купівлі-продажу) (3.21), інфляції поточного року (3.22), реального ВВП (3.23) та купівлі клієнтами банків (3.24):

$$t_{k'+1} = 0.27889(t_{k'} - t_{k'-1}) + 0.05778(t_{k'-1} - t_{k'-2}) - 0.78594(t_{k'-2} - t_{k'-3}) - 0.14109(t_{k'-3} - t_{k'-4}) + 0.1697, \quad (3.19)$$

$$t_{k'+1} = 1.07959(t_{k'} - t_{k'-1}) + 0.35170(t_{k'-1} - t_{k'-2}) - 1.09605(t_{k'-2} - t_{k'-3}) + 0.55126(t_{k'-3} - t_{k'-4}) + 0.10589, \quad (3.20)$$

$$t_{k'+1} = -0.14006(t_{k'} - t_{k'-1}) - 0.11866(t_{k'-1} - t_{k'-2}) - 0.03260(t_{k'-2} - t_{k'-3}) - 0.03352(t_{k'-3} - t_{k'-4}) + 0.3237, \quad (3.21)$$

$$t_{k'+1} = 0.70738(t_{k'} - t_{k'-1}) - 1.33843(t_{k'-1} - t_{k'-2}) + 0.34471(t_{k'-2} - t_{k'-3}) - 0.54391(t_{k'-3} - t_{k'-4}) + 1.29093, \quad (3.22)$$

$$t_{k'+1} = -0.21286(t_{k'} - t_{k'-1}) + 0.61114(t_{k'-1} - t_{k'-2}) + 0.10506(t_{k'-2} - t_{k'-3}) - 0.43241(t_{k'-3} - t_{k'-4}) + 1.91191, \quad (3.23)$$

$$t_{k'+1} = -0.64125(t_{k'} - t_{k'-1}) - 0.32811(t_{k'-1} - t_{k'-2}) + 0.01178(t_{k'-2} - t_{k'-3}) + 0.02756(t_{k'-3} - t_{k'-4}) + 1.20432. \quad (3.24)$$

Прогнозування на основі історії також може бути реалізовано з використанням моделей експоненціального згладжування. Модель експоненціального згладжування є адаптивною, бо вона може оновлювати параметри та структуру залежно від змін умов. Основна ідея такої моделі полягає у вирівнюванні рівнів ряду методом зважування ковзного середнього.

Нехай маємо часовий ряд значень певного макроекономічного показнику за попередні періоди $T = \{t_1, t_2, \dots, t_b, \dots, t_k\}$, $b = \overline{1, k'}$. Тоді за значеннями ряду T необхідно оцінити значення параметрів моделі в початковий момент. Для цього застосуємо метод найменших квадратів:

$$y'(t) = t_1 = a_0 + a_1 t, \quad (3.25)$$

де a_0 – коефіцієнт наближеності до останнього рівня,

a_1 – коефіцієнт приросту, що визначається під кінець спостереження.

Потім потрібно зробити прогноз на один крок вперед, тобто $\tau = 1$:

$$y(t) = a_{0(0)} + a_{1(0)}\tau = a_{0(0)} + a_{1(0)}. \quad (3.26)$$

Тепер можна порахувати величину похибки ε фактичного значення від отриманого:

$$\varepsilon = y(t) - y'(t). \quad (3.27)$$

На наступному кроці уточнюються коефіцієнти моделі:

$$\begin{aligned} a_{0(t)} &= a_{0(t-1)} + a_{1(t-1)} + (1 - \beta)^2 \times \varepsilon(t), \\ a_{1(t)} &= a_{1(t-1)} + (1 - \beta)^2 \times \varepsilon(t) \end{aligned} \quad (3.28)$$

де $\beta = 1 - \alpha$,

α – параметр згладжування.

Параметр згладжування належить області значень $0 < \alpha < 1$.

За умови коли отримали $t \leq n$, то необхідно повернутися до кроку оцінювання параметрів. Інакше можемо знайти прогнозоване значення на момент $\tau = 1$:

$$y'(\tau) = a_{0(t)} + a_{1(t)}\tau. \quad (3.29)$$

Передбачення на майбутні періоди можна порахувати використовуючи рівняння:

$$y'(n + \tau) = a_{0(n)} + a_{1(n)}\tau, \quad (3.30)$$

де n – кількість спостережень,

τ – натуральне число.[9]

Після навчання моделі для отримали такі рівняння для прогнозування купівлі готівкової валюти (3.31), купівлі безготівкової валюти (3.32), сальдо (різниці всіх операцій купівлі-продажу) (3.33), інфляції поточного року (3.34), реального ВВП (3.35) та купівлі клієнтами банків (3.36):

$$y_{i+1} = 0.5135y_i + 0.4912(y_i - y_{i-1}), \quad (3.31)$$

$$y_{i+1} = 0.0145y_i + 0.7629(y_i - y_{i-1}), \quad (3.32)$$

$$y_{i+1} = 0.005801y_i + 0.7294(y_i - y_{i-1}), \quad (3.33)$$

$$y_{i+1} = 0.08292y_i + 0.3033(y_i - y_{i-1}), \quad (3.34)$$

$$y_{i+1} = 0.02814y_i + 0.98812(y_i - y_{i-1}), \quad (3.35)$$

$$y_{i+1} = 0.02665y_i + 0.1665(y_i - y_{i-1}). \quad (3.36)$$

Спрогнозувати майбутні значення макроекономічних показників можливо також за допомогою методу аналізу сингулярного спектру. Ідея даного методу полягає у перетворенні одновимірний часового ряду у багатовимірний та застосуванні до даного ряду методу головних компонент.

Побудова немодифікованої моделі за даним методом виконується у чотири кроки. На першому кроці відбувається вбудування – з одновимірний ряду $T = \{t_1, t_2, \dots, t_b, \dots, t_{k'}\}$, $b = \overline{1, k'}$ довжиною k' утворюється послідовність l векторів:

$$X = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & \cdots & x_{k'-1} & x_{k'} \\ x_2 & x_3 & \cdots & x_{k'} & x_{k'+1} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_l & x_{l+1} & \cdots & x_{n-1} & x_n \end{bmatrix}, \quad (3.37)$$

де $k' = l - n + 1$, $1 < l < n$.

Матриця траєкторії X є матрицею Ганкеля з рівними елементами на діагоналях. Наступним кроком є розкладання сингулярної величини матриці траєкторії на суму біортогональних елементарних матриць рангу один. Створимо матрицю $S = XX^T$,

порахуємо власні числа для цієї матриці та відсортуємо за спаданням. Отже, маємо відсортовану послідовність власних чисел:

$$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_l, \quad (3.38)$$

де $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_l$.

Позначимо за U_1, U_2, \dots, U_l ортонормальну систему власних векторів матриці S , що відповідає цим власним значенням. Тепер обрахуємо величини:

$$V_i = \frac{X^T U_i}{\sqrt{\lambda_i}}, \quad (3.39)$$

де $i = \overline{1, l}$.

Декомпозиція сингулярного значення визначається, як:

$$X = X_1 + X_2 + \dots + X_l, \quad (3.40)$$

де $X_i = \sqrt{\lambda_i} U_i V_i^T$, $i = \overline{1, l}$.

Матриці X_i мають ранг рівний одиниці і є елементарними матрицями. В результаті за перші два кроки декомпозиції отримали власну трійку $(\sqrt{\lambda_i}, U_i, V_i)$. Наступні два кроки є кроками реконструкції.

Наступний крок полягає в розбитті набору індексів $1, 2, \dots, l$ на m непересічних підмножин:

$$I_1, \dots, I_i, \dots, I_m, \quad (3.41)$$

$$X_l = X_{i_1} + X_{i_2} + \dots + X_{i_p}, \quad (3.42)$$

де $I_i = \{i_1, i_2, \dots, i_p\}$ одне з цих розбиттів.

Цей крок можна спростити, апроксимуючи матрицю X на підсумовування перших r елементарних матриць, тобто:

$$X \approx X_1 + X_2 + \dots + X_r. \quad (3.43)$$

На останньому кроці кожна елементарна матриця згрупованого розкладання перетворюється на новий часовий ряд шляхом застосування лінійного перетворення, відомого як діагональне усереднення або ганкелізація.

Алгоритм діагонального усереднення перетворює Y на реконструйовані часові послідовності y_1, y_2, \dots, y_n :

$$y_k = \begin{cases} \frac{1}{k} \sum_{m=1}^k y_{m,k-m+1}^*, & 1 \leq k < l \\ \frac{1}{k} \sum_{m=1}^l y_{m,k-m+1}^*, & l \leq k \leq k' \\ \frac{1}{n-k+1} \sum_{m=k-k'+1}^{n-k+1} y_{m,k-m+1}^*, & k' < k < n \end{cases}. \quad (3.44)$$

Застосовуючи процедуру ганкелізації до всіх компонентів матриці (3.44) отримуємо ще один розклад:

$$X = X_{l_1} + \dots + X_{l_m}, \quad (3.45)$$

$$y_j = \sum_{k=1}^m y_j^{(k)}, \quad (3.46)$$

де $Y_n^{(k)} = (y_1^k, \dots, y_n^k)$ відповідний I_m .

Важливою перевагою аналізу сингулярного спектру є те, що він дозволяє після реконструкції досліджуваного ряду створювати прогнози як для окремого компонента ряду (векторне прогнозування), так і для самого реконструйованого ряду (рекурентне прогнозування).[10]

Нехай $v^2 = \pi_1^2 + \dots + \pi_r^2$, де останній компонент власного вектора $U_i (i=1, 2, \dots, r < l)$. Припустимо, що будь-який вектор $U = R^l$ позначений вектором, що складається з перших $l-1$ компонент вектора U . Покажемо d перших членів рекурентного прогнозу:

$$y_i = \begin{cases} y_i, & i=1, 2, \dots, n \\ \sum_{j=1}^{l-1} \alpha_j y_{i-j}, & i=n+1, \dots, n+d \end{cases} \quad (3.47)$$

де $y_i (i=1, 2, \dots, n)$ створює реконструйований ряд (ряд із зменшенням шуму), а вектор обчислюється за допомогою:

$$A = \frac{1}{1-v^2} \sum_{i=1}^r \pi_i U_i^v. \quad (3.48)$$

Після навчання моделі для отримали такі рівняння для прогнозування факторів купівлі готівкової валюти (3.49), купівлі безготівкової валюти (3.50), сальдо (різниці всіх операцій купівлі-продажу) (3.51), інфляції поточного року (3.52), реального ВВП (3.53) та купівлі клієнтами банків (3.54):

$$y_{i+1} = 0.4991198y_i + 0.500803y_{i-1}, \quad (3.49)$$

$$y_{i+1} = 0.7239119y_i - 1.10178947y_{i-1} + 0.571379066y_{i-2} + , \quad (3.50)$$

$$+ 0.63892376y_{i-3} - 1.68840551y_{i-4} + 1.85621178y_{i-5}$$

$$y_{i+1} = 0.4705252y_i + 0.498599648y_{i-1}, \quad (3.51)$$

$$y_{i+1} = 0.448945y_i + 0.56412y_{i-1}, \quad (3.52)$$

$$y_{i+1} = 0.5036182y_i + 0.508450747y_{i-1}, \quad (3.53)$$

$$y_{i+1} = 0.252821237y_i + 0.258062422y_{i-1} + 0.2621188y_{i-2} + 0.264963y_{i-3}. \quad (3.54)$$

3.4.3 Опис методів прогнозування курсу валют на основі значень макроекономічних показників

Вхідними даними для навчання моделі є дані з сайту Національного Банку України про курс валют у певний момент часу та значення макроекономічних показників, що відповідають цьому курсу. У загальному вигляді рядок датасету відповідає формулі (3.55).

$$y_i, x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{in}, \quad (3.55)$$

де i – індекс запису датасету,

y_i – значення курсу валют (залежна змінна),

x_{ij} – значення j -го фактору (незалежні змінні).

Оскільки цільова змінна прогнозується на основі декількох пояснювальних змінних, то для прогнозування курсу застосуємо множинну лінійну регресію. Метою множинної лінійної регресії є моделювання лінійного зв'язку між пояснювальними (незалежними) змінними та цільової (залежної) змінної. Множинну лінійну регресію можна описати формулою (3.56).

$$y_i = \beta_0 + x_{i1}\beta_1 + x_{i2}\beta_2 + \dots + x_{ij}\beta_j + \dots + x_{in}\beta_n + \varepsilon, \quad (3.56)$$

де β_j – коефіцієнт регресії,

ε – лаг.

Моделями множинної регресії можуть бути моделі побудовані алгоритмами Fast Tree (Множинні дерева адитивної регресії), Fast Forest (Квантильна регресія Fast Forest), Fast Tree Tweedie (Посилення градієнту) та Generative Additive Models (Генеруючі адитивні моделі).

Fast Tree обчислює похідну функції втрат для поточних прогнозів і додає дерево регресії, яке відповідає оберненому значенню цих похідних. Більш формально, вхідні

дані для алгоритму містять набір точок та їхніх міток (x, y) , де точки x знаходяться в деякому просторі X , а мітки y — у просторі міток. Алгоритм приймає на вхід функцію генерування втрат, яка налаштована на прогнозування. Використовуючи функцію генерування втрат і мітки, алгоритм визначає втрати для кожної точки:

$$x, L_x : Y \rightarrow \mathbb{R}, \quad (3.57)$$

де Y — простір передбачення, як правило, дійсні числа.

Нехай на кожній ітерації поточна модель позначається, як:

$$M : X \rightarrow Y, \quad (3.58)$$

де $M(x)$ позначає прогноз поточної моделі для точки x .

Нехай $L_x'(M(x))$ — це похідна функції втрат при $M(x)$. Алгоритм створює проміжний набір даних, у якому нова мітка $L_x'(M(x))$ пов'язана з кожною точкою x у навчальних даних. Дерево навчається передбачати цю зворотну похідну та додається до групи дерев як крок у зворотному напрямку похідної (щоб мінімізувати втрати).[11]

Fast Forest використовує дерева рішень для реалізації квантильної регресії випадкового лісу. Випадкові ліси можуть допомогти запобігти переповненню деревами рішень. Ансамбль дерев розробляється у випадковому лісі за допомогою пакетування для вибору підмножини випадкових вибірок і навчальних характеристик даних, а потім додає дерево рішень у кожен підмножину даних.

Нехай маємо множину значень курсів валют $X_m(t)$ — значення макроекономічного показника з індексом m в момент часу t . Тоді прогнозовані значення можна описати такою формулою:

$$Y_m^p = \sum_{j=1}^n \omega_j(X_m)Y_j, \quad (3.59)$$

$$F(y | X = x) = \sum_{j=1}^n w_j(x) I(Y_j \leq y), \quad (3.60)$$

$$\sum_{j=1}^n \omega_j(X_k) = 1, \quad \omega_j(X_k) \geq 0, \quad \forall_j \in \{1, \dots, n\}_j, \quad (3.61)$$

де $m = \overline{1, k'}$, k' – розмір навчальної вибірки,

Y_j – середньозважені значення прогнозів,

ω_j – відносні ваги.[12]

Fast Tree Tweedie це рекурсивний алгоритм машинного навчання, який успішно використовується в багатьох областях. Він демонструє надзвичайну гнучкість у вирішенні різних функцій втрат.

Нехай маємо множину даних з історії $X = (x_1, \dots, x_p)^T$, а y - одне прогнозоване значення. Ціль алгоритму оцінити оптимальну функцію для прогнозу $F(\cdot)$, яка відображає x на y шляхом мінімізації очікуваного значення функції втрат $\psi(\cdot, \cdot)$ над класом функцій ϕ :

$$F(\cdot) = \arg \min_{F(\cdot) \in \phi} E_{y,x} [\psi(y, F(x))], \quad (3.62)$$

де ψ – передбачається диференційованим відносно класу ϕ .

Враховуючи дані спостереження $\{y_i, x_i\}_{i=1}^n$, де $X = (x_1, \dots, x_p)^T$, оцінка $F(\cdot)$ може бути реалізована мінімізацією емпіричної функції ризиків:

$$\min_{F(\cdot) \in \phi_n} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \psi(y_i, F(x_i)). \quad (3.63)$$

Для посилення градієнту кожна функція $F \in \phi$ вважається ансамблем M базових учнів:

$$F(x) = F^0 + \sum_{m=1}^M \beta^m h(x, \xi^m), \quad (3.64)$$

де $h(x, \xi^m)$ належить до класу деяких простих функцій від x , які називаються базовими навчальними елементами з параметром $\xi^m (m = 1, 2, \dots, M)$,

F^0 – константа,

β^m – коефіцієнт розширення.

Для апроксимації мінімізатора (3.63) прийнято прямий поетапний алгоритм, який створює компоненти $\beta^m h(x, \xi^m) (m = 1, 2, \dots, M)$ послідовно через градієнтний спуск.

Припустимо, що на кожній ітерації m поточною оцінкою для $F(\cdot) \in F^{m-1}(\cdot)$, для того, щоб оновити оцінку $F^{m-1}(\cdot)$ до $F^m(\cdot)$ застосуємо підсилення градієнта, що відповідає негативному вектору градієнта до предикторів за допомогою базового учня $h(x, \xi^m)$. Згодом коефіцієнт розширення β^m може бути визначений шляхом мінімізації пошуку лінії з емпіричною функцією ризику, а оцінка для наступного етапу стає $F(x)$:

$$F^m(x) = F^{m-1}(x) + \nu \beta^m h(x, \xi^m), \quad (3.65)$$

де $0 < \nu < 1$ коефіцієнт стиску, який визначає крок оновлення розміру.[13]

Структура GAM базується на простій розумовій моделі:

- зв'язки між окремими предикторами та залежною змінною слідуєть плавним моделям, які можуть бути лінійними або нелінійними;
- можна оцінити ці плавні залежності одночасно, а потім передбачити $g(E(Y))$, об'єднавши їх.

GAM – це адитивна техніка моделювання, у якій вплив прогнозованих змінних фіксується за допомогою плавних функцій, які – залежно від базових шаблонів даних можуть бути нелінійними:

$$g(E(Y)) = \alpha + s_1(x_1) + s_2(x_2) + \dots + s_p(x_p), \quad (3.66)$$

де Y – залежна (прогнозована) змінна,

$E(Y)$ – позначає очікуване значення,

$g(Y)$ – функція зв'язку, що зв'язує очікуване значення з предиктором змінних x_1, x_2, \dots, x_p .

Такі доданки, як $s_1(x_1), s_2(x_2), \dots, s_p(x_p)$ позначають гладкі непараметричні функції.

В контексті регресійних моделей термінологія непараметричних означає, що форма предикторних функцій повністю визначається даними на відміну від параметричних функцій, які зазвичай визначаються невеликим набором параметрів. Це може дозволити більш гнучку оцінку основних прогнозних шаблонів, без знань про те, як ці шаблони виглядають. [14]

Регресійна модель на основі дерев моделює ансамбль дерев, в яких кожна вершина, що не є листком містить умови для значень факторів, а листок містить значення прогнозу. Для підвищення продуктивності та точності отриманих значень, будується велика кількість дерев (100 - 200), а область значень факторів поділяється на досить малі проміжки. За побудованим ансамблем дерев алгоритмами Fast Tree, Fast Forest, Fast Tree Tweedie та GAM отримали коефіцієнти регресії застосовані у рівнянні регресії (3.67, 3.68, 3.69 та 3.70 відповідно). За отриманим рівнянням можна прогнозувати майбутні значення курсів валют.

$$y = -85.437295 + 0.0212076x_1 - 0.0342834x_2 + 0.00697383x_3 + 1.109588x_4 + 0.00000179662x_5 + 0.0286883x_6, \quad (3.67)$$

$$y = -86.804176 + 0.0206171x_1 - 0.0298768x_2 + 0.00617737x_3 + 1.122718x_4 + 0.00000187445x_5 + 0.0295878x_6, \quad (3.68)$$

$$y = -87.500197 + 0.0235286x_1 - 0.0349955x_2 + 0.00731913x_3 + 1.129702x_4 + 0.00000193306x_5 + 0.0317746x_6, \quad (3.69)$$

$$y = -113.631249 + 0.029046x_1 - 0.0573569x_2 + 0.00627262x_3 + 1.389347x_4 + 0.00000440869x_5 + 0.436436x_6, \quad (3.70)$$

де x_1 – купівля готівкової валюти,

- x_2 – купівля безготівкової валюти,
- x_3 – сальдо (різниця всіх операцій купівлі - продажу),
- x_4 – інфляція поточного року,
- x_5 – реальний ВВП,
- x_6 – купівля клієнтами банків.

3.4.4 Опис методу прогнозування стабільного курсу валют за допомогою функції щільності

В основі даного методу покладено Центральну граничну теорему. Нехай маємо вибірку курсу валют за різні періоди X_1, \dots, X_n , елементи якої є незалежними та однаково розподіленими випадковими величинами, тобто:

$$|\nu| < \infty, \sigma^2 < \infty, \quad (3.70)$$

де ν – математичне сподівання,

σ^2 – дисперсія.

Введемо суму усіх значень вибірки:

$$S_n = \sum_{i=1}^n X_i, \quad (3.71)$$

де n – об'єм вибірки, $i = \overline{1, n}$.

Пронормуємо суму:

$$\overline{S}_n = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \nu)}{\sigma \sqrt{n}}. \quad (3.72)$$

Для нормованої суми (3.72) для кожного n математичне сподівання буде рівним 0, а дисперсія – 1.

У класичному формулюванні теорема звучить так: при n таких, що $n \rightarrow \infty$, послідовність нормованих сум збігається до випадкової величини X з нормованим нормальним розподілом $n(x, \nu, \sigma) = n(x, 0, 1)$:

$$n(x, 0, 1) = \frac{1}{1\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1(x-0)^2}{2 \cdot 1}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}, \quad (3.73)$$

$$\text{де } n(x, \nu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\nu)^2}{2\sigma^2}},$$

$$\sigma^2 = 1, \nu = 0. [15]$$

На практиці центральна гранична теорема реалізовується при $n \geq 40$. Розглянемо вибірку курсу євро до австралійського долара. В якості X_1, \dots, X_n – вибірка значень курсу євро до австралійського долара за різні періоди з 1999-го року. Оскільки вибірка значень курсів валют є великою ($n = 756$), то Центральна гранична теорема є застосовною. Отже, згідно з теоремою можемо припустити, що послідовність вибірок X_1, \dots, X_n прямує до нормального розподілу.

Гіпотезу про нормальний розподіл зазвичай можна перевірити за допомогою χ^2 критерію, але в даному випадку n є настільки великим, що підібрати значення χ^2 критичного неможливо. Тому перевіримо гіпотезу за допомогою графіку розподілу. Автоматичні інструменти побудови розподілів по датасетам згенерували графік представлений на рисунку 3.2. Побудуємо більш детальний графік частот (рис. 3.3). З рисунку 3.2 бачимо, що розподіл частот є нормальним. Наступним значенням курсу (прогнозом) будемо вважати значення X_i , в якому щільність ймовірності є найбільшою. Знайти дане значення можна за допомогою побудови графіку функції щільності розподілу або пошуком ймовірностей попадання прогнозованого значення у проміжок $[\alpha, \beta]$:

$$P\left\{\alpha < \frac{S_n - n\nu}{\sigma\sqrt{n}} < \beta\right\} \rightarrow \Phi(\beta) - \Phi(\alpha) \quad (3.74)$$

де ν – математичне сподівання,

σ – корінь дисперсії,

$\Phi(\cdot)$ – нормальна функція розподілу,

виконується умова $\alpha < \beta$.

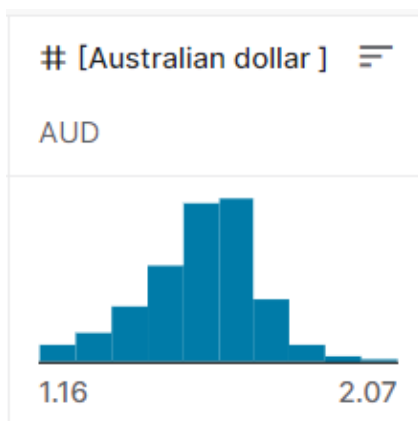


Рисунок 3.2 – Графік частот побудований автоматичними інструментами

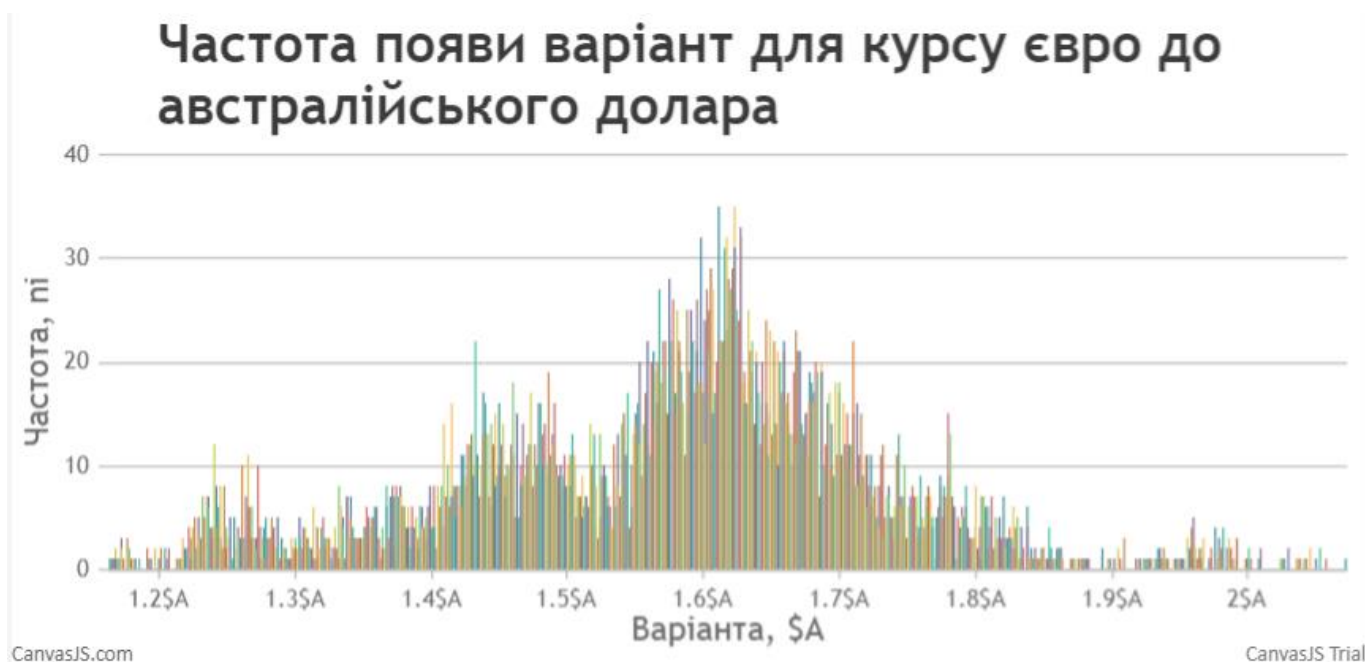


Рисунок 3.3 – Детальний графік частот для курсу євро по відношенню до австралійського долара

Слід зазначити, що описаний метод прогнозування курсу є застосовним лише для стабільних валют. Українська гривня не є достатньо стабільною за розглянутий період, бо вибірка курсів валют має великий розмах. Тому гіпотеза про нормальний розподіл для української гривні є сумнівною.

3.5 Результати визначення важливості факторів

Дослідження рівня важливості факторів впливу на курс валют та прогнозування здійснювалося для валют з найбільшим попитом в Україні таких, як: долар США, євро та польський злотий. Проаналізовано такі кількісні економічні фактори, як:

- купівля готівкової валюти;
- продаж готівкової валюти ;
- купівля безготівкової валюти;
- продаж безготівкової валюти;
- сальдо (купівля – продаж валюти);
- інфляція поточного року;
- номінальний ВВП;
- реальний ВВП;
- купівля клієнтами банків;
- продаж клієнтами банків;
- операції між банками;
- валові міжнародні резерви;
- чисті міжнародні резерви;
- рівень безробіття;
- облікова (процентна) ставка;
- сальдо валютних інтервенцій (купівля -продаж);
- обсяг угод номінальної вартості.

Результати обрахунку коефіцієнтів кореляції для курсу долару США представлені на рисунку 3.4, для євро – на рисунку 3.5, для польського злотого – на рисунку 3.6. Далі отримані кореляційні матриці використовувались для визначення

важливості факторів методом головних компонент. Результати отриманих рівней важливості зазначені на рисунку 3.7. З рисунку 3.7 бачимо, що на курс долару, євро та польського злотого найбільше впливають купівля готівкової/ безготівкової валюти, сальдо (різниця продажу та купівлі валют), номінальний/реальний ВВП, інфляція поточного року та купівля клієнтами банків. Окрім зазначених факторів на польський злотий значний вплив має ще фактор продажу безготівкової валюти. За будь-якою з таблиць зазначених на рисунках 3.4, 3.5, 3.6 перевіримо отримані значущі фактори на взаємну залежність (Матриці з елементами a_{ij} , де $i, j > 1$ рівні). Бачимо, що $r_{10,9} = r_{9,10} = 0.94111$, а це означає, що фактор реальний ВВП та номінальний ВВП є взаємозалежними, тому для прогнозування будемо використовувати лише один із них, наприклад реальний ВВП.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
1																				
2	Курс валют	1.00000	0.13585	-0.08634	0.04295	-0.15368	-0.01238	0.54018	0.17067	0.05227	-0.00324	-0.1175	-0.12232	0.17164	0.08553	0.62698	-0.35001	-0.46817	0.11758	
3	Купівля готівкової валюти	0.13585	1.00000	-0.85252	-0.70897	0.61576	0.20337	0.05625	-0.59797	-0.61232	0.16149	-0.12883	-0.59215	-0.49556	-0.49775	-0.29051	0.349	-0.0181	-0.48002	
4	Продаж готівкової валюти	-0.08634	-0.85252	1.00000	0.78814	-0.47636	0.29498	-0.06639	0.51255	0.53587	-0.08469	0.0363	0.54809	0.52382	0.52261	0.32047	-0.40377	0.00748	0.41055	
5	Продаж безготівкової валюти	0.04295	-0.70897	0.78814	1.00000	-0.62844	0.19167	0.00631	0.57221	0.57091	-0.12278	0.05728	0.60952	0.63725	0.64826	0.45364	-0.54524	-0.05585	0.5513	
6	Купівля безготівкової валюти	-0.15368	0.61576	-0.47636	-0.62844	1.00000	0.4676	-0.09495	-0.60959	-0.56857	0.1956	-0.09604	-0.65391	-0.59282	-0.60682	-0.44455	0.48098	0.27809	-0.55631	
7	Сальдо (купівля-продаж)	-0.01238	0.20337	0.29498	0.19167	0.4676	1.00000	-0.06539	-0.19628	-0.16047	0.15556	-0.1482	-0.15137	-0.01441	-0.02243	-0.01379	-0.03901	0.12291	-0.1603	
8	Інфляція поточного року	0.54018	0.05625	-0.06639	0.00631	-0.09495	-0.06539	1.00000	0.09619	-0.11167	-0.1018	0.00366	-0.06036	0.01998	-0.01153	0.44926	-0.07419	-0.36758	0.08069	
9	Номінальний ВВП	0.17067	-0.59797	0.51255	0.57221	-0.60959	-0.19628	0.09619	1.00000	0.94111	-0.14221	0.06137	0.7372	0.55058	0.54841	0.45069	-0.41743	-0.09442	0.51539	
10	Реальний ВВП	0.05227	-0.61232	0.53587	0.57091	-0.56857	-0.16047	-0.11167	0.94111	1.00000	-0.17739	0.11392	0.74172	0.60534	0.59762	0.33373	-0.46023	-0.0387	0.51819	
11	Купівля клієнтами банків	-0.00324	0.16149	-0.08469	-0.12278	0.1956	0.15556	-0.1018	-0.14221	-0.17739	1.00000	-0.97151	-0.22838	-0.16159	-0.16632	-0.11731	0.18837	0.17751	-0.3166	
12	Продаж клієнтами банків	-0.1175	-0.12883	0.0363	0.05728	-0.09604	-0.1482	0.00366	0.06137	0.11392	-0.97151	1.00000	0.15292	0.04738	0.06212	-0.00202	-0.09124	0.03873	0.23915	
13	Операції між банками	-0.12232	-0.59215	0.54809	0.60952	-0.65391	-0.15137	-0.06036	0.7372	0.74172	-0.22838	0.15292	1.00000	0.68344	0.71167	0.35131	-0.52073	-0.10773	0.68851	
14	Валові міжнародні резерви	0.17164	-0.49556	0.52382	0.63725	-0.59282	-0.01441	0.01998	0.55058	0.60534	-0.16159	0.04738	0.68344	1.00000	0.98717	0.72551	-0.89827	-0.24823	0.68782	
15	Чисті міжнародні резерви	0.08553	-0.49775	0.52261	0.64826	-0.60682	-0.02243	-0.01153	0.54841	0.59762	-0.16632	0.06212	0.71167	0.98717	1.00000	0.66907	-0.88245	-0.21019	0.68806	
16	Рівень безробіття	0.62698	-0.29051	0.32047	0.45364	-0.44455	-0.01379	0.44926	0.45069	0.33373	-0.11731	-0.00202	0.35131	0.72551	0.66907	1.00000	-0.74819	-0.28395	0.55656	
17	Облікова ставка	-0.35001	0.349	-0.40377	-0.54524	0.48098	-0.03901	-0.07419	-0.41743	-0.46023	0.18837	-0.09124	-0.52073	-0.89827	-0.88245	-0.74819	1.00000	0.19433	-0.60172	
18	Сальдо валютних інтервенцій	-0.46817	-0.0181	0.00748	-0.05585	0.27809	0.12291	-0.36758	-0.09442	-0.0387	0.17751	0.03873	-0.10773	-0.24823	-0.21019	-0.28395	-0.19433	1.00000	-0.14157	
19	Обсяг угод номінальної вартості	0.11758	-0.48002	0.41055	0.5513	-0.55631	-0.1603	0.08069	0.51539	0.51819	-0.3166	0.23915	0.68851	0.68782	0.68806	0.55656	-0.60172	-0.14157	1.00000	

Рисунок 3.4 – Коефіцієнти кореляції факторів впливу на курс долару США

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
1																				
2	Курс валют	1.00000	-0.02224	0.0724	0.14397	-0.1643	0.03267	0.53871	0.23941	0.14942	-0.10215	-0.01377	-0.027	0.30955	0.20527	0.72932	-0.48355	-0.38505	0.24479	
3	Купівля готівкової валюти	-0.02224	1.00000	-0.85252	-0.70897	0.61576	0.20337	0.05625	-0.59797	0.61232	0.16149	-0.12883	-0.59215	-0.49556	-0.49775	-0.29051	0.349	-0.0181	-0.48002	
4	Продаж готівкової валюти	0.0724	-0.85252	1.00000	0.78814	-0.47636	0.29498	-0.0639	0.51255	0.53587	-0.08469	0.0363	0.54809	0.52382	0.52261	0.32047	-0.40377	0.00748	0.41055	
5	Продаж безготівкової валюти	0.14397	-0.70897	0.78814	1.00000	-0.62844	0.19167	0.00631	0.57221	0.57091	-0.12278	0.05728	0.60952	0.63725	0.64826	0.45364	-0.54524	-0.05585	0.5513	
6	Купівля безготівкової валюти	-0.1643	0.61576	-0.47636	-0.62844	1.00000	0.4676	-0.09495	-0.60959	-0.56857	0.1956	-0.09604	-0.65391	-0.59282	-0.60682	-0.44455	0.48098	0.27809	-0.55631	
7	Сальдо (купівля-продаж)	0.03267	0.20337	0.29498	0.19167	0.4676	1.00000	-0.06539	-0.19628	-0.16047	0.15556	-0.1482	-0.15137	-0.01441	-0.02243	-0.01379	-0.03901	0.12291	-0.1603	
8	Інфляція поточного року	0.53871	0.05625	-0.0639	0.00631	-0.09495	-0.06539	1.00000	0.09619	0.11167	-0.1018	0.00366	-0.06036	0.01998	-0.01153	0.44926	-0.07419	-0.36758	0.08069	
9	Номинальний ВВП	0.23941	-0.59797	0.51255	0.57221	-0.60959	-0.19628	0.09619	1.00000	0.94111	-0.14221	0.06137	0.7372	0.55058	0.54841	0.45069	-0.41743	-0.09442	0.51539	
10	Реальний ВВП	0.14942	-0.61232	0.53587	0.57091	-0.56857	-0.16047	0.11167	0.94111	1.00000	-0.17739	0.11392	0.74172	0.60534	0.59762	0.33373	-0.46023	-0.0387	0.51819	
11	Купівля клієнтами банків	-0.10215	0.16149	-0.08469	-0.12278	0.1956	0.15556	-0.1018	-0.14221	-0.17739	1.00000	-0.97151	-0.22838	-0.16159	-0.16632	-0.11731	0.18837	0.17751	-0.3166	
12	Продаж клієнтами банків	-0.01377	-0.12883	0.0363	0.05728	-0.09604	-0.1482	0.00366	0.06137	0.11392	-0.97151	1.00000	0.15292	0.04738	0.06212	-0.00202	-0.09124	0.03873	0.23915	
13	Операції між банками	0.027	-0.59215	0.54809	0.60952	-0.65391	-0.15137	-0.06036	0.7372	0.74172	-0.22838	0.15292	1.00000	0.68344	0.71167	0.35131	-0.52073	-0.88245	0.68851	
14	Валові міжнародні резерви	0.30955	-0.49556	0.52382	0.63725	-0.59282	-0.01441	0.01998	0.55058	0.60534	-0.16159	0.04738	0.68344	1.00000	0.98717	0.72551	-0.89827	-0.24823	0.68782	
15	Чисті міжнародні резерви	0.20527	-0.49775	0.52261	0.64826	-0.60682	-0.02243	0.01153	0.54841	0.59762	-0.16632	0.06212	0.71167	0.98717	1.00000	0.66907	-0.88245	-0.21019	0.68806	
16	Рівень безробіття	0.72932	-0.29051	0.32047	0.45364	-0.44455	-0.01379	0.44926	0.45069	0.33373	-0.11731	0.00202	0.35131	0.72551	0.66907	1.00000	-0.74819	-0.28395	0.55656	
17	Облікова ставка	0.48355	0.349	-0.40377	-0.54524	0.48098	-0.03901	-0.07419	-0.41743	-0.46023	0.18837	0.09124	-0.52073	-0.89827	-0.88245	0.74819	1.00000	0.19433	0.60172	
18	Сальдо валютних інтервенцій	-0.38505	-0.0181	0.00748	-0.05585	0.27809	0.12291	-0.36758	-0.09442	-0.0387	0.17751	0.03873	-0.10773	-0.24823	-0.21019	-0.28395	-0.19433	1.00000	-0.14157	
19	Обсяг угод номінальної вартості	0.24479	-0.48002	0.41055	0.5513	-0.55631	-0.1603	0.08069	0.51539	0.51819	-0.3166	0.23915	0.68851	0.68782	0.68806	0.55656	-0.60172	-0.14157	1.00000	

Рисунок 3.5 – Коефіцієнти кореляції факторів впливу на курс євро

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
1																				
2	Курс валют	1.00000	0.15761	-0.10354	-0.09036	0.06563	0.06416	0.48954	-0.00562	0.09137	-0.04996	-0.03162	-0.29486	-0.01667	0.13346	0.46829	-0.18317	-0.32778	-0.00029	
3	Купівля готівкової валюти	0.15761	1.00000	0.85252	-0.70897	0.61576	0.20337	0.05625	-0.59797	0.61232	0.16149	-0.12883	-0.59215	-0.49556	-0.49775	-0.29051	0.349	-0.0181	-0.48002	
4	Продаж готівкової валюти	-0.10354	0.85252	1.00000	0.78814	-0.47636	0.29498	-0.0639	0.51255	0.53587	-0.08469	0.0363	0.54809	0.52382	0.52261	0.32047	-0.40377	0.00748	0.41055	
5	Продаж безготівкової валюти	-0.09036	-0.70897	0.78814	1.00000	-0.62844	0.19167	0.00631	0.57221	0.57091	-0.12278	0.05728	0.60952	0.63725	0.64826	0.45364	-0.54524	-0.05585	0.5513	
6	Купівля безготівкової валюти	0.06563	0.61576	-0.47636	-0.62844	1.00000	0.4676	-0.09495	-0.60959	-0.56857	0.1956	-0.09604	-0.65391	-0.59282	-0.60682	-0.44455	0.48098	0.27809	-0.55631	
7	Сальдо (купівля-продаж)	0.06416	0.20337	0.29498	0.19167	0.4676	1.00000	-0.06539	-0.19628	-0.16047	0.15556	-0.1482	-0.15137	-0.01441	-0.02243	-0.01379	-0.03901	0.12291	-0.1603	
8	Інфляція поточного року	0.48954	0.05625	-0.0639	0.00631	-0.09495	-0.06539	1.00000	0.09619	0.11167	-0.1018	0.00366	-0.06036	0.01998	-0.01153	0.44926	-0.07419	-0.36758	0.08069	
9	Номинальний ВВП	-0.00562	-0.59797	0.51255	0.57221	-0.60959	-0.19628	0.09619	1.00000	0.94111	-0.14221	0.06137	0.7372	0.55058	0.54841	0.45069	-0.41743	-0.09442	0.51539	
10	Реальний ВВП	0.09137	-0.61232	0.53587	0.57091	-0.56857	-0.16047	0.11167	0.94111	1.00000	-0.17739	0.11392	0.74172	0.60534	0.59762	0.33373	-0.46023	-0.0387	0.51819	
11	Купівля клієнтами банків	-0.04996	0.16149	-0.08469	-0.12278	0.1956	0.15556	-0.1018	-0.14221	-0.17739	1.00000	-0.97151	-0.22838	-0.16159	-0.16632	-0.11731	0.18837	0.17751	-0.3166	
12	Продаж клієнтами банків	-0.03162	-0.12883	0.0363	0.05728	-0.09604	-0.1482	0.00366	0.06137	0.11392	-0.97151	1.00000	0.15292	0.04738	0.06212	-0.00202	-0.09124	0.03873	0.23915	
13	Операції між банками	-0.29486	-0.59215	0.54809	0.60952	-0.65391	-0.15137	-0.06036	0.7372	0.74172	-0.22838	0.15292	1.00000	0.68344	0.71167	0.35131	-0.52073	-0.88245	0.68782	
14	Валові міжнародні резерви	-0.01667	-0.49556	0.52382	0.63725	-0.59282	-0.01441	0.01998	0.55058	0.60534	-0.16159	0.04738	0.68344	1.00000	0.98717	0.72551	-0.89827	-0.24823	0.68782	
15	Чисті міжнародні резерви	-0.13346	-0.49775	0.52261	0.64826	-0.60682	-0.02243	0.01153	0.54841	0.59762	-0.16632	0.06212	0.71167	0.98717	1.00000	0.66907	-0.88245	-0.21019	0.68806	
16	Рівень безробіття	0.46829	-0.29051	0.32047	0.45364	-0.44455	-0.01379	0.44926	0.45069	0.33373	-0.11731	0.00202	0.35131	0.72551	0.66907	1.00000	-0.74819	-0.28395	0.55656	
17	Облікова ставка	-0.18317	0.349	-0.40377	-0.54524	0.48098	-0.03901	-0.07419	-0.41743	-0.46023	0.18837	0.09124	-0.52073	-0.89827	-0.88245	0.74819	1.00000	0.19433	0.60172	
18	Сальдо валютних інтервенцій	-0.32778	-0.0181	0.00748	-0.05585	0.27809	0.12291	-0.36758	-0.09442	-0.0387	0.17751	0.03873	-0.10773	-0.24823	-0.21019	-0.28395	-0.19433	1.00000	-0.14157	
19	Обсяг угод номінальної вартості	-0.00029	-0.48002	0.41055	0.5513	-0.55631	-0.1603	0.08069	0.51539	0.51819	-0.3166	0.23915	0.68851	0.68782	0.68806	0.55656	-0.60172	-0.14157	1.00000	

Рисунок 3.6 – Коефіцієнти кореляції факторів впливу на курс польського злотого

	1	2	3	4
1				
2	Курс			
3	Фактор	Курс		
4		Долар	Євро	Польський злотий
2	Купівля готівкової валюти	0.8499	0.7893	0.77955
3	Продаж готівкової валюти	0.02087	0.04854	0.06072
4	Продаж безготівкової валюти	0.00349	0.08936	0.15356
5	Купівля безготівкової валюти	0.24628	0.28978	0.36732
6	Сальдо (купівля-продаж)	0.21585	0.22331	0.21422
7	Інфляція поточного року	0.17147	0.13202	0.17673
8	Номинальний ВВП	0.22471	0.21545	0.30584
9	Реальний ВВП	0.21352	0.20052	0.15869
10	Купівля клієнтами банків	0.14262	0.1204	0.12751
11	Продаж клієнтами банків	0.0446	0.06089	0.05023
12	Операції між банками	0.07079	0.08078	0.0756
13	Валові міжнародні резерви	0.01553	0.01606	0.01459
14	Чисті міжнародні резерви	0.08252	0.07577	0.07078
15	Рівень безробіття	0.03041	0.03608	0.02561
16	Облікова ставка	0.00003	0.00467	0.00413
17	Сальдо валютних інтервенцій	0.00055	0.00006	0.00009
18	Обсяг угод номінальної вартості	0.000003	0.00001	0.000002

Рисунок 3.7 – Коефіцієнти важливості факторів впливу на курси валют

3.6 Точність отриманих результатів прогнозу

Обравши фактори переходимо до етапу прогнозування майбутніх значень даних макроекономічних показників за допомогою моделей ARIMA, Exponential Smoothing та SSA. Спрогнозуємо значення на місяць, а потім передамо ці дані на вхід регресійних моделей побудованих алгоритмами Fast Tree, Fast Forest, Gam, Fast Tree Tweedie. Потім порівняємо спрогнозовані значення з фактичними.

Знайдемо середні абсолютні похибки за формулою:

$$\Delta_i = \frac{|x_{i \text{ факт}} - x_{i \text{ прог}}|}{x_{i \text{ факт}}} \cdot 100\%, \quad (3.75)$$

де $x_{i \text{ факт}}$ – фактичне значення курсу,

$x_{i \text{ прог}}$ – спрогнозоване значення курсу.

Для долару отримали невеликі середні значення похибок від 0.7377% до 2.5415% (рис. 3.8 – 3.11), найгірші результати отримали при прогнозуванні макроекономічних показників за допомогою моделі SSA, а безпосередньо курсу долара при використанні моделі натренованої алгоритмом Gam, а найкращі за допомогою моделей Fast Tree та Fast Forest . За рисунками 3.12 – 3.15 бачимо, що за результатами прогнозу для курсу євро середня похибка коливається від 1.1418% до 3.3789%, найгіршою виявилася модель Gam аналогічно до долару США, а найкращою Fast Forest. Для золотого спостерігаємо іншу ситуацію, середня похибка коливається від 0.9936% до 3.7409%, а найгіршою регресійною моделлю для прогнозування курсу виявилася модель побудована за допомогою алгоритму Fast Tree (рис. 3.16 – 3.19), протилежно до попередніх двох валют найбільш точні значення отримали при використанні моделі Gam.

1	2	3	4	5	6	7	8	
1	Дата	Фактичне значення	SSA	ARIMA	Exp. Smoothing	SSA відхилення, %	ARIMA відхилення, %	Exp. Smoothing відхилення, %
2	15.06.2021	27.0404	27.788	27.6609	27.532425	2.764825964	2.294892087	1.819592166
3	16.06.2021	26.9957	27.6477	27.5798	27.509626	2.415147598	2.163492704	1.903732817
4	17.06.2021	26.9258	27.67	27.5502	27.519829	2.763799033	2.319021162	2.20617029
5	18.06.2021	27.0275	27.6671	27.63	27.448576	2.366319489	2.22916659	1.557953936
6	19.06.2021	27.1712	27.6154	27.6573	27.473242	1.634863385	1.788912525	1.111625545
7	20.06.2021	27.1712	27.7328	27.6295	27.46831	2.066828112	1.686716082	1.093473972
8	21.06.2021	27.1712	27.7514	27.5954	27.423584	2.135441202	1.561057296	0.928865858
9	22.06.2021	27.1712	27.6843	27.6194	27.438885	1.888381816	1.649651101	0.98517916
10	23.06.2021	27.1935	27.7044	27.5154	27.471714	1.878908563	1.183606377	1.023090077
11	24.06.2021	27.305	27.5851	27.4846	27.459612	1.025874382	0.657846548	0.566240615
12	25.06.2021	27.2737	27.6071	27.6076	27.470339	1.222434067	1.22411334	0.720983952
13	26.06.2021	27.4589	27.5916	27.6561	27.470667	0.483242227	0.718084118	0.042853137
14	27.06.2021	27.4589	27.6088	27.5478	27.474634	0.545994195	0.323924119	0.057300183
15	28.06.2021	27.4589	27.689	27.6561	27.452513	0.838030657	0.718084118	0.023260218
16	29.06.2021	27.4589	27.683	27.5493	27.426334	0.816256296	0.329335844	0.11859907
17	30.06.2021	27.3964	27.6761	27.6798	27.313253	1.020962608	1.034541035	0.30349608
18	01.07.2021	27.1763	27.0383	27.1335	27.120628	0.507685005	0.157593197	0.204854966
19	02.07.2021	27.2275	26.9492	27.1768	27.17257	1.022275273	0.186083923	0.20174456
20	03.07.2021	27.3841	26.9483	27.05	27.180632	1.59127742	1.22010948	0.743015107
21	04.07.2021	27.3841	26.957	27.118	27.237146	1.559620364	0.971804806	0.5366639875
22	05.07.2021	27.3841	26.9727	27.113	27.260687	1.502222092	0.990001497	0.450673931
23	06.07.2021	27.4121	26.9805	27.1306	27.260687	1.574315722	1.026834865	0.552358265
24	07.07.2021	27.2904	27.0547	27.118	27.26955	0.863615044	0.631797262	0.076400492
25	08.07.2021	27.2497	27.0547	27.1485	27.213266	0.715545492	0.371233445	0.133704224
26	09.07.2021	27.2993	27.1597	27.1359	27.213266	0.511240215	0.598561135	0.315150938
27	10.07.2021	27.2862	27.0662	27.1114	27.178814	0.806169419	0.640774457	0.393554251
28	11.07.2021	27.2862	27.0778	27.1197	27.178814	0.763939281	0.610326832	0.393554251
29	12.07.2021	27.2862	27.0738	27.1197	27.187614	0.778518079	0.610326832	0.361303516
30	13.07.2021	27.3234	27.0662	27.1197	27.1528	0.941218882	0.745642929	0.624373248
31	14.07.2021	27.2904	27.0856	27.1197	27.1528	0.75057163	0.62562293	0.504206607
32	15.07.2021	27.3216	27.1528	27.1197	27.1528	0.61786279	0.739103859	0.617826189
33								
34	Середнє значення похибки					1.3023673	1.032524597	0.663605726

Рисунок 3.8 – Прогнозовані значення курсу долара за допомогою регресійної моделі Fast Tree

1	2	3	4	5	6	7	8	
1	Дата	Фактичне значення	SSA	ARIMA	Exp. Smoothing	SSA відхилення, %	ARIMA відхилення, %	Exp. Smoothing відхилення, %
2	15.06.2021	27.0404	27.51048	27.70934	27.510483	1.738446916	2.473853937	1.738446916
3	16.06.2021	26.9957	27.60798	27.69726	27.511478	2.268053801	2.598776842	1.910593169
4	17.06.2021	26.9258	27.59958	27.68817	27.511478	2.502369475	2.831373627	2.175155427
5	18.06.2021	27.0275	27.59958	27.68245	27.511478	2.116670058	2.423276293	1.790687263
6	19.06.2021	27.1712	27.59958	27.68533	27.507034	1.576606848	1.892172595	1.235992521
7	20.06.2021	27.1712	27.59387	27.69961	27.49495	1.555566188	1.944728242	1.191518961
8	21.06.2021	27.1712	27.5944	27.6874	27.490011	1.557546225	1.899794635	1.173341626
9	22.06.2021	27.1712	27.5944	27.69309	27.490011	1.557546225	1.920728566	1.173341626
10	23.06.2021	27.1935	27.60641	27.69309	27.490011	1.518425359	1.837148583	1.090374538
11	24.06.2021	27.305	27.62159	27.69083	27.485405	1.159468962	1.413023256	0.660703168
12	25.06.2021	27.2737	27.6132	27.69683	27.485405	1.244788936	1.551417666	0.776223981
13	26.06.2021	27.4589	27.6132	27.68533	27.485405	0.56193074	0.824599674	0.096526081
14	27.06.2021	27.4589	27.62159	27.69021	27.485405	0.592496422	0.842368048	0.096526081
15	28.06.2021	27.4589	27.60748	27.68533	27.485405	0.541110532	0.824599674	0.096526081
16	29.06.2021	27.4589	27.60748	27.70103	27.485405	0.541110532	0.881801529	0.096526081
17	30.06.2021	27.3964	27.60748	27.68921	27.485405	0.770477143	1.06879006	0.324878451
18	01.07.2021	27.1763	27.11758	27.26656	27.175137	0.2160743	0.332134985	0.004279464
19	02.07.2021	27.2275	27.12968	27.26796	27.175137	0.359272794	0.148607107	0.192316592
20	03.07.2021	27.3841	27.13043	27.2664	27.175137	0.926340468	0.429800505	0.763081496
21	04.07.2021	27.3841	27.14109	27.26656	27.175137	0.887420072	0.429219876	0.763081496
22	05.07.2021	27.3841	27.13209	27.26656	27.17303	0.920278556	0.429219876	0.770775742
23	06.07.2021	27.4121	27.11564	27.26656	27.17484	1.081482265	0.530926124	0.865530186
24	07.07.2021	27.2904	27.10922	27.26656	27.17484	0.663900126	0.087349398	0.423445607
25	08.07.2021	27.2497	27.10922	27.2664	27.17484	0.515532281	0.061296088	0.274718621
26	09.07.2021	27.2993	27.10922	27.2664	27.17484	0.696285253	0.120504921	0.455909126
27	10.07.2021	27.2862	27.12132	27.2664	27.17484	0.60426516	0.072553159	0.40811839
28	11.07.2021	27.2862	27.12567	27.2664	27.17484	0.5883267	0.072553159	0.40811839
29	12.07.2021	27.2862	27.12567	27.2664	27.17484	0.5883267	0.072553159	0.40811839
30	13.07.2021	27.3234	27.12423	27.2664	27.17484	0.728942957	0.208601419	0.543709787
31	14.07.2021	27.2904	27.11213	27.2664	27.17484	0.653244364	0.08793202	0.423445607
32	15.07.2021	27.3216	27.11213	27.2664	27.17484	0.766693751	0.202026968	0.537157414
33								
34	Середнє значення похибки					1.03222581	0.984313935	0.737715106

Рисунок 3.9 – Прогнозовані значення курсу долара регресійною моделлю Fast Forest

1	2	3	4	5	6	7	8
Дата	Фактичне значення	SSA	ARIMA	Exp. Smoothing	SSA відхилення, %	ARIMA відхилення, %	Exp. Smoothing відхилення, %
15.06.2021	27.0404	27.80783	27.59188	27.558292	2.838083017	2.039466872	1.915252733
16.06.2021	26.9957	27.74047	27.46786	27.495735	2.758828258	1.749000767	1.852276474
17.06.2021	26.9258	27.86511	27.52348	27.571785	3.488494307	2.219722348	2.399130202
18.06.2021	27.0275	27.78386	27.62217	27.46532	2.798483027	2.200244196	1.619905652
19.06.2021	27.1712	27.65074	27.55948	27.448772	1.764868684	1.429024114	1.021566953
20.06.2021	27.1712	27.69676	27.59091	27.461079	1.934261277	1.544679661	1.066861235
21.06.2021	27.1712	27.72672	27.52257	27.426668	2.044514044	1.293181751	0.940216111
22.06.2021	27.1712	27.6822	27.53472	27.544302	1.880667766	1.337872453	1.373152456
23.06.2021	27.1935	27.68957	27.49522	27.542042	1.824226378	1.109515141	1.281710703
24.06.2021	27.305	27.66887	27.46744	27.52401	1.332613075	0.594916682	0.80208753
25.06.2021	27.2737	27.62855	27.58652	27.556099	1.301062929	1.146969425	1.03542607
26.06.2021	27.4589	27.61573	27.5688	27.555973	0.571126301	0.400234532	0.353521081
27.06.2021	27.4589	27.65497	27.58071	27.517303	0.714063564	0.443619373	0.212692424
28.06.2021	27.4589	27.65989	27.57374	27.458242	0.73197761	0.418239624	0.002396309
29.06.2021	27.4589	27.65987	27.57085	27.40734	0.731908416	0.407682027	0.187771542
30.06.2021	27.3964	27.6513	27.60044	27.364786	0.930395964	0.744773036	0.115394723
01.07.2021	27.1763	26.85536	27.01434	26.904306	1.180940746	0.595956771	1.000850005
02.07.2021	27.2275	26.809	27.02767	26.941608	1.537034248	0.733927096	1.050011936
03.07.2021	27.3841	26.93107	26.96326	26.941608	1.654361473	1.536815159	1.615871984
04.07.2021	27.3841	26.9256	27.00501	27.010187	1.674336568	1.384343469	1.365438338
22.05.07.2021	27.3841	26.91978	27.03406	26.96413	1.695593428	1.278267316	1.533627178
23.06.07.2021	27.4121	26.89451	27.00824	26.961668	1.888166175	1.4732764	1.643186768
24.07.07.2021	27.2904	26.94508	27.0049	26.959066	1.265368042	1.046155425	1.214104594
25.08.07.2021	27.2497	26.94508	27.03854	26.903236	1.117898546	0.774922293	1.27144152
26.09.07.2021	27.2993	27.04887	27.03519	26.90092	0.917342203	0.96747902	1.459304817
27.10.07.2021	27.2862	26.98283	27.03695	26.877834	1.111800104	0.913483739	1.496602678
28.11.07.2021	27.2862	26.98283	27.0258	26.877834	1.111800104	0.954317567	1.496602678
29.12.07.2021	27.2862	26.97958	27.0258	26.861115	1.123703557	0.954317567	1.55787541
30.13.07.2021	27.3234	26.97958	27.0258	26.785805	1.258320707	1.089165331	1.967526003
31.14.07.2021	27.2904	26.9797	27.0258	26.785805	1.138495588	0.969560725	1.848983525
32.15.07.2021	27.3216	27.04562	27.0258	26.785805	1.010109218	1.082648893	1.961067434
33							
34	Середнє значення похибки				1.526801462	1.123670283	1.24715668

Рисунок 3.10 – Прогнозовані значення курсу долара регресійною моделлю Fast Tree Tweedie

1	2	3	4	5	6	7	8
Дата	Фактичне значення	SSA	ARIMA	Exp. Smoothing	SSA відхилення, %	ARIMA відхилення, %	Exp. Smoothing відхилення, %
15.06.2021	27.0404	27.26091	27.28781	27.804647	0.815490895	0.91497537	2.826315439
16.06.2021	26.9957	27.1709	26.99051	27.689959	0.648992247	0.019214171	2.571739203
17.06.2021	26.9258	27.22047	27.15592	27.93778	1.094374169	0.856444987	3.758402722
18.06.2021	27.0275	27.11863	27.07952	27.831282	0.337175099	0.192481732	2.973941356
19.06.2021	27.1712	27.06906	27.08094	27.825182	0.375909051	0.332182605	2.406894064
20.06.2021	27.1712	27.07125	27.136	27.679678	0.367841685	1.129556295	1.871385879
21.06.2021	27.1712	27.33087	26.91131	27.614565	0.587651631	0.956475975	1.631746114
22.06.2021	27.1712	27.07632	27.01139	27.696035	0.349193263	0.588170563	1.93158565
23.06.2021	27.1935	27.04248	27.0524	27.6795	0.555371688	0.518873996	1.787191792
24.06.2021	27.305	27.14222	26.89623	27.542332	0.596161875	1.497062809	0.869188793
25.06.2021	27.2737	27.44273	27.0628	27.680141	0.619754562	0.773268753	1.490230515
26.06.2021	27.4589	27.38059	27.11193	27.521078	0.285189866	1.26360852	0.226440243
27.06.2021	27.4589	27.08353	27.02021	27.580076	1.367024899	1.597616802	0.441299542
28.06.2021	27.4589	27.0371	27.11193	27.41655	1.53610669	1.26360852	0.154230504
29.06.2021	27.4589	27.12646	27.11338	27.322449	1.210682147	1.258327901	0.496928136
30.06.2021	27.3964	27.12646	27.16497	27.131838	0.985311939	0.844756975	0.965681622
01.07.2021	27.1763	26.09279	26.65047	26.643404	3.986984983	1.934902838	1.960885036
02.07.2021	27.2275	26.00515	26.39108	26.705784	4.489394913	3.07196768	1.916136259
03.07.2021	27.3841	26.27097	26.64561	26.7014	4.064891671	2.696794855	2.493052538
21.04.07.2021	27.3841	26.09597	26.70215	26.709288	4.703919428	2.490324677	2.464247501
22.05.07.2021	27.3841	26.04118	26.72906	26.609636	4.904006339	2.392041367	2.828152103
23.06.07.2021	27.4121	26.05329	26.69687	26.609636	4.956971556	2.609165296	2.927407969
24.07.07.2021	27.2904	26.10003	26.69687	26.604107	4.361881834	2.17485636	2.51477809
25.08.07.2021	27.2497	26.11486	26.74399	26.504393	4.164581628	1.855822266	2.735101671
26.09.07.2021	27.2993	26.12473	26.74399	26.504393	4.302564535	2.03414007	2.911821915
27.10.07.2021	27.2862	26.01833	26.79339	26.413193	4.646550271	1.806096122	3.199445141
28.11.07.2021	27.2862	26.06589	26.7612	26.413193	4.472275363	1.924056849	3.199445141
29.12.07.2021	27.2862	26.16433	26.7612	26.413193	4.111492256	1.924056849	3.199445141
30.13.07.2021	27.3234	26.01833	26.7612	26.2711	4.776371169	2.057584342	3.851277659
31.14.07.2021	27.2904	26.03874	26.7612	26.2711	4.586440653	1.939150764	3.735013045
32.15.07.2021	27.3216	26.08548	26.7612	26.2711	4.524339717	2.051131705	3.844943195
33							
34	Середнє значення похибки				2.541448323	1.482803807	2.264011419

Рисунок 3.11 – Прогнозовані значення курсу долара регресійною моделлю Gam

1	2	3	4	5	6	7	8
Дата	Фактичне значення	SSA	ARIMA	Exp. Smoothing	SSA відхилення, %	ARIMA відхилення, %	Exp. Smoothing відхилення, %
15.06.2021	32.7905	33.67204	33.67588	33.589245	2.688400604	2.700111313	2.435903692
16.06.2021	32.7053	33.49395	33.26237	33.418297	2.411395095	1.703301911	2.180065616
17.06.2021	32.6166	33.48003	33.57857	33.69811	2.64722258	2.949320285	3.31582691
18.06.2021	32.7722	33.44892	33.41011	33.71585	2.064920878	1.946509542	2.879422193
19.06.2021	32.4424	33.28707	33.45797	33.73345	2.603589747	3.130388011	3.979514463
20.06.2021	32.4424	33.44327	33.65312	33.641445	3.085067689	3.731906394	3.695919537
21.06.2021	32.4424	33.5195	33.56168	33.352882	3.320037975	3.450065347	2.806456982
22.06.2021	32.4424	33.4621	33.76432	33.657677	3.143109018	4.074667719	3.745952827
23.06.2021	32.2882	33.40509	33.63151	33.634037	3.459127483	4.160374378	4.168200767
24.06.2021	32.467	33.27624	33.48224	33.555252	2.492500077	3.126975082	3.351871131
25.06.2021	32.6003	33.40129	33.58529	33.57352	2.457001929	3.021413913	2.985309951
26.06.2021	32.7928	33.4065	33.46433	33.586605	1.871447391	2.047806226	2.420668561
27.06.2021	32.7928	33.43654	33.63373	33.58244	1.963037618	2.564367788	2.407967603
28.06.2021	32.7928	33.32197	33.46433	33.353058	1.613677393	2.047806226	1.70847869
29.06.2021	32.7928	33.36339	33.70849	33.24413	1.739979508	2.792335513	1.376308214
30.06.2021	32.7401	33.48026	33.78989	33.193607	2.260698654	3.206434922	1.385172923
01.07.2021	32.3018	32.34506	32.36103	32.301147	0.133930617	0.183355107	0.002021559
02.07.2021	32.3463	32.45402	32.39721	32.277885	0.333014904	0.15739049	0.211507962
03.07.2021	32.5227	32.51601	32.46116	32.263325	0.020582547	0.189212458	0.797519886
04.07.2021	32.5227	32.51601	32.38544	32.314205	0.020582547	0.422052905	0.64107531
05.07.2021	32.5227	32.41096	32.46355	32.227962	0.34357541	0.18186067	0.906253171
06.07.2021	32.4107	32.52934	32.3583	32.17493	0.366036525	0.161665746	0.727444949
07.07.2021	32.3732	32.58842	32.34732	32.256233	0.664809163	0.079942669	0.361308119
08.07.2021	32.2623	32.58842	32.43361	32.288822	1.010839277	0.530991281	0.082207406
09.07.2021	32.291	32.57613	32.43361	32.295483	0.883013843	0.441640085	0.013883125
10.07.2021	32.3191	32.64607	32.48981	32.262936	1.011677305	0.52820159	0.173779592
11.07.2021	32.3191	32.52088	32.43088	32.1838	0.624330504	0.345863591	0.418637895
12.07.2021	32.3191	32.51554	32.43088	32.223896	0.607813955	0.345863591	0.294575035
13.07.2021	32.4056	32.64392	32.43088	32.223896	0.735419187	0.078011208	0.560717901
14.07.2021	32.3459	32.70956	32.43088	32.455105	1.12427541	0.262722633	0.337616205
15.07.2021	32.372	32.68826	32.43088	32.455105	0.976964661	0.18188558	0.256718769
Середнє значення похибки					1.570260629	1.636917554	1.633171192

Рисунок 3.12 – Прогнозовані значення курсу євро регресійною моделлю Fast Tree

1	2	3	4	5	6	7	8
Дата	Фактичне значення	SSA	ARIMA	Exp. Smoothing	SSA відхилення, %	ARIMA відхилення, %	Exp. Smoothing відхилення, %
15.06.2021	32.7905	33.27528	33.27054	33.25329	1.478403806	1.46394535	1.411353898
16.06.2021	32.7053	33.28389	33.27888	33.25729	1.769113875	1.753783026	1.687769261
17.06.2021	32.6166	33.272	33.24378	33.260014	2.009406253	1.922892024	1.972658094
18.06.2021	32.7722	33.272	33.24011	33.260014	1.52507308	1.427771099	1.488499399
19.06.2021	32.4424	33.27499	33.30169	33.24706	2.566351441	2.648663477	2.48027273
20.06.2021	32.4424	33.27124	33.30552	33.22862	2.554804823	2.660469016	2.423433531
21.06.2021	32.4424	33.25399	33.26438	33.228863	2.501621335	2.533659655	2.424182551
22.06.2021	32.4424	33.25399	33.23899	33.2222	2.501621335	2.455397874	2.403644613
23.06.2021	32.2882	33.27124	33.27463	33.2222	3.044579754	3.055072751	2.892697642
24.06.2021	32.467	33.27985	33.32391	33.214672	2.50363138	2.639326085	2.302867527
25.06.2021	32.6003	33.27499	33.2709	33.20996	2.069569912	2.057036285	1.87010549
26.06.2021	32.7928	33.27499	33.31084	33.20996	1.470402039	1.579749213	1.272108512
27.06.2021	32.7928	33.27985	33.28902	33.20996	1.485246761	1.513198019	1.272108512
28.06.2021	32.7928	33.27124	33.31084	33.21916	1.4589788	1.579749213	1.300163451
29.06.2021	32.7928	33.27124	33.29536	33.21916	1.4589788	1.532522383	1.300163451
30.06.2021	32.7401	33.27124	33.28416	33.215538	1.622291929	1.661745077	1.452158057
01.07.2021	32.3018	32.66314	32.60423	32.57324	1.118624968	0.936248135	0.840324688
02.07.2021	32.3463	32.68603	32.58334	32.57324	1.050283958	0.732807153	0.701594927
03.07.2021	32.5227	32.67955	32.60077	32.57324	0.482278532	0.240056945	0.155399152
04.07.2021	32.5227	32.67303	32.60828	32.57324	0.462230996	0.263151583	0.155399152
05.07.2021	32.5227	32.67303	32.61045	32.57324	0.462230996	0.269811547	0.155399152
06.07.2021	32.4107	32.65675	32.60423	32.577263	0.759150527	0.597102192	0.513913615
07.07.2021	32.3732	32.64821	32.59941	32.577263	0.849505146	0.69874773	0.630345471
08.07.2021	32.2623	32.64821	32.57427	32.577263	1.196170143	0.966986235	0.976257117
09.07.2021	32.291	32.64821	32.57427	32.586166	1.106227741	0.87724753	0.914081323
10.07.2021	32.3191	32.66902	32.58775	32.586166	1.082697229	0.831251489	0.82634108
11.07.2021	32.3191	32.66254	32.58212	32.586166	1.062653354	0.813806696	0.82634108
12.07.2021	32.3191	32.63928	32.58212	32.586166	0.990689716	0.813806696	0.82634108
13.07.2021	32.4056	32.64576	32.58212	32.586166	0.741106475	0.544705236	0.557206162
14.07.2021	32.3459	32.623	32.58212	32.586166	0.85668078	0.730278026	0.742802024
15.07.2021	32.372	32.62511	32.58212	32.586166	0.781870135	0.649064006	0.661577907
Середнє значення похибки					1.452337526	1.369356508	1.272177763

Рисунок 3.13 – Прогнозовані значення курсу євро регресійною моделлю Fast Forest

1	2	3	4	5	6	7	8
Дата	Фактичне значення	SSA	ARIMA	Exp. Smoothing	SSA відхилення, %	ARIMA відхилення, %	Exp. Smoothing відхилення, %
15.06.2021	32.7905	33.7455	33.4756	33.447014	2.912489898	2.089355149	2.002146963
16.06.2021	32.7053	33.727	33.1353	33.363396	3.12397379	1.314887801	2.012199858
17.06.2021	32.6166	33.5973	33.4392	33.59773	3.006751164	2.522080781	3.008069511
18.06.2021	32.7722	33.5624	33.2896	33.623554	2.411321181	1.578673388	2.597793252
19.06.2021	32.4424	33.4213	33.3822	33.669064	3.017390822	2.89697433	3.781051957
20.06.2021	32.4424	33.6648	33.6314	33.554493	3.767834685	3.665064853	3.427899909
21.06.2021	32.4424	33.6385	33.5398	33.346268	3.68686657	3.382724459	2.786070081
22.06.2021	32.4424	33.467	33.6372	33.60484	3.158104826	3.682785491	3.583088797
23.06.2021	32.2882	33.5497	33.4808	33.512157	3.907052731	3.693693052	3.790725404
24.06.2021	32.467	33.5033	33.4199	33.41354	3.191726984	2.935094096	2.915391012
25.06.2021	32.6003	33.4723	33.5297	33.435677	2.674729987	2.850817324	2.562482554
26.06.2021	32.7928	33.4723	33.4062	33.44571	2.072009709	1.870639287	1.991016321
27.06.2021	32.7928	33.6258	33.586	33.363335	2.540112464	2.418732161	1.739817887
28.06.2021	32.7928	33.5127	33.4062	33.191673	2.195225781	1.870639287	1.216343222
29.06.2021	32.7928	33.6251	33.5926	33.100494	2.53791381	2.43880364	0.938297431
30.06.2021	32.7401	33.6685	33.6845	33.049355	2.835574723	2.884566632	0.944575612
01.07.2021	32.3018	32.7233	32.5235	32.54283	1.304837501	0.686193958	0.746181327
02.07.2021	32.3463	32.7105	32.6713	32.46315	1.125900026	1.004714604	0.361246881
03.07.2021	32.5227	32.8316	32.6806	32.44184	0.949890384	0.485507046	0.248626344
04.07.2021	32.5227	32.8394	32.527	32.543007	0.973667623	0.01328303	0.062439465
05.07.2021	32.5227	32.8045	32.5665	32.467648	0.866333361	0.13461367	0.169272539
06.07.2021	32.4107	32.844	32.5235	32.416443	1.336981306	0.347888197	0.017719457
07.07.2021	32.3732	32.8875	32.5235	32.4564	1.588579442	0.464127735	0.257002706
08.07.2021	32.2623	32.8875	32.7021	32.47922	1.937784969	1.363303298	0.672363719
09.07.2021	32.291	32.8871	32.7021	32.431023	1.846012821	1.27321235	0.433628565
10.07.2021	32.3191	32.9283	32.748	32.440876	1.884820431	1.327187329	0.376792671
11.07.2021	32.3191	32.8916	32.7035	32.28891	1.77146022	1.189504039	0.093412255
12.07.2021	32.3191	32.9018	32.7035	32.3118	1.802896739	1.189504039	0.022587263
13.07.2021	32.4056	32.944	32.7035	32.3118	1.661394944	0.919399733	0.289456143
14.07.2021	32.3459	33.0016	32.7035	32.513855	2.027227562	1.105664087	0.519246643
15.07.2021	32.372	33.0123	32.7035	32.513855	1.978045842	1.024147411	0.438202768
33							
34	Середнє значення похибки				2.261126203	1.762057492	1.41952092

Рисунок 3.14 – Прогнозовані значення курсу євро регресійною моделлю Fast Tree Tweedie

1	2	3	4	5	6	7	8
Дата	Фактичне значення	SSA	ARIMA	Exp. Smoothing	SSA відхилення, %	ARIMA відхилення, %	Exp. Smoothing відхилення, %
15.06.2021	32.7905	32.43345	33.16717	33.493984	1.088882451	1.148716854	2.145389671
16.06.2021	32.7053	32.25647	32.55288	33.02259	1.372346378	0.466052903	0.970148569
17.06.2021	32.6166	32.33661	32.7502	33.602886	0.858418719	0.409592048	3.023877412
18.06.2021	32.7722	32.1124	32.68262	33.470367	2.013279548	0.27334143	2.13036354
19.06.2021	32.4424	32.03854	32.88783	33.43623	1.244852415	1.37297179	3.063367692
20.06.2021	32.4424	32.22285	33.18741	33.042423	0.676737849	2.296414569	1.849502503
21.06.2021	32.4424	32.22461	32.91075	32.71428	0.67131285	1.443635489	0.838039109
22.06.2021	32.4424	32.04504	33.31765	33.292717	1.224829236	2.697846029	2.621005228
23.06.2021	32.2882	32.21489	33.01963	33.214565	0.227061279	2.265316741	2.869051232
24.06.2021	32.467	32.0748	32.82588	32.796265	1.208011211	1.105368528	1.014152832
25.06.2021	32.6003	32.33901	32.94521	32.796265	0.801495692	1.057996399	0.6011141
26.06.2021	32.7928	32.33901	32.94336	32.833115	1.383809861	0.459125174	0.122938572
27.06.2021	32.7928	32.45527	32.8541	32.79224	1.029280818	0.186931278	0.001707692
28.06.2021	32.7928	32.0308	32.94336	32.95856	2.323693006	0.459125174	0.505476812
29.06.2021	32.7928	32.25182	33.20416	32.59932	1.649691396	1.254406455	0.590007563
30.06.2021	32.7401	32.31367	33.17354	32.650036	1.302479223	1.323881112	0.275087736
01.07.2021	32.3018	30.57641	31.92071	32.571507	5.341473231	1.179770168	0.834959662
02.07.2021	32.3463	30.5345	32.09273	32.51178	5.601258877	0.783928919	0.511588652
03.07.2021	32.5227	31.04943	31.84901	32.48485	4.529974449	2.071460857	0.116380251
04.07.2021	32.5227	30.76562	31.8132	32.717598	5.402626473	2.181540893	0.599267588
05.07.2021	32.5227	30.48854	31.99969	32.717598	6.254576035	1.60814754	0.599267588
06.07.2021	32.4107	30.45298	31.92071	32.646046	6.040357043	1.511806286	0.726136739
07.07.2021	32.3732	30.58635	31.8339	32.676098	5.519547033	1.665893393	0.935644298
08.07.2021	32.2623	30.58635	32.06681	32.676098	5.194775326	0.605948739	1.282605394
09.07.2021	32.291	30.57086	32.06681	32.704716	5.327007525	0.69428943	1.281211483
10.07.2021	32.3191	30.52294	32.13567	32.749355	5.557580502	0.567571498	1.331271601
11.07.2021	32.3191	30.43465	32.07382	32.38418	5.830765708	0.758932025	0.201366994
12.07.2021	32.3191	30.2816	32.07382	32.675423	6.304312311	0.758932025	1.102515231
13.07.2021	32.4056	30.3699	32.07382	32.675423	6.281951268	1.023835386	0.832643123
14.07.2021	32.3459	30.25151	32.07382	32.86728	6.474981373	0.841157612	1.611888987
15.07.2021	32.372	30.42717	32.07382	32.86728	6.007765971	0.921104658	1.529964167
33							
34	Середнє значення похибки				3.378875324	1.141775529	1.165094904

Рисунок 3.15 – Прогнозовані значення курсу євро регресійною моделлю Gam

1	2	3	4	5	6	7	8
Дата	Фактичне значення	SSA	ARIMA	Exp. Smoothing	SSA відхилення, %	ARIMA відхилення, %	Exp. Smoothing відхилення, %
15.06.2021	7.3356	7.6199	7.64374	7.5785637	3.875674791	4.200561645	3.312117618
16.06.2021	7.2458	7.55773	7.63056	7.5630827	4.305038781	5.310102404	4.378849816
17.06.2021	7.2094	7.59906	7.69707	7.577383	5.40484645	6.76433129	5.104211169
18.06.2021	7.2526	7.59665	7.61885	7.594409	4.743824284	5.04987177	4.712916747
19.06.2021	7.1464	7.5502	7.60203	7.59651	5.650369417	6.375681462	6.298415986
20.06.2021	7.1464	7.59277	7.65282	7.5738325	6.246049759	7.086346972	5.98108838
21.06.2021	7.1464	7.5866	7.643	7.5522733	6.159674801	6.948935128	5.679409213
22.06.2021	7.1464	7.58291	7.67351	7.5911183	6.1080642	7.375839584	6.222969607
23.06.2021	7.0949	7.56428	7.69138	7.595569	6.615667592	8.407151616	7.056744986
24.06.2021	7.1655	7.57899	7.6094	7.589361	5.770519852	6.194952202	5.915302491
25.06.2021	7.2055	7.54552	7.6223	7.572531	4.718832836	5.78452571	5.09376171
26.06.2021	7.2474	7.55125	7.57848	7.5732527	4.192496619	4.568245164	4.496132406
27.06.2021	7.2474	7.59386	7.59891	7.569699	4.780500593	4.850190413	4.44709827
28.06.2021	7.2474	7.56314	7.59886	7.543266	4.356624445	4.849526727	4.082374369
29.06.2021	7.2474	7.57099	7.67103	7.5431113	4.464906035	5.845249331	4.08023981
30.06.2021	7.2573	7.58198	7.63215	7.51407	4.47390214	5.165075166	3.538092679
01.07.2021	7.1486	6.97215	7.08341	6.9557147	2.468350446	0.911870856	2.698224827
02.07.2021	7.157	6.99017	7.09538	6.982966	2.33098505	0.861045131	2.431661311
03.07.2021	7.2003	6.94143	7.11895	6.982966	3.595284919	1.129814036	3.018402011
04.07.2021	7.2003	6.93597	7.09282	6.9882607	3.671073427	1.492739191	2.944867575
05.07.2021	7.2003	6.98998	7.09502	6.9862475	2.921039401	1.4621238	2.972827521
06.07.2021	7.1589	6.98899	7.05221	6.9944897	2.37343726	1.490298789	2.296586068
07.07.2021	7.1834	6.97873	7.09464	6.9944897	2.849249659	1.235584821	2.629817357
08.07.2021	7.178	6.99156	7.10417	6.9944897	2.597428253	1.028517693	2.556565896
09.07.2021	7.1436	6.98886	7.10381	6.9944897	2.166078728	0.557024469	2.087327118
10.07.2021	7.1008	6.9897	7.10653	7.016271	1.564626521	0.080737382	1.190415164
11.07.2021	7.1008	6.99958	7.10381	7.04671	1.425473186	0.042367057	0.761745155
12.07.2021	7.1008	6.99958	7.11867	7.0498366	1.425473186	0.251681501	0.717713497
13.07.2021	7.1247	6.99465	7.11384	7.053239	1.825283872	0.152483613	1.003003635
14.07.2021	7.1011	6.99254	7.11384	7.0882506	1.528763149	0.179352495	0.18094943
15.07.2021	7.0855	6.98926	7.11384	7.0882807	1.358203373	0.39991532	0.039244937
33							
34	Середнє значення похибки				3.740894936	3.421036862	3.481583121

Рисунок 3.16 – Прогнозовані значення курсу золотого регресійною моделлю Fast Tree

1	2	3	4	5	6	7	8
Дата	Фактичне значення	SSA	ARIMA	Exp. Smoothing	SSA відхилення, %	ARIMA відхилення, %	Exp. Smoothing відхилення, %
15.06.2021	7.3356	7.43292	7.45886	7.446553	1.326612683	1.680317902	1.512527946
16.06.2021	7.2458	7.43899	7.45886	7.446553	2.666294957	2.940481382	2.770611941
17.06.2021	7.2094	7.43899	7.45974	7.446553	3.184653369	3.472438761	3.289497046
18.06.2021	7.2526	7.43899	7.46005	7.446553	2.570035573	2.860387999	2.67425475
19.06.2021	7.1464	7.44013	7.46215	7.4466577	4.110237322	4.418242752	4.201523844
20.06.2021	7.1464	7.43741	7.46263	7.4451756	4.072085246	4.425025188	4.180784731
21.06.2021	7.1464	7.43379	7.46175	7.437746	4.021501735	4.412744879	4.076821896
22.06.2021	7.1464	7.43379	7.45974	7.437746	4.021501735	4.384613232	4.076821896
23.06.2021	7.0949	7.43741	7.46292	7.437746	4.827516949	5.187063947	4.832287982
24.06.2021	7.1655	7.44016	7.4643	7.437746	3.833026307	4.169943479	3.799399902
25.06.2021	7.2055	7.44013	7.46198	7.4356422	3.25631809	3.559475401	3.193979599
26.06.2021	7.2474	7.44013	7.46011	7.4356422	2.659353699	2.935038773	2.597375611
27.06.2021	7.2474	7.43861	7.46198	7.4356422	2.638319949	2.960758341	2.597375611
28.06.2021	7.2474	7.43863	7.46215	7.4356422	2.638615228	2.963066755	2.597375611
29.06.2021	7.2474	7.43588	7.4643	7.4356422	2.60070508	2.992760162	2.597375611
30.06.2021	7.2573	7.43294	7.46243	7.4356422	2.420197594	2.826578755	2.457418048
01.07.2021	7.1486	7.19865	7.20905	7.1620264	0.70013709	0.845629914	0.187818594
02.07.2021	7.157	7.19895	7.20905	7.1620264	0.586103116	0.727269806	0.070230544
03.07.2021	7.2003	7.19823	7.20969	7.1620264	0.028734914	0.130397345	0.53155563
04.07.2021	7.2003	7.19823	7.21132	7.1620264	0.028734914	0.153081122	0.53155563
05.07.2021	7.2003	7.19825	7.21259	7.1620264	0.028429371	0.170701221	0.53155563
06.07.2021	7.1589	7.19671	7.21108	7.1620264	0.528188688	0.728910866	0.043671514
07.07.2021	7.1834	7.1958	7.21208	7.1620264	0.172624384	0.399295598	0.297541554
08.07.2021	7.178	7.1958	7.2095	7.1620264	0.247984118	0.438868766	0.222535525
09.07.2021	7.1436	7.1958	7.20868	7.1620264	0.730728204	0.911033653	0.257942774
10.07.2021	7.1008	7.19681	7.20919	7.1620264	1.352087089	1.5264266	0.862246507
11.07.2021	7.1008	7.19681	7.20868	7.1620264	1.352087089	1.519273885	0.862246507
12.07.2021	7.1008	7.19681	7.20868	7.1620264	1.352087089	1.519273885	0.862246507
13.07.2021	7.1247	7.19681	7.2095	7.1620264	1.012098755	1.190253625	0.523901357
14.07.2021	7.1011	7.19681	7.2095	7.1620264	1.34780527	1.526552224	0.857985383
15.07.2021	7.0855	7.19435	7.2095	7.1664467	1.536235975	1.750081152	1.142427493
33							
34	Середнє значення похибки				1.99519489	2.249225399	1.910996554

Рисунок 3.17 – Прогнозовані значення курсу золотого регресійною моделлю Fast Forest

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Дата	Фактичне значення	SSA	ARIMA	Exp. Smoothing	SSA відхилення, %	ARIMA відхилення, %	Exp. Smoothing відхилення, %
2	15.06.2021	7.3356	7.64081	7.66296	7.57691	4.160709417	4.462627461	3.289574132
3	16.06.2021	7.2458	7.60005	7.6587	7.5536046	4.889094372	5.698515002	4.248041624
4	17.06.2021	7.2094	7.59629	7.65843	7.5599446	5.366479873	6.22838239	4.862326962
5	18.06.2021	7.2526	7.58742	7.64071	7.581404	4.616532002	5.35138571	4.533601743
6	19.06.2021	7.1464	7.60157	7.61875	7.596264	6.369178887	6.609589444	6.294973693
7	20.06.2021	7.1464	7.63783	7.68608	7.578518	6.876623195	7.551840087	6.04665286
8	21.06.2021	7.1464	7.62866	7.68756	7.563222	6.748302642	7.572437871	5.832615023
9	22.06.2021	7.1464	7.60457	7.69347	7.6335096	6.411232229	7.655183029	6.816153588
10	23.06.2021	7.0949	7.62976	7.70732	7.617073	7.538626337	8.631810174	7.359835938
11	24.06.2021	7.1655	7.63835	7.62758	7.603764	6.599014723	6.448635824	6.116307306
12	25.06.2021	7.2055	7.59058	7.63768	7.597032	5.34424398	5.997898827	5.43379363
13	26.06.2021	7.2474	7.59058	7.63625	7.5808187	4.735208489	5.365313078	4.600528465
14	27.06.2021	7.2474	7.63679	7.60938	7.5738215	5.372846814	4.994577366	4.503980738
15	28.06.2021	7.2474	7.62683	7.66861	7.5398383	5.235363027	5.811849767	4.035078787
16	29.06.2021	7.2474	7.63372	7.65133	7.5510406	5.330495074	5.573413914	4.189648702
17	30.06.2021	7.2573	7.6335	7.66609	7.519825	5.183780469	5.632852438	3.617392143
18	01.07.2021	7.1486	7.03502	7.12111	6.978149	1.588786616	0.384610973	2.384369545
19	02.07.2021	7.157	7.0439	7.13622	7.021498	1.580215174	0.290317172	1.893279307
20	03.07.2021	7.2003	7.00611	7.12027	7.0146213	2.696948738	1.111543963	2.578763385
21	04.07.2021	7.2003	6.99375	7.1014	7.000867	2.86857492	1.373539991	2.76978737
22	05.07.2021	7.2003	7.04482	7.0906	6.9986196	2.159312806	1.523614294	2.80099958
23	06.07.2021	7.1589	7.05387	7.1065	7.0013933	1.467166743	0.731933677	2.200152258
24	07.07.2021	7.1834	7.04091	7.11453	7.0014544	1.983624746	0.958729849	2.532861876
25	08.07.2021	7.178	7.04664	7.11118	7.0014544	1.830083589	0.930913904	2.459537476
26	09.07.2021	7.1436	7.0362	7.10954	7.0014544	1.50346324	0.476797413	1.989831458
27	10.07.2021	7.1008	7.04395	7.10359	7.027836	0.800578808	0.039277265	1.027546192
28	11.07.2021	7.1008	7.04419	7.10954	7.056047	0.79726228	0.123077681	0.630252929
29	12.07.2021	7.1008	7.03631	7.12146	7.056047	0.908218792	0.290946091	0.630252929
30	13.07.2021	7.1247	7.02945	7.12146	7.056047	1.336968574	0.045482617	0.963591449
31	14.07.2021	7.1011	7.04733	7.12146	7.1050296	0.757188323	0.286709101	0.055337905
32	15.07.2021	7.0855	7.03571	7.12146	7.107796	0.702684355	0.507508292	0.314670807
33								
34		Середнє значення похибки				3.669639008	3.505203699	3.451992503

Рисунок 3.18 – Прогнозовані значення курсу золотого регресійною моделлю Fast Tree Tweedie

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Дата	Фактичне значення	SSA	ARIMA	Exp. Smoothing	SSA відхилення, %	ARIMA відхилення, %	Exp. Smoothing відхилення, %
2	15.06.2021	7.3356	7.351832	7.36797	7.376296	0.22127706	0.441272698	0.554773979
3	16.06.2021	7.2458	7.269657	7.260902	7.33706	0.329248668	0.208424191	1.259488255
4	17.06.2021	7.2094	7.324401	7.326228	7.386407	1.595159098	1.620495464	2.455225123
5	18.06.2021	7.2526	7.32317	7.380185	7.3694954	0.973026225	1.759158095	1.61177233
6	19.06.2021	7.1464	7.276383	7.349631	7.3745446	1.818865443	2.843823464	3.192440949
7	20.06.2021	7.1464	7.332109	7.330182	7.276598	2.598630079	2.571666853	1.821868353
8	21.06.2021	7.1464	7.339685	7.305069	7.1647654	2.704648494	2.220257752	0.256988134
9	22.06.2021	7.1464	7.299268	7.371938	7.3020735	2.139093809	3.155963842	2.178348539
10	23.06.2021	7.0949	7.317146	7.381882	7.291133	3.13247544	4.044905495	2.765831795
11	24.06.2021	7.1655	7.250321	7.27539	7.291133	1.183741539	1.533594306	1.753304026
12	25.06.2021	7.2055	7.253668	7.301673	7.225036	0.668493512	1.334716536	0.271126223
13	26.06.2021	7.2474	7.253668	7.440915	7.261311	0.086490328	2.670124458	0.191944697
14	27.06.2021	7.2474	7.344454	7.244682	7.2533517	1.339156111	0.037498965	0.082121864
15	28.06.2021	7.2474	7.331855	7.434945	7.2694755	1.165314458	2.58775009	0.304598891
16	29.06.2021	7.2474	7.349499	7.354772	7.2694755	1.408767282	1.481524409	0.304598891
17	30.06.2021	7.2573	7.329356	7.389906	7.205607	0.992872005	1.827208466	0.712289695
18	01.07.2021	7.1486	6.900163	7.128295	7.06429	3.47532384	0.284048625	1.179391769
19	02.07.2021	7.157	6.847782	7.179841	7.142698	4.320497415	0.31913651	0.199832332
20	03.07.2021	7.2003	6.814818	7.047203	7.133612	5.353693596	2.126264183	0.926183631
21	04.07.2021	7.2003	6.814818	7.069854	7.1337314	5.353693596	1.811670347	0.924525367
22	05.07.2021	7.2003	6.809251	7.139	7.1362524	5.431009819	0.851347861	0.889512937
23	06.07.2021	7.1589	6.850235	7.096736	7.0640116	4.311633072	0.868340108	1.325460615
24	07.07.2021	7.1834	6.881	7.13286	7.0640116	4.20970571	0.703566556	1.662004065
25	08.07.2021	7.178	6.881	7.123398	7.0640116	4.137642797	0.760681248	1.588024519
26	09.07.2021	7.1436	6.836462	7.077514	7.0640116	4.299484854	0.925107789	1.114121731
27	10.07.2021	7.1008	6.78208	7.076023	7.0806594	4.488508337	0.348932515	0.283638463
28	11.07.2021	7.1008	6.78208	7.076023	7.1153526	4.488508337	0.348932515	0.204943105
29	12.07.2021	7.1008	6.785307	7.149808	7.10612	4.443069795	0.690181388	0.074921136
30	13.07.2021	7.1247	6.787358	7.144886	7.1341863	4.734819712	0.283317192	0.133146659
31	14.07.2021	7.1011	6.766918	7.144886	7.120259	4.706059625	0.616601653	0.26980327
32	15.07.2021	7.0855	6.901557	7.144886	7.1074185	2.596055324	0.838127161	0.309343024
33								
34		Середнє значення похибки				2.861515012	1.358536798	0.993599173

Рисунок 3.19 – Прогнозовані значення курсу золотого регресійною моделлю Gam

Проаналізуємо, як змінюється значення середньої абсолютної похибки зі збільшенням прогнозованого періоду, середня абсолютна похибка розраховується за формулою:

$$\Delta_{\text{сер}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i, \quad (3.76)$$

де n – об'єм прогнозованого ряду, $i = \overline{1, n}$,

Δ_i – похибка i -го елементу прогнозованого ряду, обрахована за формулою (3.75).

З рисунків 3.20 – 3.28 бачимо, що для курсу долару США, євро та злота при збільшенні прогнозованого періоду до ста днів, значення похибки збільшується помірно та коливається у допустимих межах до 8%, але інколи можна спостерігати неадекватну поведінку моделі Gam, коли на вхід подаються прогнозовані значення макроекономічних показників спрогнозованих моделлю SSA (рис. 3.20, 3.23).

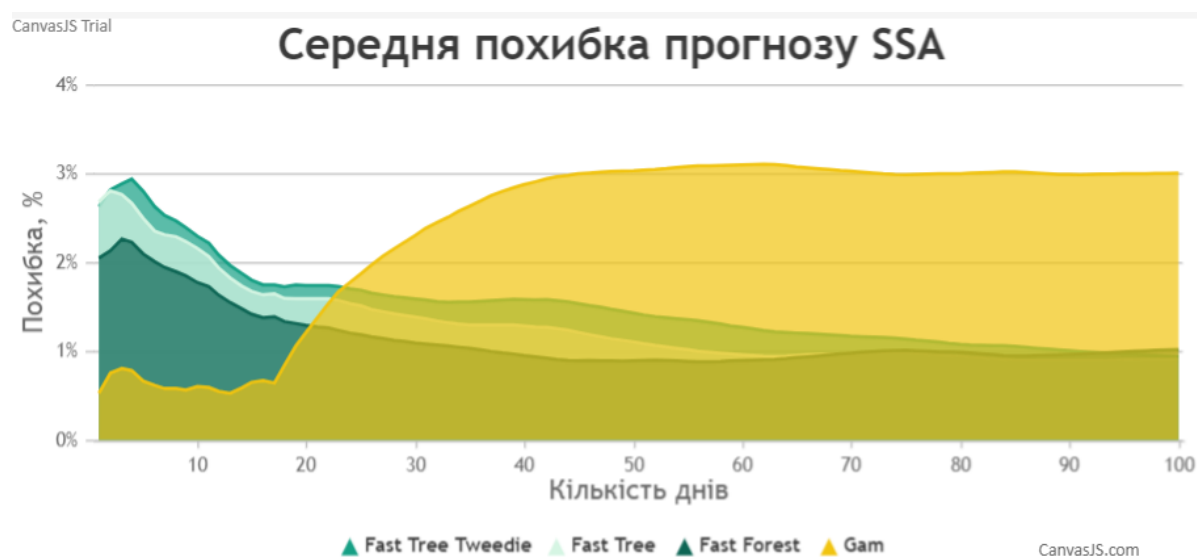


Рисунок 3.20 – Графік середнього значення похибки в залежності від розміру періоду для курсу долара прогнозованого на основі факторів отриманих моделлю SSA

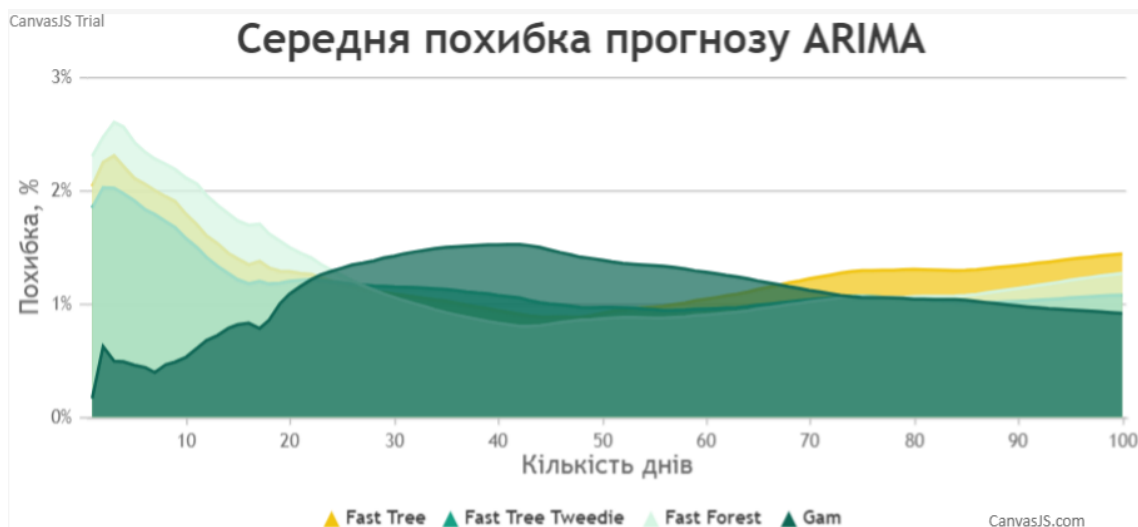


Рисунок 3.21 – Графік середнього значення похибки в залежності від розміру періоду для курсу долара прогнозованого на основі факторів отриманих моделлю ARIMA

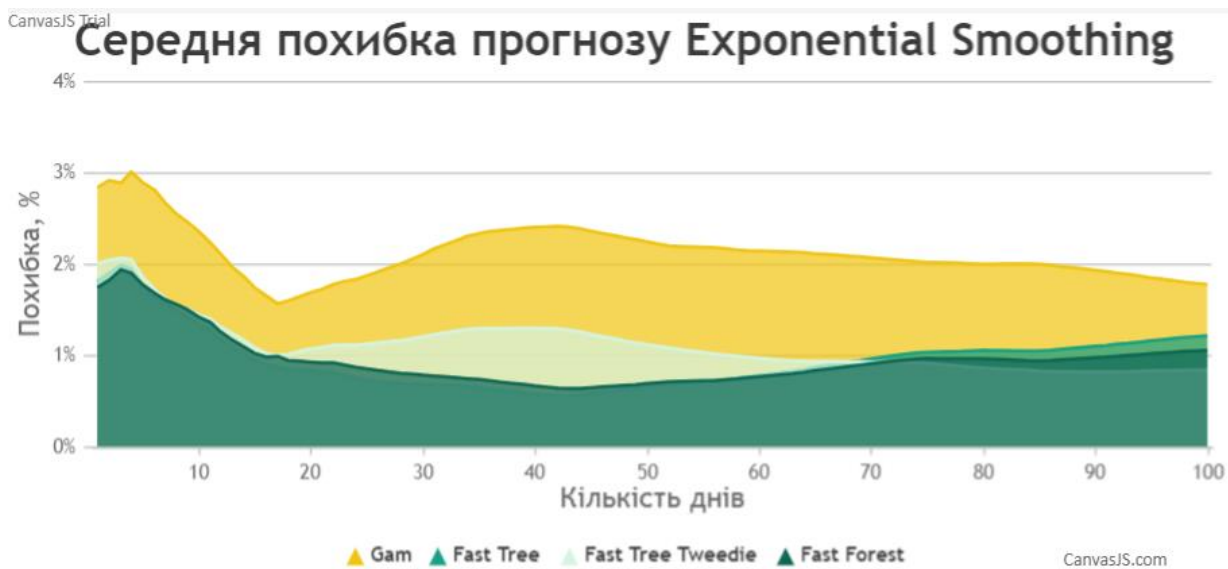


Рисунок 3.22 – Графік середнього значення похибки в залежності від розміру періоду для курсу долара прогнозованого на основі факторів отриманих моделлю Exponential Smoothing

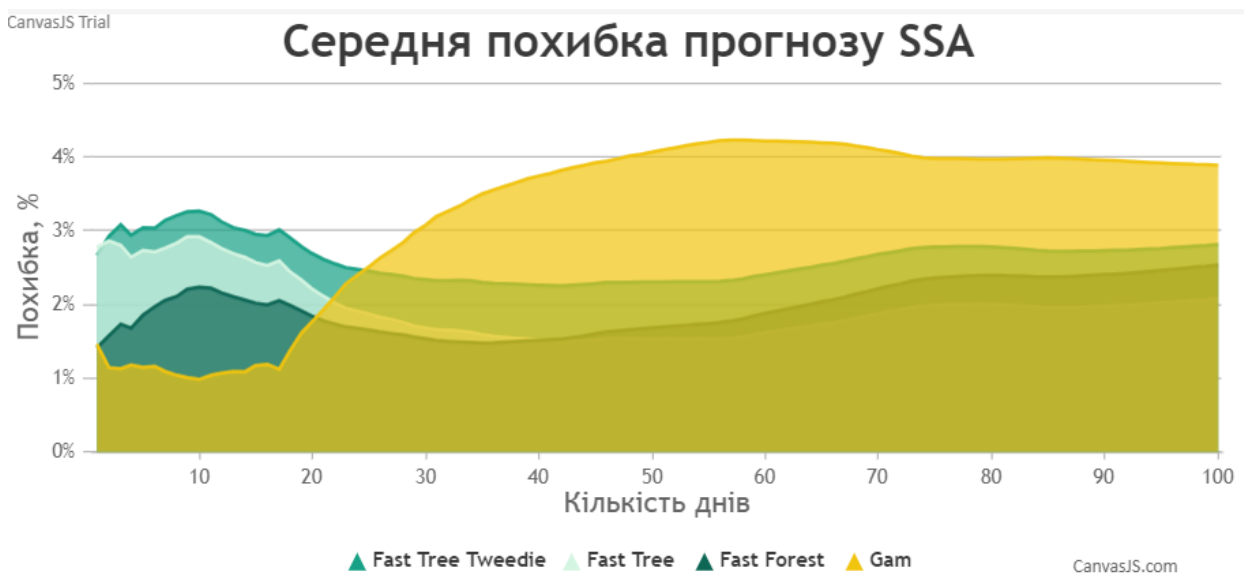


Рис. 3.23 – Графік середнього значення похибки в залежності від розміру періоду для курсу євро прогнозованого на основі факторів отриманих моделлю SSA

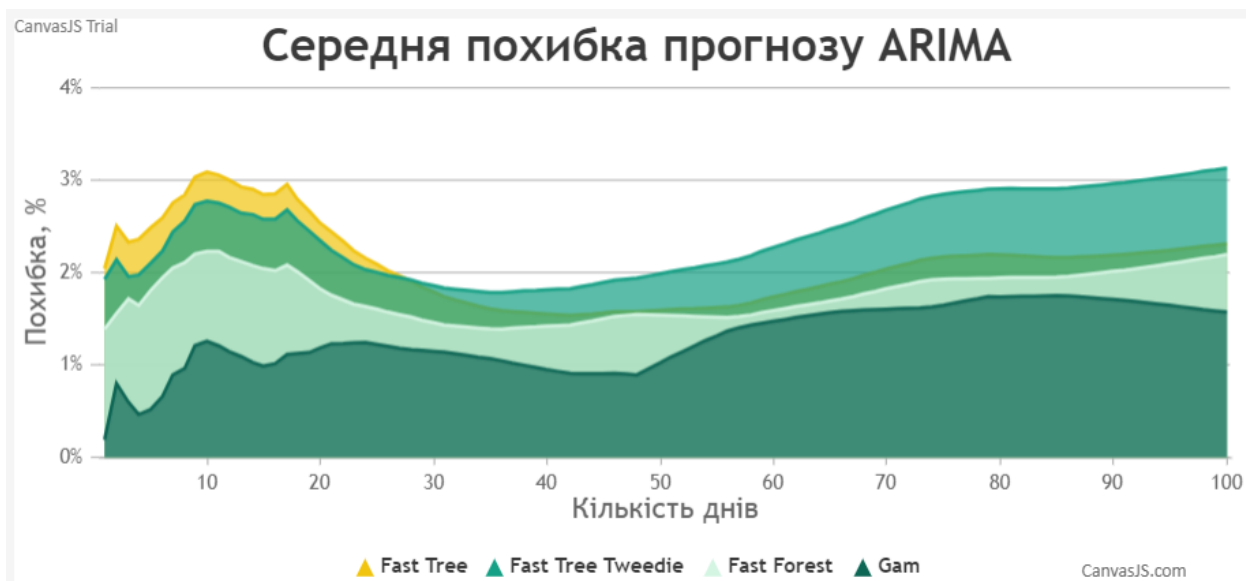


Рисунок 3.24 – Графік середнього значення похибки в залежності від розміру періоду для курсу євро прогнозованого на основі факторів отриманих моделлю ARIMA

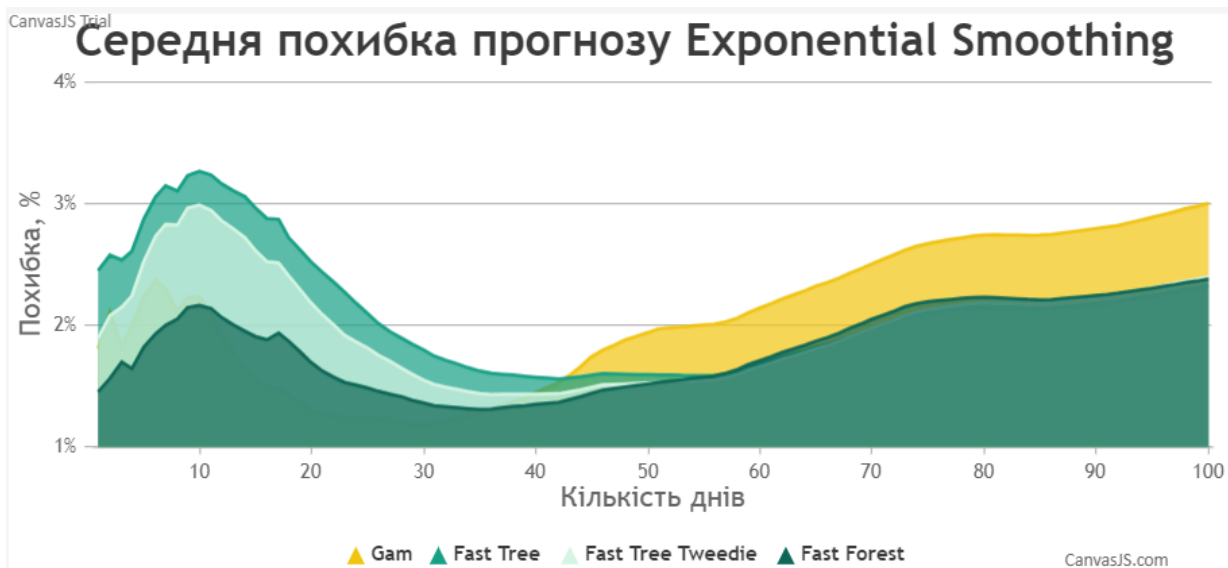


Рисунок 3.25 – Графік середнього значення похибки в залежності від розміру періоду для курсу євро прогнозованого на основі факторів отриманих моделлю Exponential Smoothing

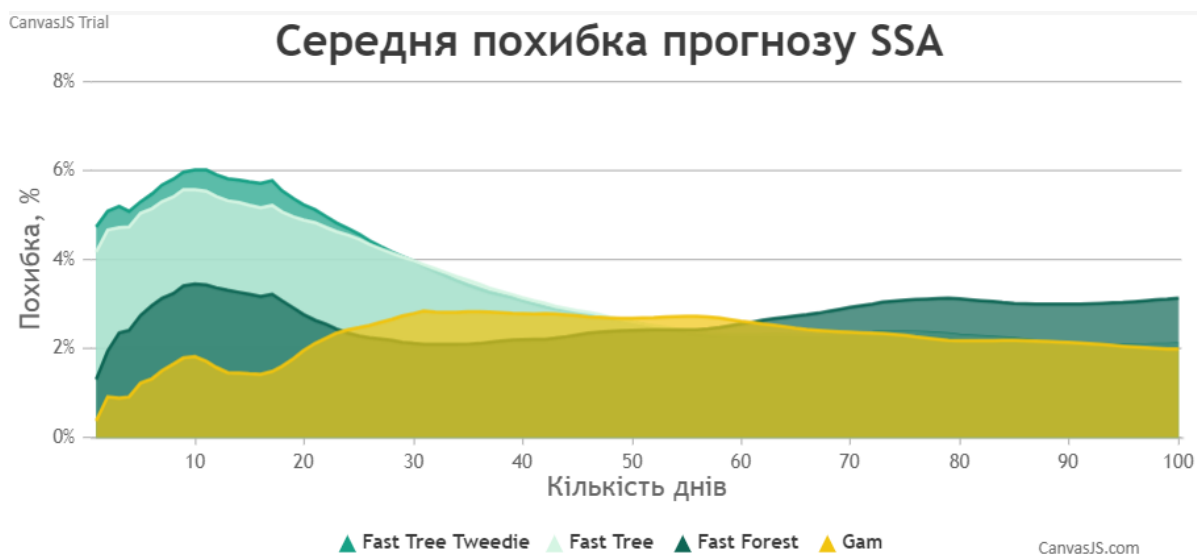


Рисунок 3.26 – Графік середнього значення похибки в залежності від розміру періоду для курсу злого прогнозованого на основі факторів отриманих моделлю SSA

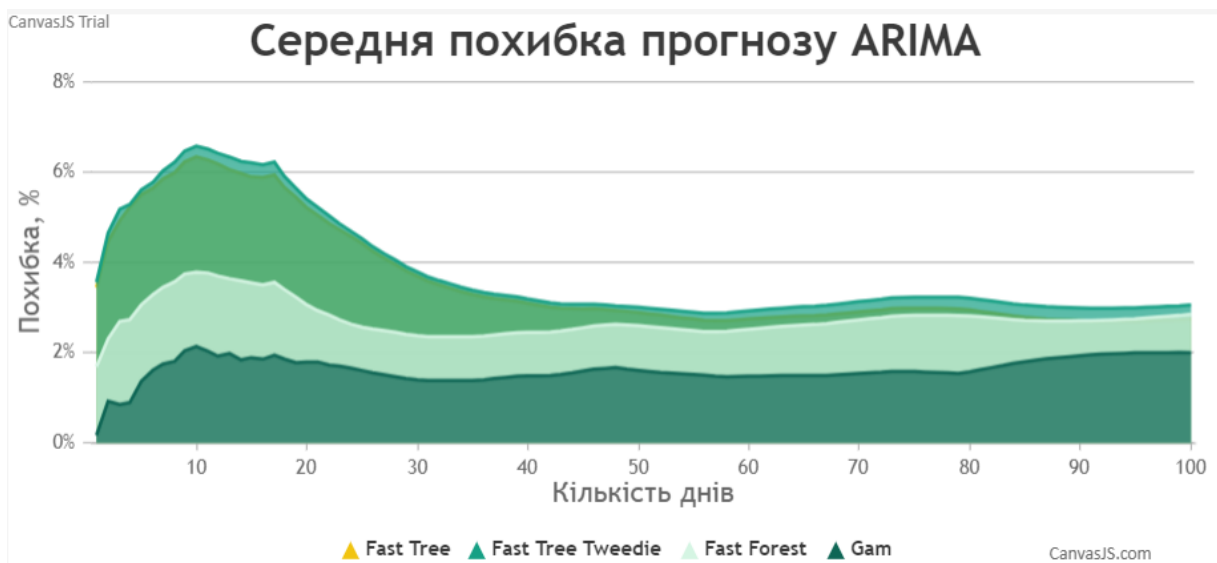


Рисунок 3.27 – Графік середнього значення похибки в залежності від розміру періоду для курсу золотого прогнозованого на основі факторів отриманих моделлю ARIMA

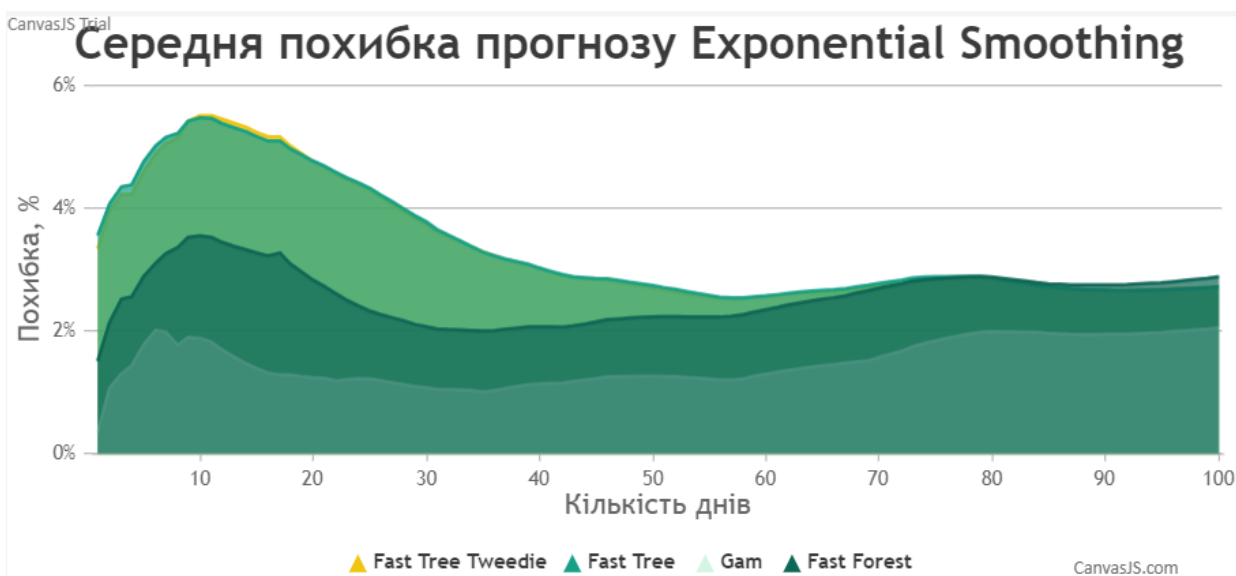


Рисунок 3.28 – Графік середнього значення похибки в залежності від розміру періоду для курсу золотого прогнозованого на основі факторів отриманих моделлю Exponential Smoothing

Обчислимо середньоквадратичні відхилення (RMSE) для того, щоб проаналізувати стандартні відхилення залишків. Для того, щоб порівняти відхилення для долару США, злого та євро, використаємо нормалізовану формулу:

$$RMSE = \frac{1}{X} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{i \text{ факт}} - x_{i \text{ прог}})^2}{n}} \cdot 100\%, \quad (3.77)$$

де n – об'єм прогнозованого ряду, $i = \overline{1, n}$,

Δ_i – похибка i -го елемента ,

$x_{i \text{ факт}}$ – фактичне значення курсу,

$x_{i \text{ прог}}$ – спрогнозоване значення курсу,

X – середнє фактичне значення.

За рисунками 3.29 – 3.31 бачимо, що нормалізована RMSE оцінка показала невеликі відхилення прогнозованих значень від фактичних в межах від 1% до 5%. Для оцінок похибок використовувалися дані за період 100 днів, які не знаходилися у навчальній вибірці моделей.

	Fast Tree, %	Fast Forest, %	Fast Tree Tweedie, %	Gam, %
SSA	1.864581	1.858749	1.954273	1.793004
ARIMA	2.792495	2.551777	1.391596	2.797974
Exp. Smoothing	1.880624	2.037283	1.194836	1.959873

	Перенавчена Fast Tree, %	Перенавчена Fast Forest, %	Перенавчена Fast Tree Tweedie, %	Перенавчена Gam, %
SSA	1.40688	1.789654	3.168858	1.282761
ARIMA	3.798029	3.264375	4.232327	4.057976
Exp. Smoothing	2.090591	2.436673	2.274197	1.952119

Рисунок 3.29 – Нормалізовані середньоквадратичні відхилення для курсу долара США

	Fast Tree, %	Fast Forest, %	Fast Tree Tweedie, %	Gam, %
SSA	4.866414	3.940641	3.99945	4.659207
ARIMA	5.322676	3.750183	2.229565	5.307705
Exp. Smoothing	5.042993	3.900167	3.600474	4.40003

	Перенавчена Fast Tree, %	Перенавчена Fast Forest, %	Перенавчена Fast Tree Tweedie, %	Перенавчена Gam, %
SSA	4.599078	1.641237	5.121792	4.526272
ARIMA	4.718026	3.93911	4.136188	4.745105
Exp. Smoothing	4.224382	4.385753	5.6691	3.795633

Рисунок 3.30 – Нормалізовані середньоквадратичні відхилення для курсу євро

	Fast Tree, %	Fast Forest, %	Fast Tree Tweedie, %	Gam, %
SSA	7.722473	5.686646	1.928905	8.12292
ARIMA	7.531524	5.221355	2.541422	7.929682
Exp. Smoothing	7.984518	5.602958	4.090118	7.992818

	Перенавчена Fast Tree, %	Перенавчена Fast Forest, %	Перенавчена Fast Tree Tweedie, %	Перенавчена Gam, %
SSA	8.196809	5.74591	5.178456	7.776553
ARIMA	7.908212	5.580312	7.267899	7.736477
Exp. Smoothing	7.295819	6.07723	6.711632	7.472074

Рисунок 3.31 – Нормалізовані середньоквадратичні відхилення для курсу злого

Побудуємо функцію щільності нормального розподілу, щоб спрогнозувати значення курсу євро по відношенню до австралійського долара (курсу стабільної валюти). Графік представлено на рисунку 3.32. Зазначеному графіку відповідає функція щільності:

$$f(x) = \frac{1}{0.1503 \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-1.5769)^2}{0.1503^2}} = \frac{1}{0.1503 \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-1.5769)^2}{0.0226}}, \quad (3.78)$$

Де $\sigma = 0.1503$,

$\sigma^2 = 0.0226$,

$\nu = 1.5769$.

За рисунком бачимо, що найбільша щільність ймовірності є для $x_i = 1.577$, тобто дане значення і буде прогнозом наступного значення. У досліджуваній вибірці наведено дані з 1999-го року по 14.11.2022. Перевіримо офіційне (фактичне) значення курсу на дату 15.11.2022 (рис. 3.33). Похибка склала $1.577 - 1.5299 = 0.0471$, тобто прогноз має достатню точність і даний метод можна застосовувати для прогнозування стабільних курсів валют.

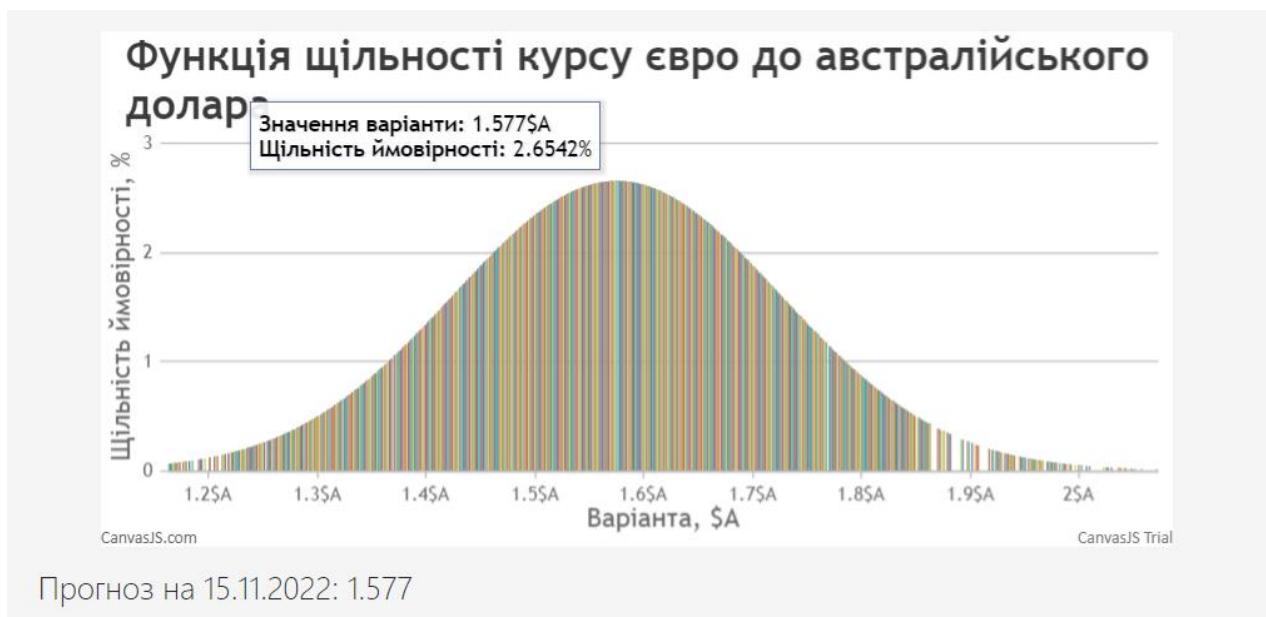


Рисунок 3.32 – Графік функції щільності розподілу значень курсу євро по відношенню до долара

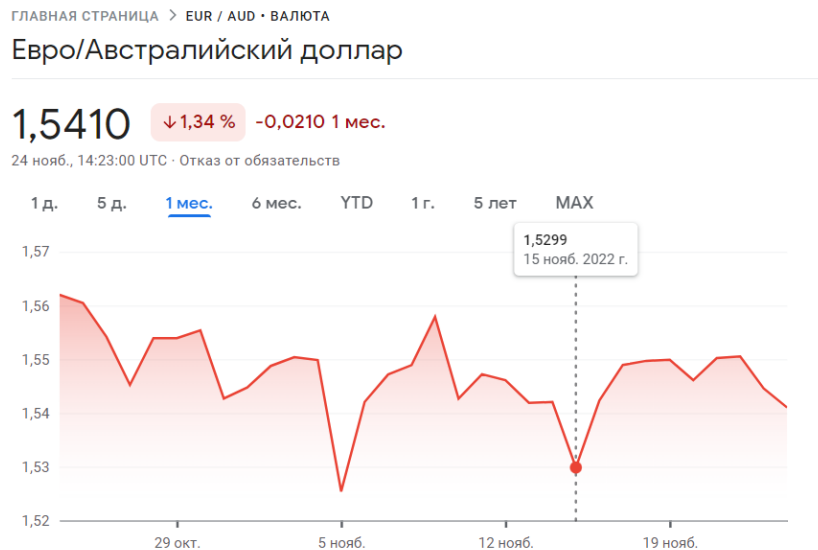


Рисунок 3.33 – Графік фактичних значень курсу євро по відношенню до долара

Висновок до розділу

У розділі математичного забезпечення наведено змістовну/математичну постановку задачі, обґрунтовано обрані методи для визначення важливих факторів, прогнозування значень факторів та прогнозування курсів валют за спрогнозованими факторами. Для пошуку рівней важливостей факторів впливу на курс валют обрано метод головних компонент, для прогнозування значень обраних факторів – моделі часових рядів SSA, ARIMA, Exponential Smoothing, для прогнозування курсів валют – регресійні моделі Fast Tree, Fast Forest, Fast Tree Tweedie та Gam. Також виявлено альтернативний метод пошуку прогнозу з використанням Центральної граничної теореми. Даний метод не є застосовним для української гривні, оскільки за розглянутий період часу вибірка має великий розмах і гіпотеза про нормальний розподіл є сумнівною.

Знайдено похибки MAE та RMSE для отриманих результатів прогнозів, похибки виявились невеликими, а отже обрані методи можна застосувати для прогнозування курсів валют.

4 ПРОГРАМНЕ ТА ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

4.1 Використані засоби розробки

Розробка програмного забезпечення проводилася на платформі .NET з використанням середовища розробки Visual Studio 2019. Платформа .NET підтримує декілька мов програмування, в даному проєкті використовувалася мова C#. Обрана мова є об'єктно-орієнтованою, що допомагає у реалізації програмного забезпечення за наявності знань про предметну область. В даному проєкті використовувалися імпортовані бібліотеки. Перелік бібліотек наведено у таблиці 4.1. Завантажити бібліотеки можна через менеджер управління пакетами проєкту – NuGet Manager.

Таблиця 4.1 – Фреймворки, що використовувалися при розробці веб-застосунку

Назва фреймворку	Опис
System.Collections.Generic	Бібліотека, що дозволяє використовувати загально типізовані колекції (наприклад список, черга, масив або словник), можливість виконання CRUD-операцій з елементами колекцій.
System.Linq	Пакет, що спрощує побудову Linq-запитів над об'єктами з колекції елементів
System.Threading.Tasks	Бібліотека, що дозволяє виносити трудомісткі задачі в окремі потоки для економії часу та ресурсу основного потоку
Microsoft.ML.Data	Бібліотека, що надає простір імен, що забезпечує завантаження та збереження даних, визначення схем даних і компоненти показників навчання моделі

Назва фреймворку	Опис
Extreme.Statistics.TimeSeriesAnalysis	Фреймворк із статистичними методами, що містять статистичні методи, методи лінійної алгебри, методи обчислення комплексних чисел, інтегрального та диференціального числення, оптимізації та регресії
System.IO	Фреймворк для роботи з файлами, допомагає проводити безпечні операції читання/запису даних файлу
Microsoft.ML.Trainers	Бібліотека, що надає простір імен, що містить тренери для навчання моделей, дозволяє налаштовувати параметри моделі та утиліти
Microsoft.ML.Data	Бібліотека, що надає простір імен, що містить функції для завантаження та збереження даних, визначення схем даних і компоненти необхідні для навчання моделі
Microsoft.ML.Transforms.TimeSeries	Бібліотека, що містить компоненти необхідні для навчання моделей прогнозування та аналізу часових рядів
Microsoft.AspNetCore.Mvc	Веб-фреймворк, який надає потужні інструменти для створення динамічних веб-сайтів і веб-API на основі патернів та дає повний контроль над розміткою
System.Globalization	Бібліотека, що містить класи, які описують інформацію, пов'язану з культурою, мовою, країною/регіоном, датами, часом, шаблонами форматування для дат, валют та чисел.
Newtonsoft.Json	Фреймворк, що допомагає серіалізувати та десеріалізувати об'єкти у формат JSON і з навпаки, а також дозволяє контролювати, як об'єкти трансформуються в JSON

Назва фреймворку	Опис
System.Reflection	Дана бібліотека містить типи, які збирають інформацію про збірки, модулі, та інші сутності в керованому кодї шляхом вивчення їх метаданих
System.ComponentModel.DataAnnotations	Фреймворк з класами атрибутів, які можна використовувати, щоб визначати зв'язки між класами, описувати правила відображення даних в інтерфейсі користувача, і визначати правила перевірки даних
CsvHelper.Configuration.Attributes	Фреймворк, що дозволяє конфігурувати об'єкти класів для запису/зчитування з csv-файлів

Для реалізації UI/UX частини було використано HTML (мова гіпертекстової розмітки), CSS (таблиця каскадних стилів), JavaScript та JQuery (набір функцій для взаємодії розмітки HTML з кодом JavaScript). За допомогою HTML у вигляді тегів створювалися усі UI-об'єкти. Для того, щоб елементи інтерфейсу мали більш сучасний та приємний вигляд використовувалася бібліотека CSS-класів Bootstrap. Зазначена бібліотека дозволяє надати гарний вигляд елементам від звичайного поля вводу даних до випадуючого об'єкту, а також дозволяє створювати об'єкти, що відсутні у колекції тегів. JavaScript та JQuery були використані для забезпечення динамічності інтерфейсу користувача: плавної зміни інтерфейсів, миттєвого оновлення представлень, побудови зручних графіків тощо. Для побудови графіків також використовувався фреймворк CanvasJS, що дозволяє побудувати будь-який графік або діаграму та надати йому бажаного стилю.

Для визначення впливових факторів впливу та прогнозування їх майбутніх значень в межах даного проєкту застосовано фреймворк Extreme, що містить класи з необхідними методами для пошуку рівня впливовості методом головних компонент. Також Extreme дозволяє побудувати стастичні моделі прогнозування часових рядів, таких як ARIMA та Exponential Smoothing, а також підібрати їм правильні параметри.

Для побудови моделей прогнозування також було використано фреймворк Microsoft.ML. За допомогою нього побудовано одну модель часових рядів для прогнозування макроекономічних показників – SSA, а також регресійні моделі для прогнозування курсів валют на основі значень факторів. В даному проєкті застосовано класи таких алгоритмів для тренування регресійних моделей, як: Fast Tree, Fast Forest, Fast Tree Tweedie та Gam. Однією з переваг Microsoft.ML є те, що він визначає допоміжні класи для спрощеної підготовки даних для навчання/тестування моделі.

4.2 Архітектура програмного забезпечення

Клієнтська частина застосунку відповідає за виконання таких завдань: аналіз даних для визначення факторів впливу на курс валют, прогнозування визначених факторів, прогнозування курсів за факторами та побудова звітів точності отриманих передбачень. Зазначені завдання є досить складними з точки зору виконання та витрат часу. Тому щоб зменшити завантаженість частини, що займається обчисленнями і прискорити виконання обчислень, можна делегувати частину менш складних задач таких, як оновлення сторінок в залежності від дій користувача (правила описані у js-файлах) та застосування стилів каскадних таблиць на сервер.

В якості патерну проєктування використовувався шаблон Model-View-Controller (далі MVC). Даний стиль проєктування дозволяє значно покращити взаємодію між клієнтською та серверною частинами. Принцип роботи шаблону MVC можна описати так: взаємодією клієнта з представленнями (Views) генерується HTTP-запит, який надсилається серверу, потім сервер обробляє цей запит і створює виклик методу контролера (Controller) зазначеного у запиті, а контролер у свою чергу генерує об'єкт моделі для відображення на представленні в якості відповіді на запит. Описана структура проєкту проілюстрована на рисунку 4.1.

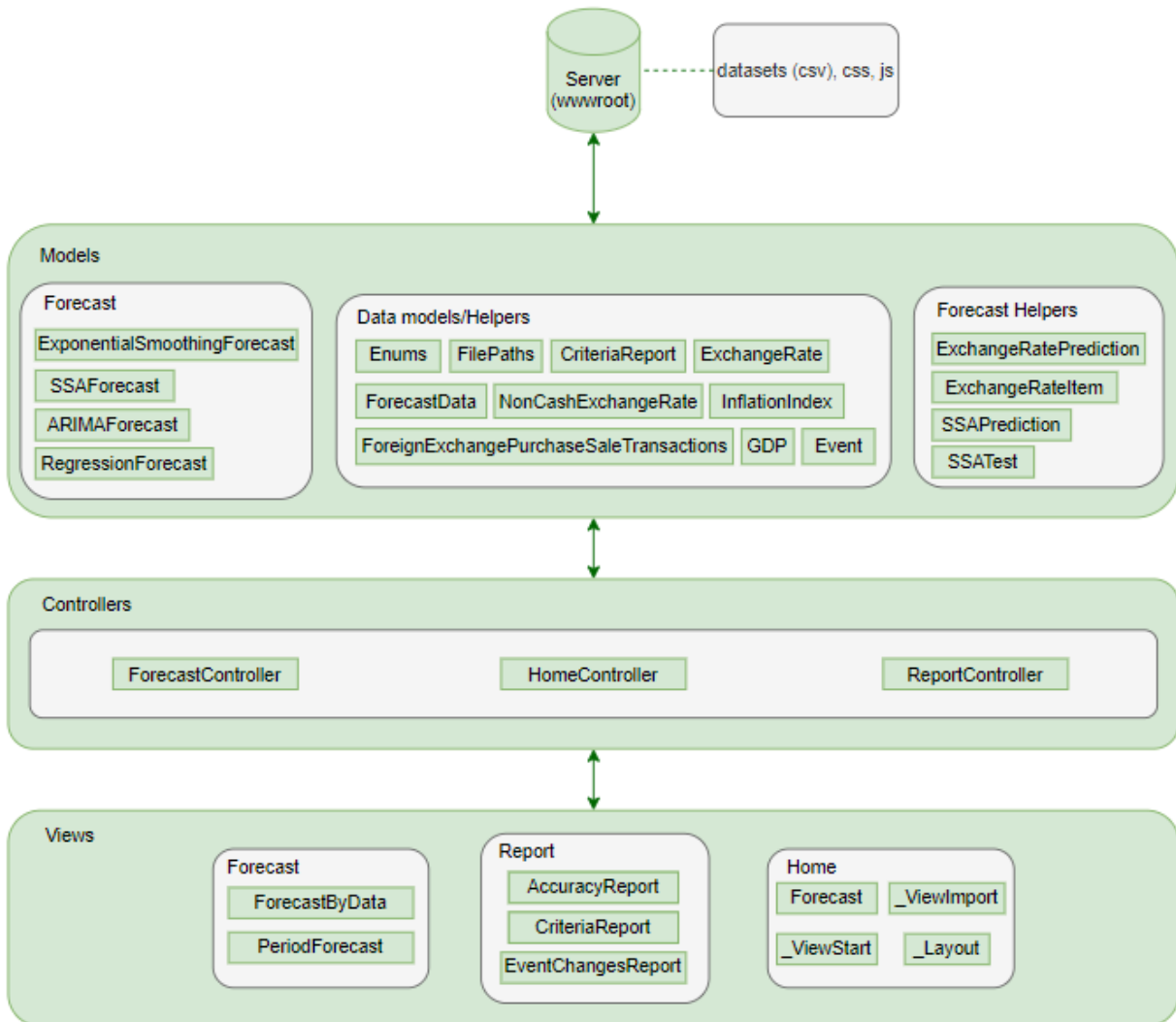


Рисунок 4.1 – Структурна схема проекту для прогнозування курсу валют

4.3 Діаграма класів застосунку

Схематичне зображення класів проекту для прогнозування курсів валют наведено на рисунку 4.2.

Короткий опис наявних класів на діаграмі:

- ExponentialSmoothingForecast – клас статистичної моделі Exponential Smoothing для прогнозування значень факторів, містить метод ініціалізації моделі та метод для прогнозування;

- `ARIMAForecast` – клас статистичної моделі `ARIMA` для прогнозування значень факторів, містить метод ініціалізації моделі, метод для ініціалізації параметрів моделі та метод для прогнозування;
- `SSAForecast` – клас статистичної моделі `ARIMA` для прогнозування значень факторів, містить метод ініціалізації моделі, метод тренування моделі та метод для прогнозування;
- `RegressionForecast` – клас регресійної моделі для побудови прогнозованого ряду курсів валют на основі спрогнозованих значень факторів, містить метод для ініціалізації моделі, тренування, побудови моделі, побудови одноразового прогнозу за введеними значеннями факторів та побудови прогнозу послідовності значень та методи розрахунку середньої абсолютної похибки і `RMSE`;
- `ForecastData` – модель даних введених користувачем, містить поля, як для одноразового прогнозу за введеними значеннями факторів, так і поля, які вказують на період прогнозу, індикатори обраних важливих факторів для періодичного прогнозу;
- `ExchangeRateItem` – клас одного запису з даними про курс, датою відповідною даному курсу та відповідними значеннями факторів, що досліджуються, даний клас містить методи дефолтної ініціалізації та ініціалізації при зчитуванні з файлу;
- `ValueForForecast` – допоміжний переліковач для побудови моделей прогнозування значень важливих факторів;
- `CriteriaReport` – модель для відображення на представленні множини досліджуваних факторів та значень їх рівня впливовості для кожного курсу валют, містить методи ініціалізації та побудови звіту для певної валюти;

- ReportController – клас-контролер, що відповідає за побудову звітів про точність, важливість факторів та вплив подій на курс, а також даний контролер містить методи для побудови моделей цих звітів для представлення;
- ForecastController – клас-контролер, що відповідає за побудову прогнозів на основі введених даних або на період і відображення отриманих прогнозів на відповідних представленнях.

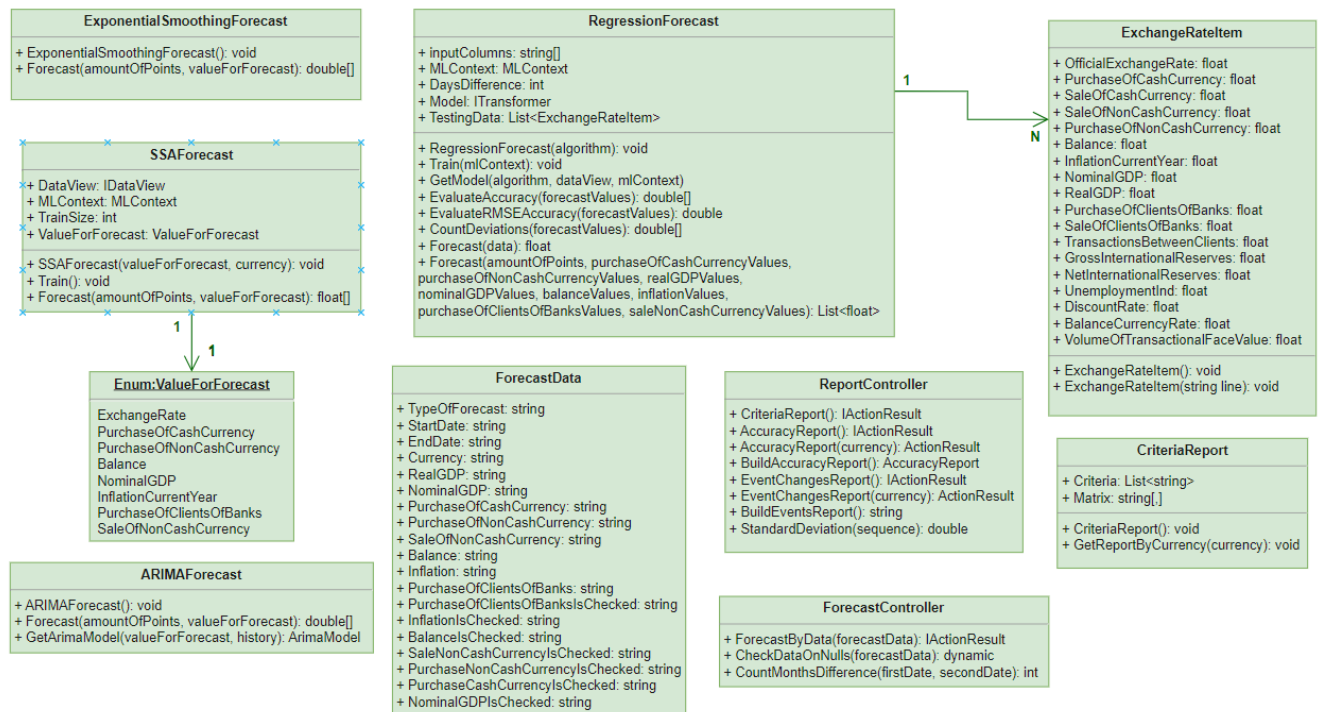


Рисунок 4.2 – Структурна схема класів проєкту для прогнозування курсу валют

4.4 Специфікація функцій

В таблиці 4.2 міститься опис функцій, що були розроблені в межах даного проєкту.

Таблиця 4.2 – Опис функцій класів

Клас	Функція	Опис
ARIMAForecast	Forecast(ValueForForecast valueForForecast, int amountOfPoints)	Функція для побудови моделлю ARIMA прогнозованого ряду довжини amountOfPoints для фактору valueForForecast
	GetArimaModel (ValueForForecast valueForForecast, double[] history)	Функція, що повертає модель ARIMA натреновану на даних history фактору valueForForecast
ExponentialSmoothing Forecast	Forecast(ValueForForecast valueForForecast, int amountOfPoints)	Функція для побудови моделлю Exp. Smoothing прогнозованого ряду довжини amountOfPoints для фактору valueForForecast
RegressionForecast	RegressionForecast (TrainAlgorithm algorithm)	Конструктор ініціалізації регресійної моделі з алгоритмом навчання algorithm
	Train(MLContext mlContext, TrainAlgorithm algorithm)	Метод, що тренує регресійну модель на контексті даних mlContext алгоритмом algorithm
	GetModel(TrainAlgorithm algorithm, IDataView dataView, MLContext mlContext)	Метод для побудови моделі перед навчанням: ініціалізація параметрів, навчальної вибірки
	EvaluateAccuracy(List<float> forecastValues)	Метод пошуку середньої абсолютної точності для спрогнозованих значень forecastValues

Клас	Функція	Опис
RegressionForecast	CountDeviations(List<float> forecastValues)	Розрахунок відхилень спрогнозованих значень forecastValues від фактичних
	Forecast(ExchangeRateItem data)	Прогнозування значень курсу валют на основі спрогнозованих значень факторів data
SSAForecast	SSAForecast(ValueForForecast valueForForecast, Currency currency)	Конструктор ініціалізації моделі SSA для прогнозування значень фактору valueForForecast
	Train()	Тренування моделі SSA з виставленням необхідних параметрів та визначення навчальної вибірки моделі
	Forecast(int amountOfPoints, ValueForForecast valueForForecast)	Функція для побудови моделлю SSA прогнозованого ряду довжини amountOfPoints для фактору valueForForecast
ForecastController	ForecastByData(ForecastData forecastData)	Метод, що прогнозує одне значення курсу за відомими значеннями факторів forecastData або на період за обраними факторами
	CheckDataOnNulls (ForecastData forecastData)	Перевірка введених користувачем значень факторів для одинарного прогнозу на наявність

Клас	Функція	Опис
HomeController	Forecast()	Метод, що повертає представлення початкової сторінки для вибору користувачем методу прогнозу та заповнення необхідних даних
ReportController	CriteriaReport()	Метод, що повертає представлення зі звітом про рівень впливовості факторів на курси валют
	AccuracyReport()	Метод, що повертає представлення зі звітом про точність прогнозів використовуваними моделями
	AccuracyReport (string currency)	Метод, що повертає представлення із оновленим звітом про точність прогнозів використовуваними моделями для валюти currency
	BuildAccuracyReport()	Метод, що генерує звіти точності
	EventChangesReport()	Метод, що повертає представлення зі звітом про вплив деяких подій на курс валют
	EventChangesReport(string currency)	Метод, що повертає представлення зі оновленим звітом про вплив деяких подій на курс валют currency

Клас	Функція	Опис
ReportController	BuildEventsReport()	Генерація звіту про вплив деяких подій на курс валют
	StandardDeviation (IEnumerable<float> sequence)	Метод обрахунку стандартних відхилень

4.5 Керівництво користувача

Локально застосунок запускається в будь-якому браузері за адресою <https://localhost:44332/>. Початкова сторінка відкривається одразу на сторінці для прогнозування курсу валют. Користувач має можливість спрогнозувати одне значення за введеними даними факторів або спрогнозувати значення на період для долару США, золотого, євро та чеської крони (рис. 4.3). На початковій сторінці наявний дропдаун для вибору курсу (рис. 4.4). У формі для прогнозування наявні лише фактори, що виявлені впливовими для заданої валюти. На формі прогнозу за введеними даними є підказка для користувача про можливі значення кожного фактору. Користувач не може ввести неправильні дані, валідація форми автоматично опрацьовує символи, які користувач намагається ввести. У зазначену форму можна вводити не всі дані про фактори, тоді при прогнозі будуть враховуватися лише введені дані (приклад рис. 4.5). Для отримання прогнозу необхідно натиснути на кнопку «Спрогнозувати».

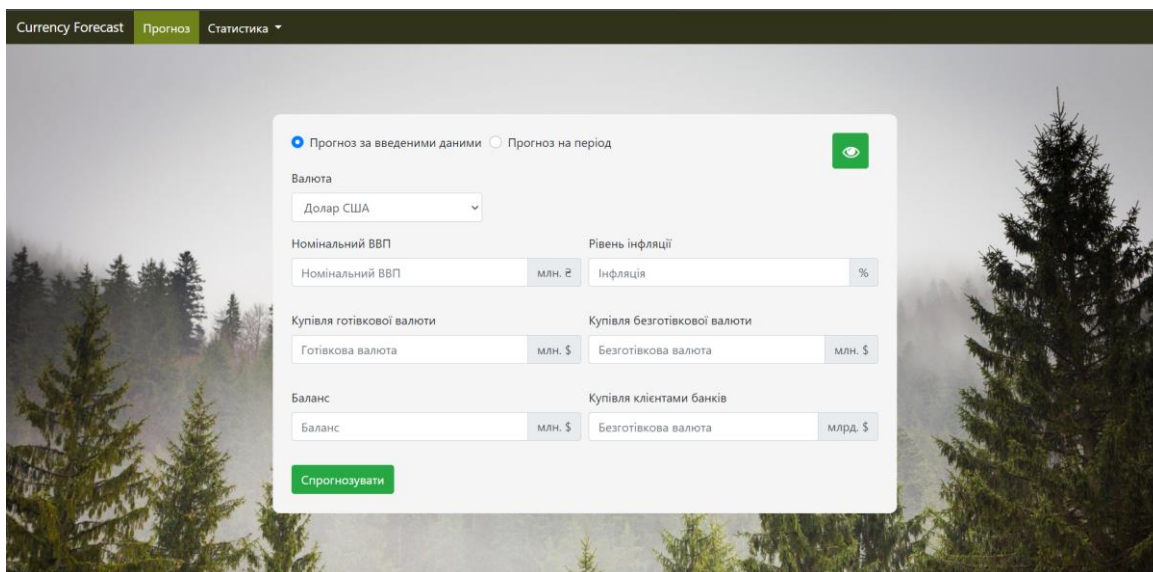


Рисунок 4.3 – Початкова сторінка

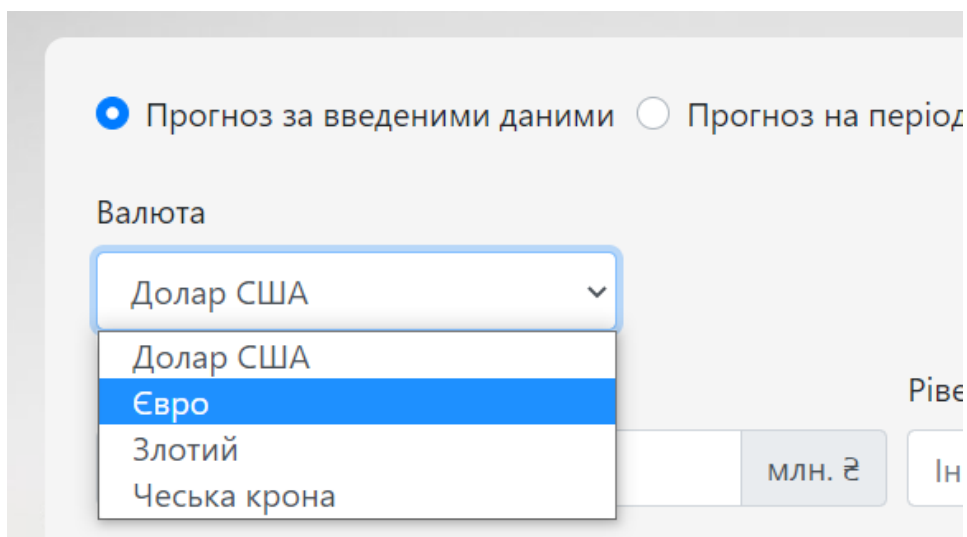


Рисунок 4.4 – Дропдаун для вибору валюти

Currency Forecast Прогноз Статистика

Прогноз за введеними даними
 Прогноз на період

Валюта: Долар США

Номінальний ВВП: 1,169,438.00 млн. €
 Рівень інфляції: 101.30 %

Купівля готівкової валюти: Готівкова валюта млн. \$
 Купівля безготівкової валюти: -27.05460 млн. \$

Баланс: 42.72385 млн. \$
 Купівля клієнтами банків: -6.03540 млрд. \$

Спрогнозувати

Рисунок 4.5 – Приклад даних у формі для прогнозу за введеними значеннями

В результаті прогнозу за введеними даними отримаємо форму, що містить вхідні дані з примітками про дані, які не були введені (рис. 4.6) та результати прогнозу отримані різними регресійними моделями (рис. 4.7).

Currency Forecast Прогноз Статистика

Вхідні дані

Якщо дані показників не введені, то вони не враховуються у прогнозі

Валюта: Долар США
Номінальний ВВП: 1,169,438.00
Купівля готівкової валюти: Дані не були введені
Купівля безготівкової валюти: -27.05460
Баланс: 42.72385
Рівень інфляції: 101.30
Купівля клієнтами банків: -6.03540

Рисунок 4.6 – Вхідні дані для прогнозу за введеними значеннями факторів

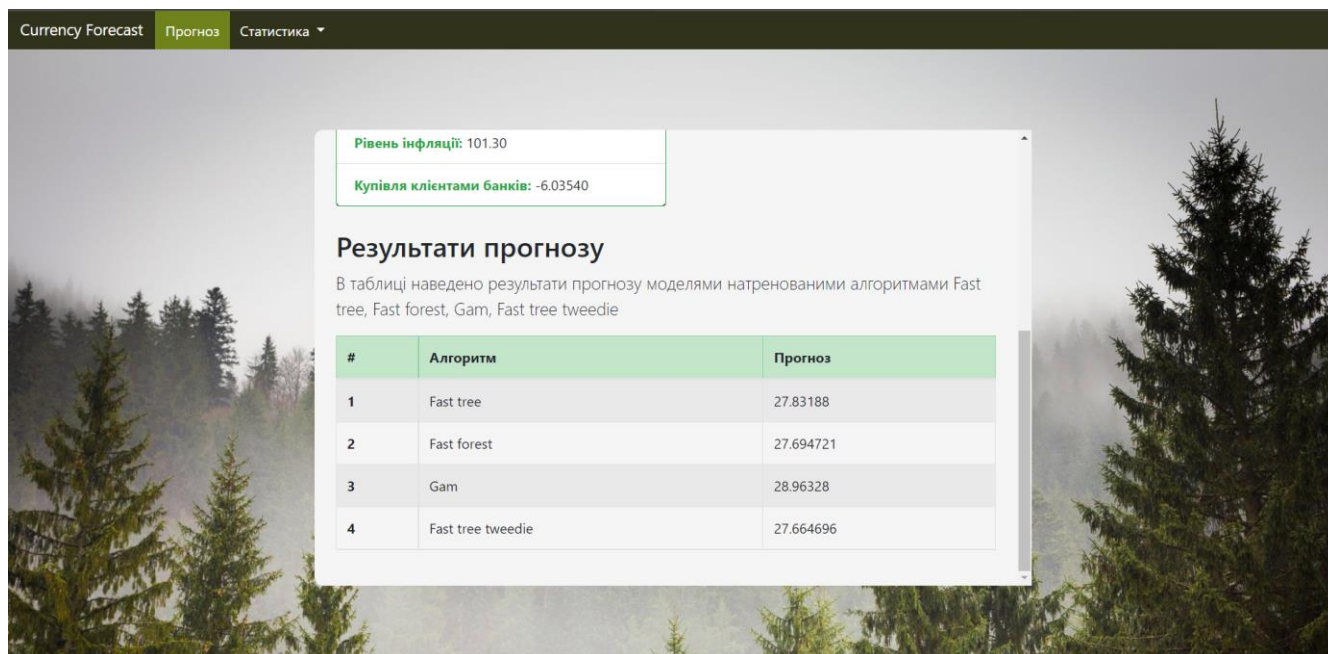
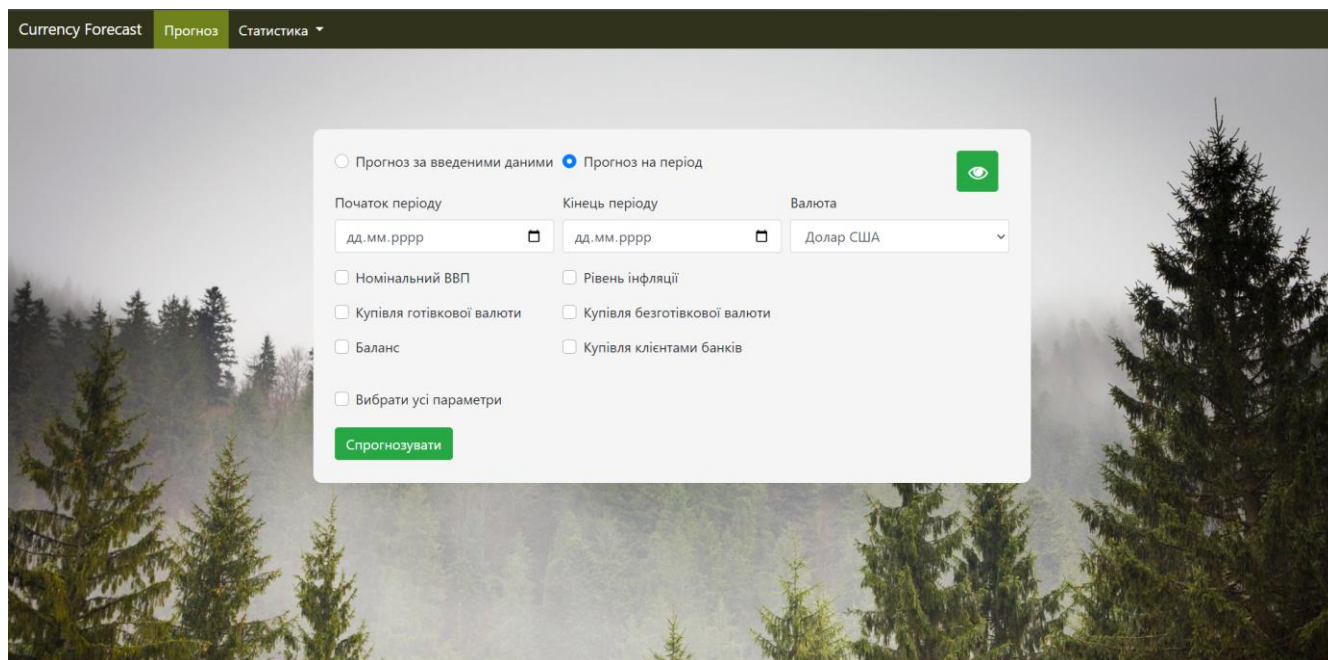


Рисунок 4.7 – Результати прогнозу за введеними даними

Також можливий варіант прогнозування на період. Для цього форма має інший вигляд (рис. 4.8). Користувачу необхідно ввести початок та кінець бажаного періоду для прогнозування, а також обрати валюту. Нижче зазначені фактори, що впливають на обраний курс. З них можна також обрати бажані фактори. Приклад введених даних показано на рисунку 4.9. Обрати всі параметри можна за допомогою чекбоксу «Вибрати усі параметри», а прибрати за допомогою чекбоксу «Прибрати всі параметри». В початок та кінець періоду можна ввести лише дату починаючи з завтрашнього дня, в даному випадку для тестування на практиці було обрано дату 15/06/2021 (рис. 4.10) до дати через рік від початкової (рис. 4.11). При неправильному введенні користувачем дати вручну та спробі натиснути на кнопку «Спрогнозувати» з'явиться повідомлення про помилку рисунок 4.12. При виконанні запиту прогнозування на період з'явиться вікно завантаження результатів, яке зникає при завершенні обчислень (рис. 4.13).



Currency Forecast Прогноз Статистика

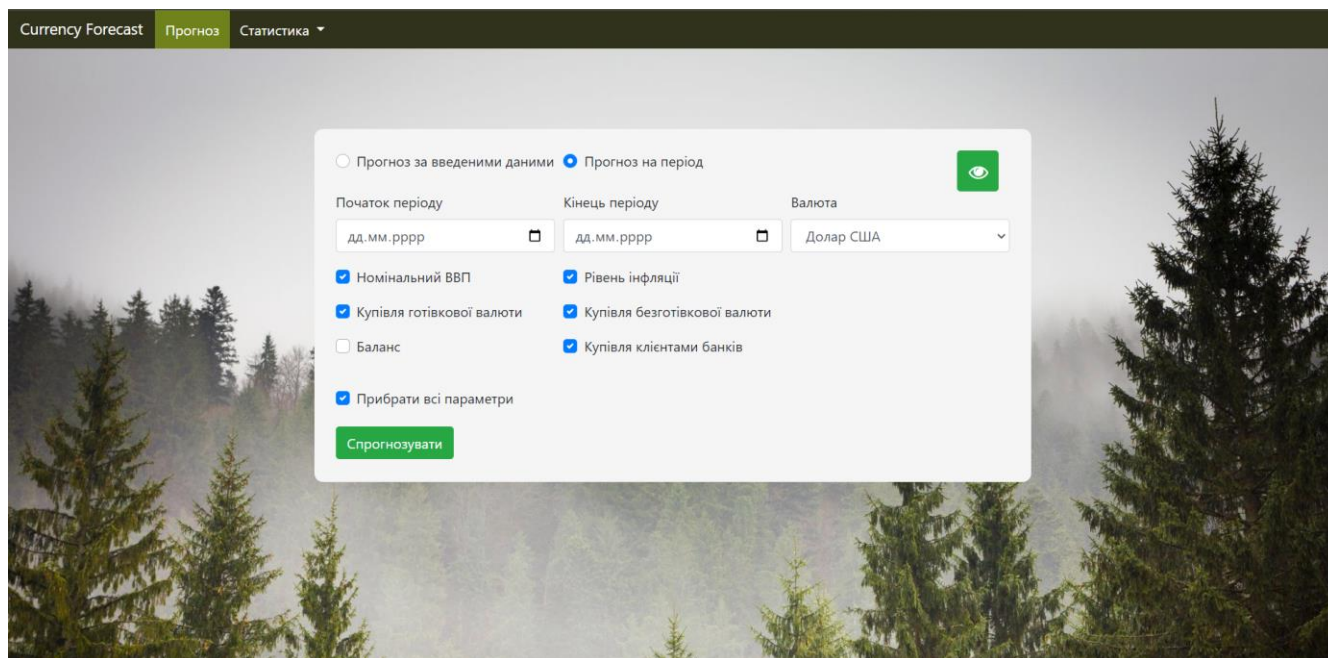
Прогноз за введеними даними Прогноз на період

Початок періоду: Кінець періоду: Валюта:

Номінальний ВВП Рівень інфляції
 Купівля готівкової валюти Купівля безготівкової валюти
 Баланс Купівля клієнтами банків

Вибрати усі параметри

Рисунок 4.8 – Сторінка заповнення даних для прогнозу на період



Currency Forecast Прогноз Статистика

Прогноз за введеними даними Прогноз на період

Початок періоду: Кінець періоду: Валюта:

Номінальний ВВП Рівень інфляції
 Купівля готівкової валюти Купівля безготівкової валюти
 Баланс Купівля клієнтами банків

Прибрати всі параметри

Рис4.9 – Приклад заповнення даних для прогнозу на період

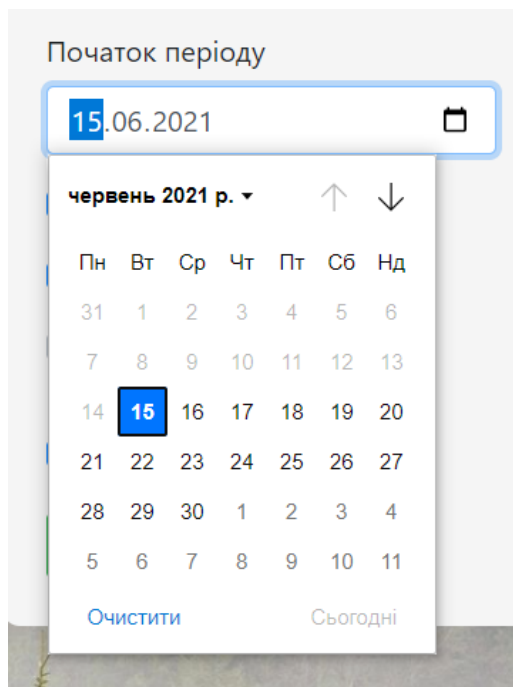


Рисунок 4.10 – Найменша можлива дата для прогнозу на період

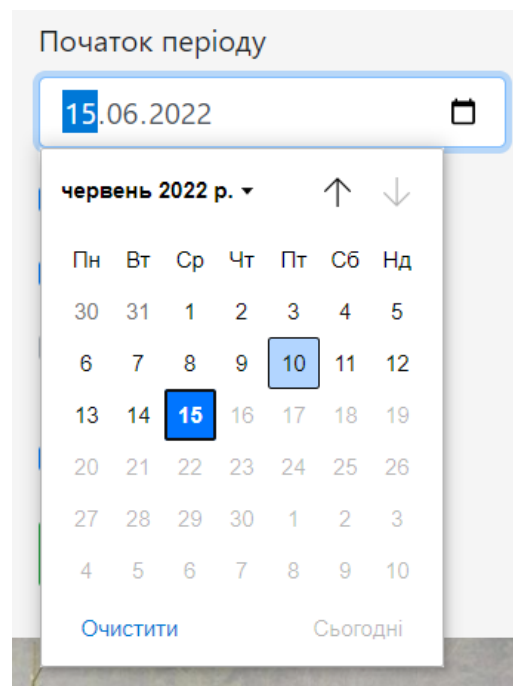


Рисунок 4.11 – Найбільша можлива дата для прогнозу на період

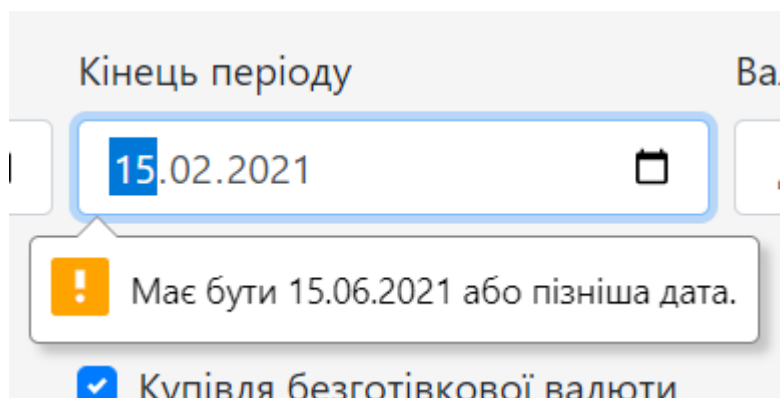


Рисунок 4.12 – Валідація дати початку/кінця періоду прогнозу

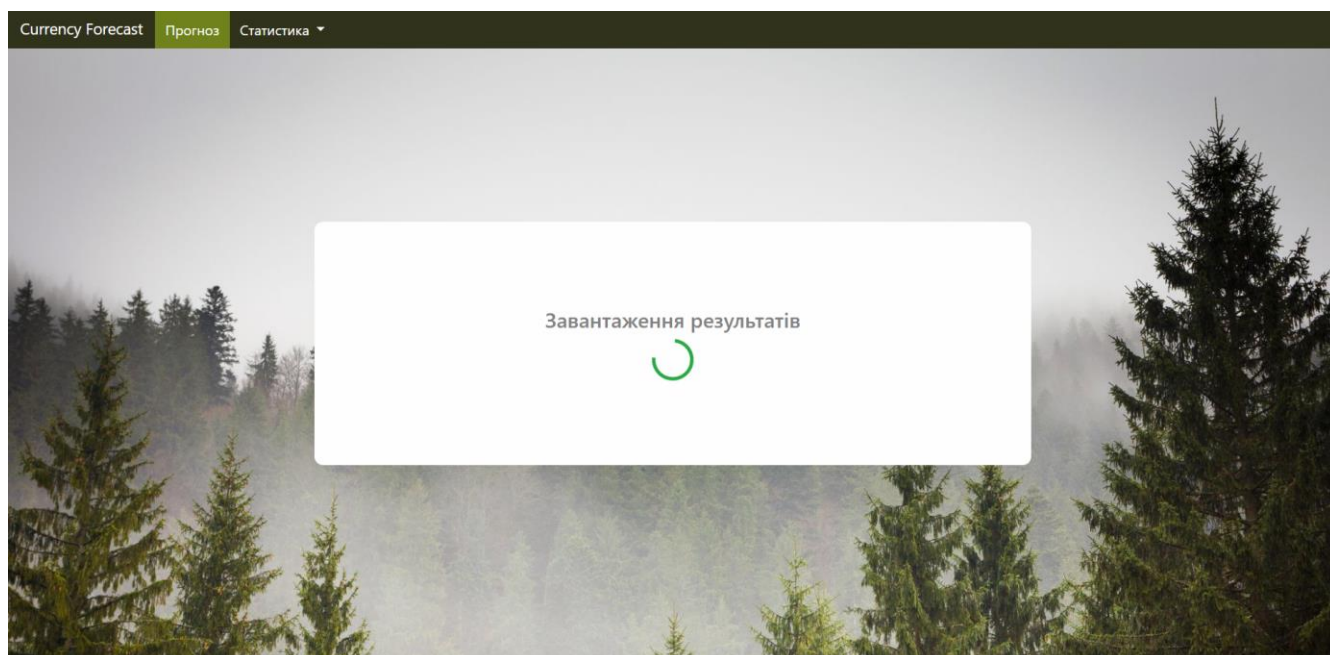


Рисунок 4.13 – Вигляд сторінки при завантаженні результатів прогнозу на період

При отриманні значень прогнозів на період згенерується така форма результатів (рис. 4.14). Щоб переглянути спрогнозовані значення факторів, необхідно натиснути на кнопку з назвою фактору у секції «Вхідні дані для прогнозу», одночасно можна відкрити декілька таких випадуючих таблиць (рис. 4.15). У таблиці наведені спрогнозовані моделями ARIMA, SSA, Exp. Smoothing значення факторів.

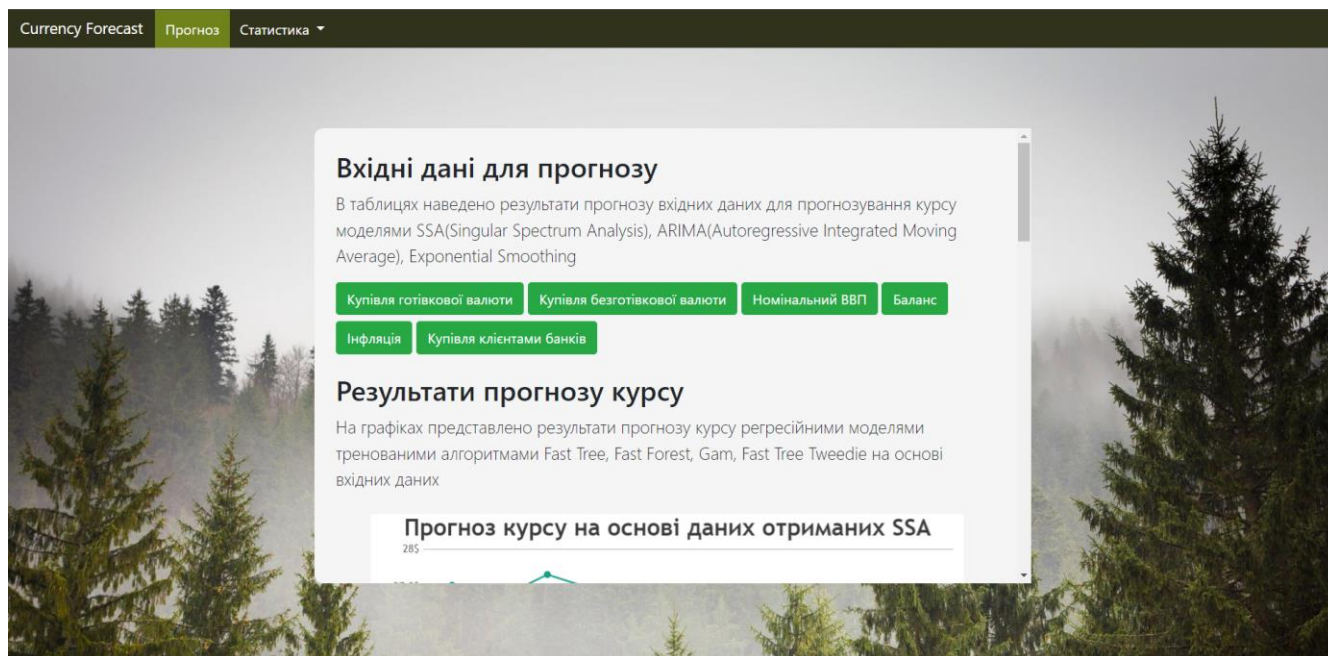


Рисунок 4.14 – Сторінка з результатами прогнозу на період

моделями SSA(Singular Spectrum Analysis), ARIMA(Autoregressive Integrated Moving Average), Exponential Smoothing

Купівля готівкової валюти Купівля безготівкової валюти Номінальний ВВП Інфляція

Купівля клієнтами банків

Купівля готівкової валюти

#	Дата	SSA	ARIMA	Exponential Smoothing
1	15.06.2021	-68.91658	-91.81882	-80.88856
2	16.06.2021	-68.9449	-67.7554	-82.53627
3	17.06.2021	-68.96411	-69.37132	-84.18398
4	18.06.2021	-68.98515	-72.26026	-85.83169
5	19.06.2021	-69.002556	-82.65292	-87.4794

Рисунок 4.15 – Приклад таблиці спрогнозованих значень факторів для прогнозу на період

Також на сторінці результатів прогнозів можна переглянути графіки спрогнозованих значень курсів моделями Fast Tree, Fast Forest, Fast Tree Tweedie та Gam. Приклад представлено на рисунку 4.16.

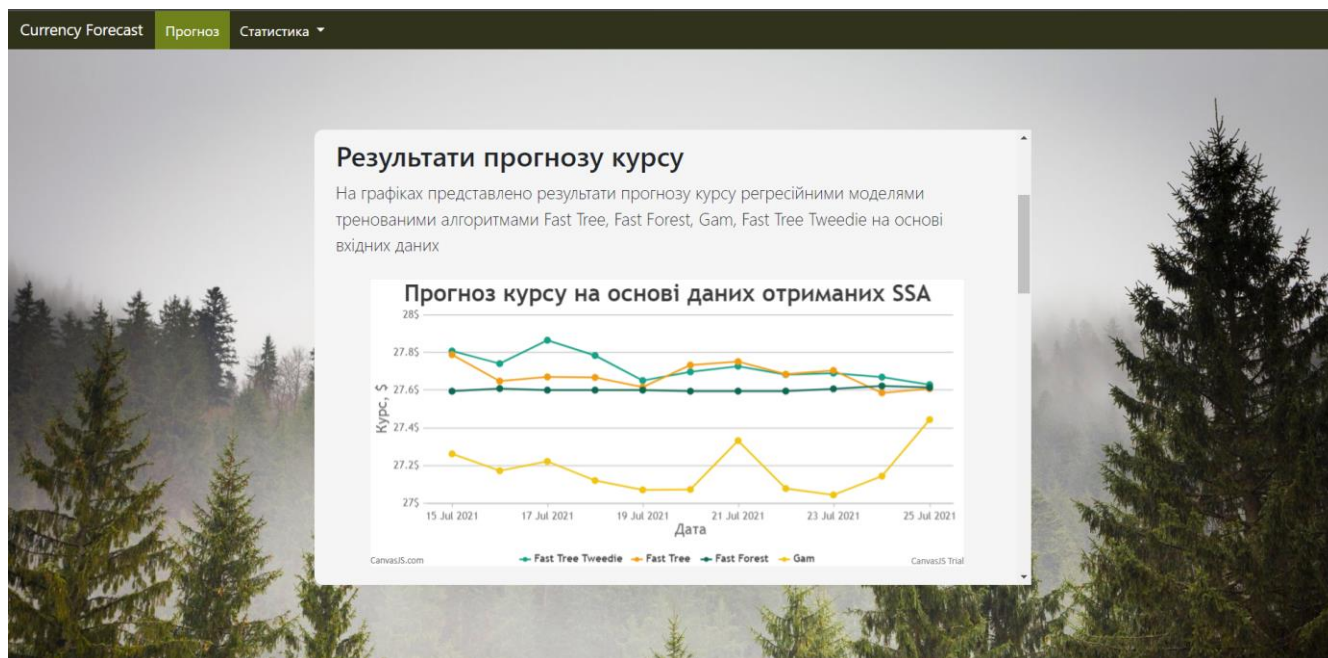


Рисунок 4.16 – Приклад графіку спрогнозованих значень курсу валют

Щоб переглянути результати спрогнозованих значень валют на основі факторів, необхідно натиснути на назву регресійною моделі «Fast Tree», «Fast Forest», «Fast Tree Tweedie» та «Gam» у секції «Результати прогнозу» (рис. 4.17). У кожній такій таблиці наведені результати прогнозів на основі вхідних значень факторів спрогнозованих моделями ARIMA, SSA та Exp. Smoothing.

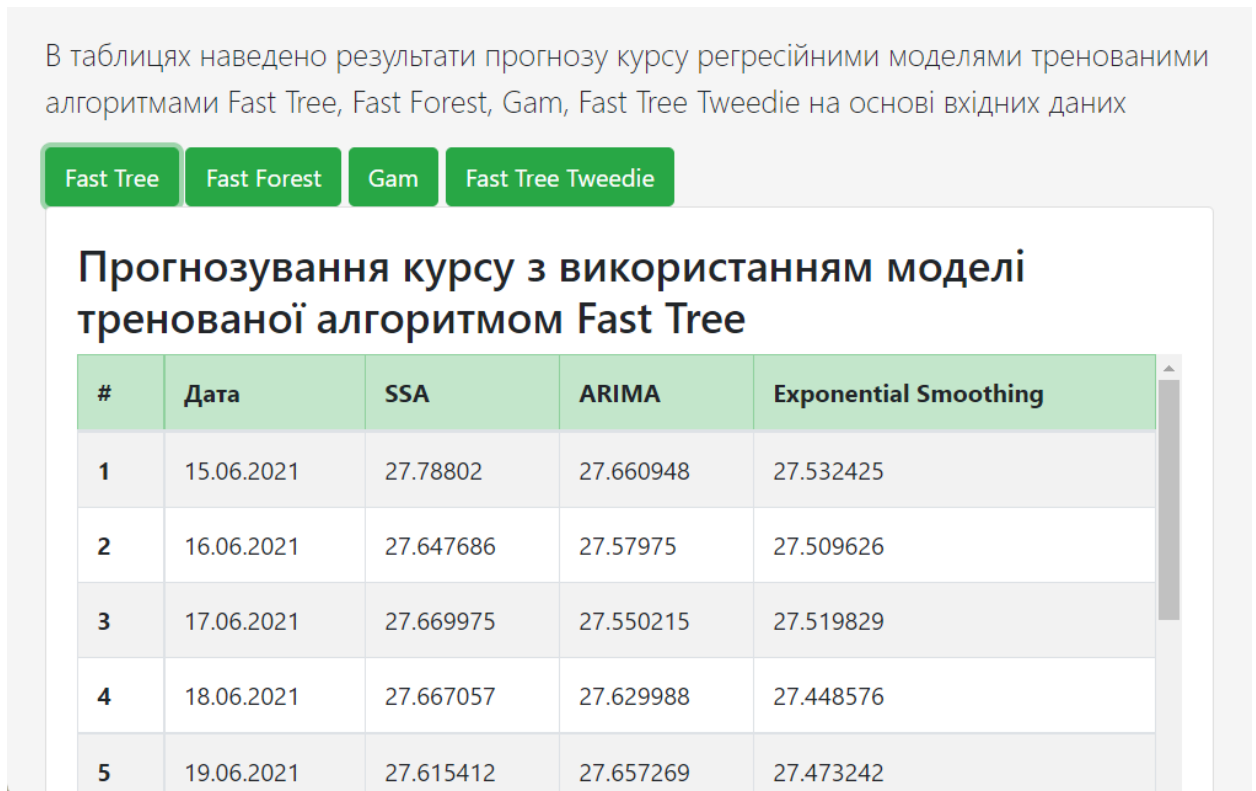


Рисунок 4.17 – Приклад таблиці спрогнозованих значень курсу валют

Також на сторінці результатів періодичного прогнозу користувач має можливість перенавчити обрану регресійну модель з даними отриманими поточним прогнозом (рис. 4.18). Дані представлені у csv форматі. Для перенавчання необхідно обрати у селекторі (рис. 4.19) необхідну модель: Fast Tree, Fast Forest, Fast Tree Tweedie та Gam. Потім натиснути на кнопку «Перенавчити».

Дані для навчання моделей

Дані прогнозів для перенавчання навчання регресійних моделей алгоритмами Fast Tree, Fast Forest, Gam, Fast Tree Tweedie

Info Наведено прогнози найкращої за точністю моделі для поточного курсу

Регресійна модель

Fast Tree ▼ Перенавчити

```

27.558292,-80.88856,...-14.92623,18.35807,101.23351,1169438,978343,-6.48108,.....
27.495735,-82.53627,...-14.93994,18.48562,101.23351,1169438,978343,-6.48108,.....
27.571785,-84.18398,...-14.95365,18.61318,101.23351,1169438,978343,-6.48108,.....
27.46532,-85.83169,...-14.96735,18.74073,101.23351,1169438,978343,-6.48108,.....
27.448772,-87.4794,...-14.98106,18.86828,101.23351,1169438,978343,-6.48108,.....
27.461079,-89.12711,...-14.99476,18.99584,101.23351,1169438,978343,-6.48108,.....
27.426668,-90.77482,...-15.00847,19.12339,101.23351,1169438,978343,-6.48108,.....
27.544302,-92.42253,...-15.02218,19.25094,101.23351,1169438,978343,-6.48108,.....
27.542042,-94.07024,...-15.03588,19.3785,101.23351,1169438,978343,-6.48108,.....
27.52401,-95.71795,...-15.04959,19.50605,101.23351,1169438,978343,-6.48108,.....

```

Рисунок 4.18 – Функціонал для перенавчання моделей даними поточного прогнозу

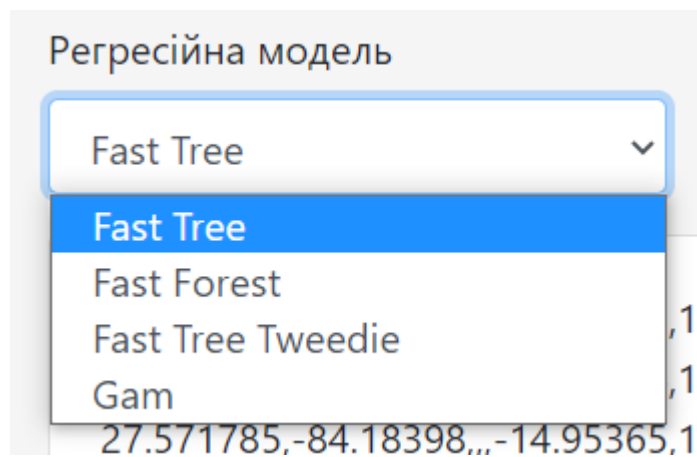


Рисунок 4.19 – Селектор для вибору моделі на перенавчання

Переглянути які критерії для певного курсу є важливими можна натиснувши на підпункт меню «Критерії впливу» у пункті меню статистика (рис. 4.20). Результатом буде таблиця з рівнями значень факторів на рисунку 4.21, де темним зеленим кольором у таблиці показані значення рівнів важливості тих факторів, що є впливовими.

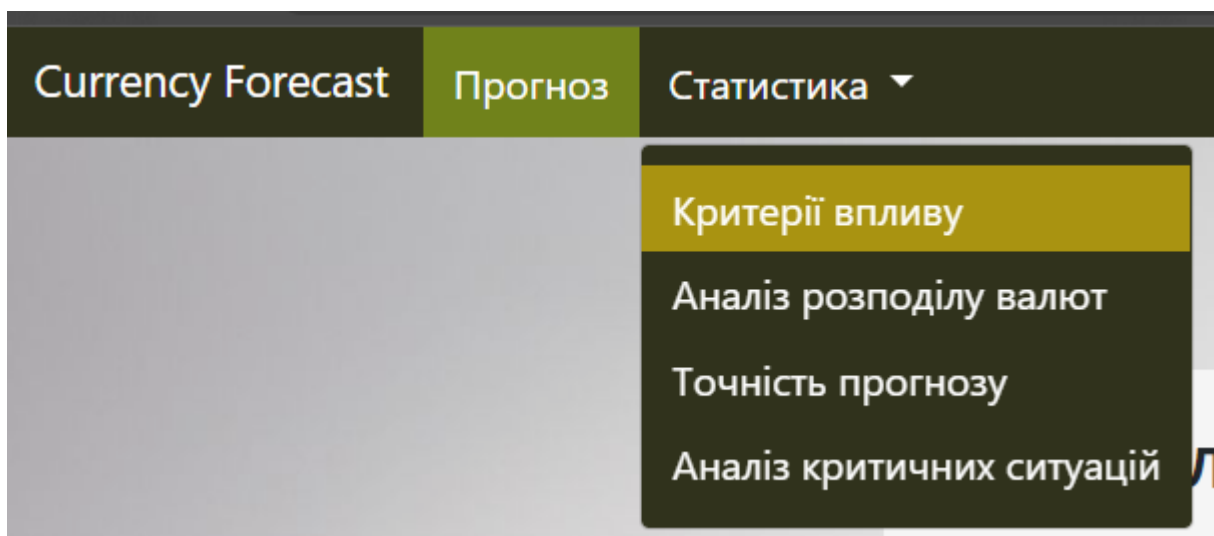


Рисунок 4.20 – Пункт «Критерії впливу» підменю статистика

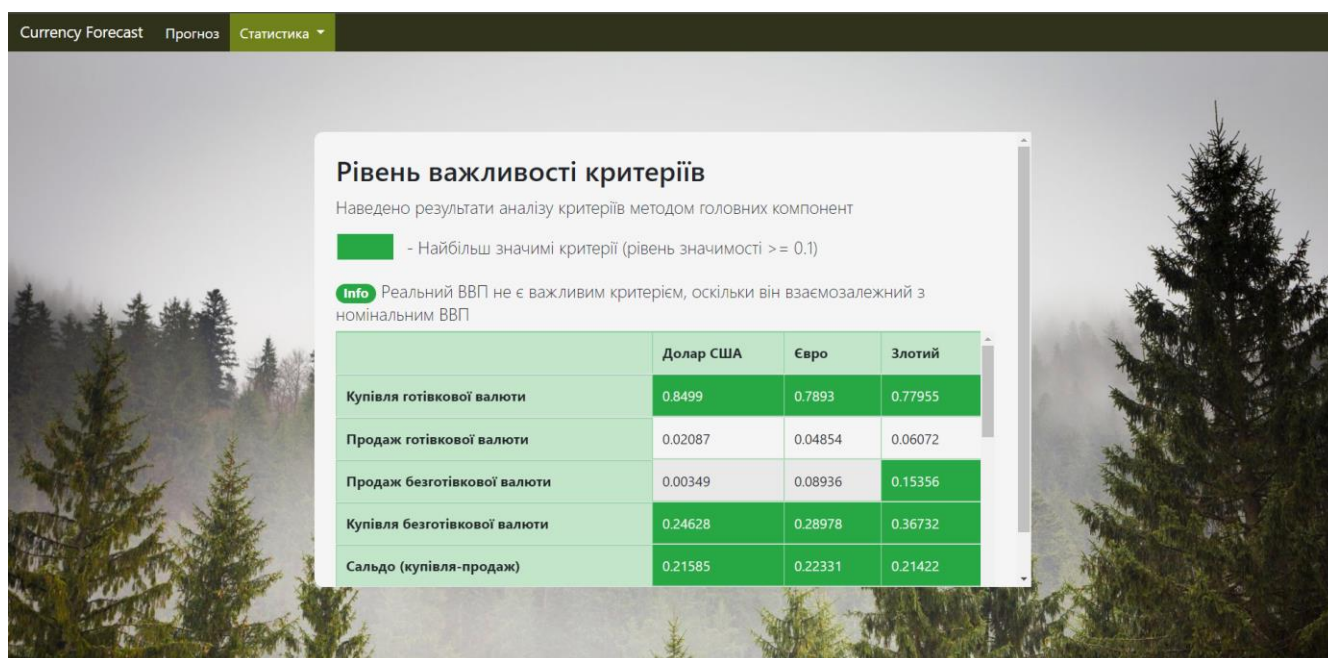


Рисунок 4.21 – Сторінка зі звітом впливовості факторів на курси валют

Користувач може переглянути результати точності використаних для прогнозування моделей натиснувши на підпункт «Точність прогнозу» пункту меню «Статистика» (рис. 4.22). У результаті з'явиться форма завантаження даних (рис. 4.23).

Після завантаження результатів можна побачити дані точності для курсу долару США (по дефолту), але в дропдауні «Валюта» можна змінити валюту.

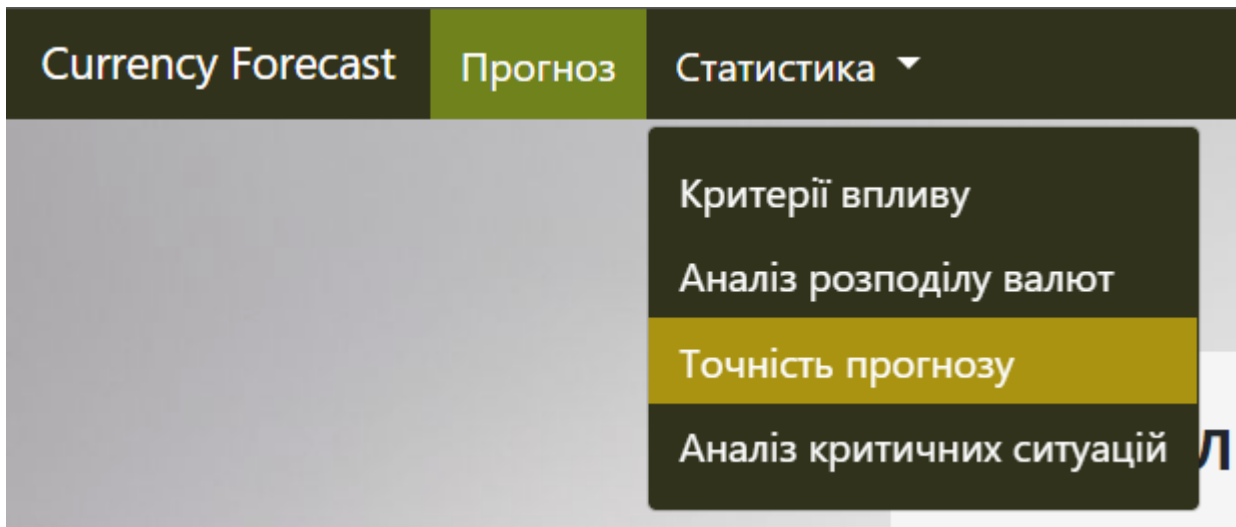


Рисунок 4.22 – Пункт «Точність прогнозу» підменю статистика

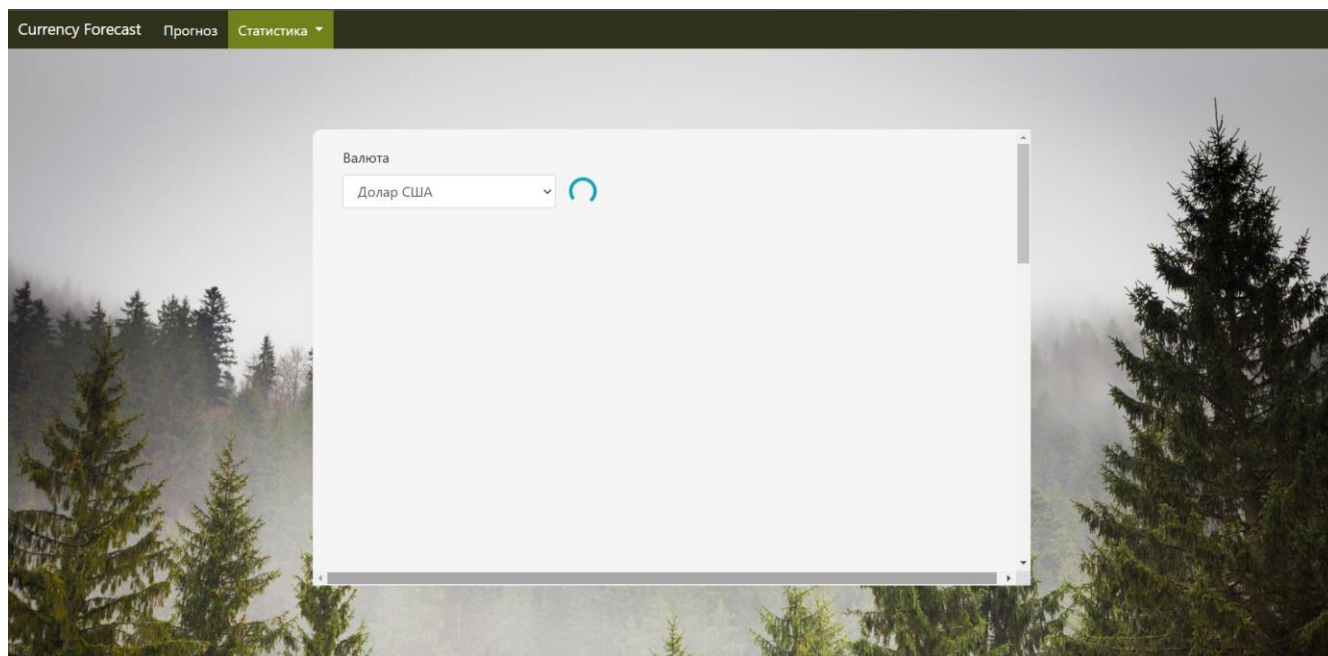


Рисунок 4.23 – Вигляд сторінки «Точність прогнозу» під час завантаження результатів

Результатами точності є графіки зміни середньої абсолютної похибки з часом для моделей прогнозування курсів на основі значень факторів отриманих моделями ARIMA, SSA та Exp. Smoothing (приклад для однієї з них на рисунку 4.24), результати тестових

прогнозів і значень похибок (рис. 4.25) та таблиця значень середньоквадратичної похибки (рис. 4.26). Приклад вигляду випадваючої таблиці значень наведено на рисунку 4.27. Таблиця містить колонку дати, фактичного значення, прогнозовані значення регресійними моделями натренованими алгоритмами Fast Tree, Fast Forest, Fast Tree Tweedie та Gam, а також значення відхилення кожного прогнозу від фактичного значення.

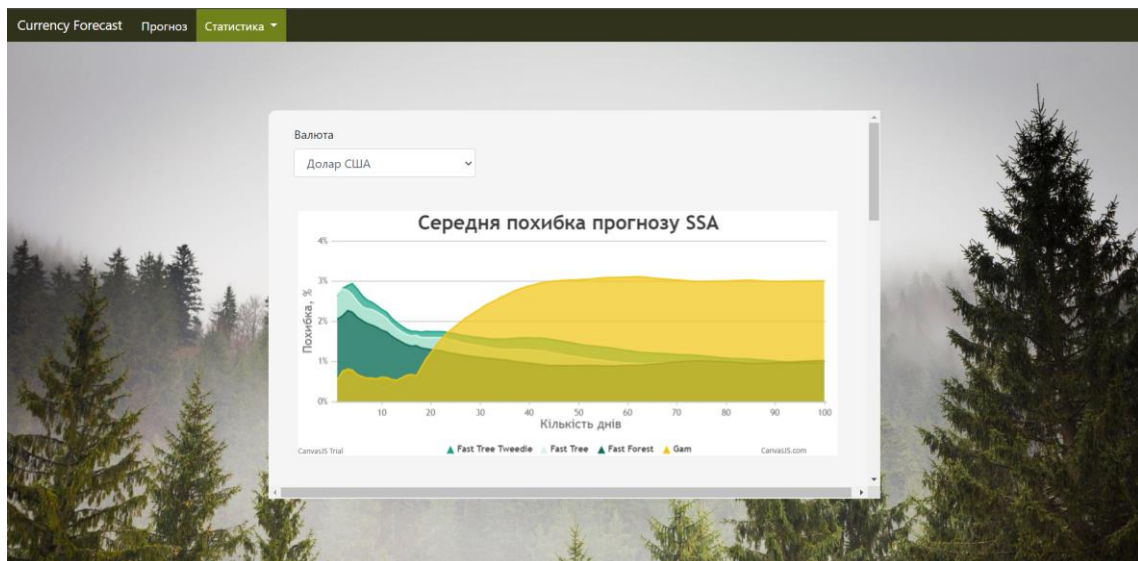


Рисунок 4.24 – Приклад графіку зміни середньої абсолютної похибки з часом для моделей прогнозування

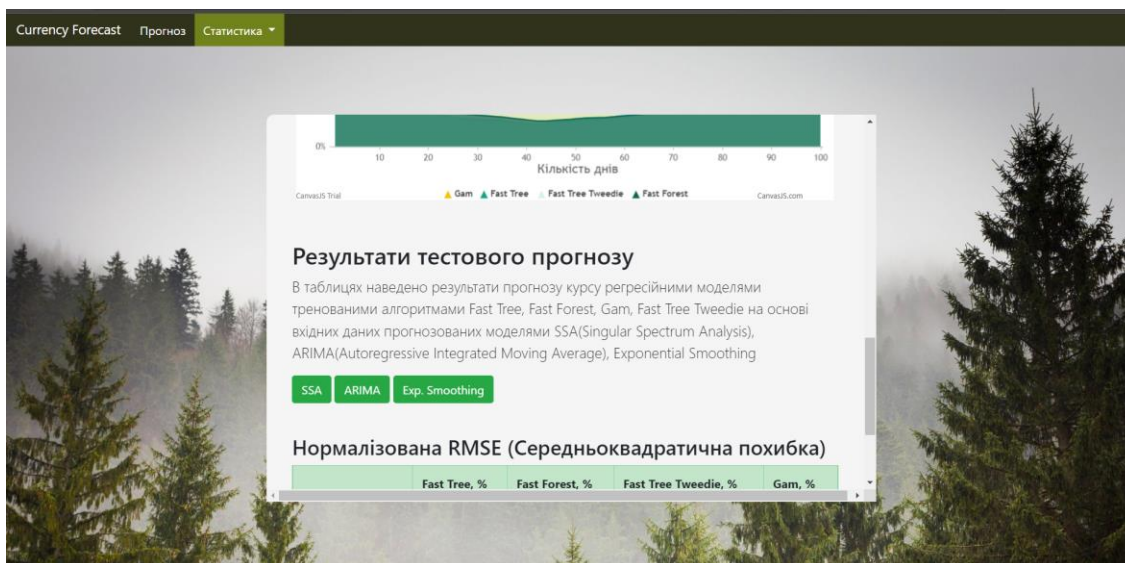


Рисунок 4.25 – Функціонал для перегляду таблиць результатів тестування моделей на точність

ARIMA(Autoregressive Integrated Moving Average), Exponential Smoothing

SSA ARIMA Exp. Smoothing

SSA

Дата	Фактичне значення	Fast Tree	Fast Forest	Fast Tree Tweedie	Gam	Fast Tree Відхилені %
14.06.2021	27.0404	27.766245	27.595362	27.183802	27.752445	2.6843
15.06.2021	26.9957	27.78802	27.593866	27.260912	27.807829	2.93498
16.06.2021	26.9258	27.647686	27.607977	27.1709	27.740465	2.68102
17.06.2021	27.0275	27.669975	27.599583	27.220469	27.865105	2.37712

Рисунок 4.26 – Приклад таблиці результатів тестування моделей на точність

Нормалізована RMSE (Середньоквадратична похибка)

	Fast Tree, %	Fast Forest, %	Fast Tree Tweedie, %	Gam, %
SSA	1.864581	1.858749	1.954273	1.793004
ARIMA	2.792495	2.551777	1.391596	2.797974
Exp. Smoothing	1.880624	2.037283	1.194836	1.959873

	Перенавчена Fast Tree, %	Перенавчена Fast Forest, %	Перенавчена Fast Tree Tweedie, %	Перенавчена Gam, %
SSA	1.40688	1.789654	3.168858	1.282761
ARIMA	3.798029	3.264375	4.232327	4.057976
Exp. Smoothing	2.090591	2.436673	2.274197	1.952119

Рисунок 4.27 – Таблиці середньоквадратичної похибки моделей

Для перегляду інформації про те, як важливі події вплинули на зміну курсу валюти користувач може скористатися підпунктом «Аналіз критичних ситуацій» пункту меню «Статистика» (рис. 4.28). Результатом є таблиця, яка показує період важливої події, мінімальне/максимальне/середнє значення в період за 100 днів від події та мінімальне/максимальне/середнє значення в період події (рис. 4.29). Також для кращого уявлення наведені графіки зміни курсу (рис. 4.30). Змінити досліджувану валюту можна у дропдауні «Валюта».

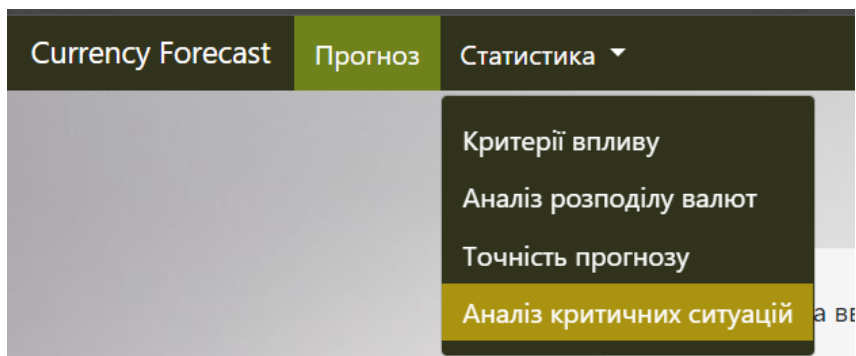


Рисунок 4.28 – Пункт «Аналіз критичних ситуацій» підменю статистика

Подія	Початок	Кінець	Мін до	Мін після	Мах до	Мах після
Революція Євромайдан	24.11.2013	23.02.2014	7.993	7.993	7.993	8.838
Вторгнення рф у Крим	22.02.2014	27.02.2014	7.993	8.838	8.838	9.4269
Антитерористична операція на сході	14.04.2014	30.04.2018	7.993	11.227373	12.97709	30.010176

Рисунок 4.29 – Сторінка із аналізом критичних ситуацій

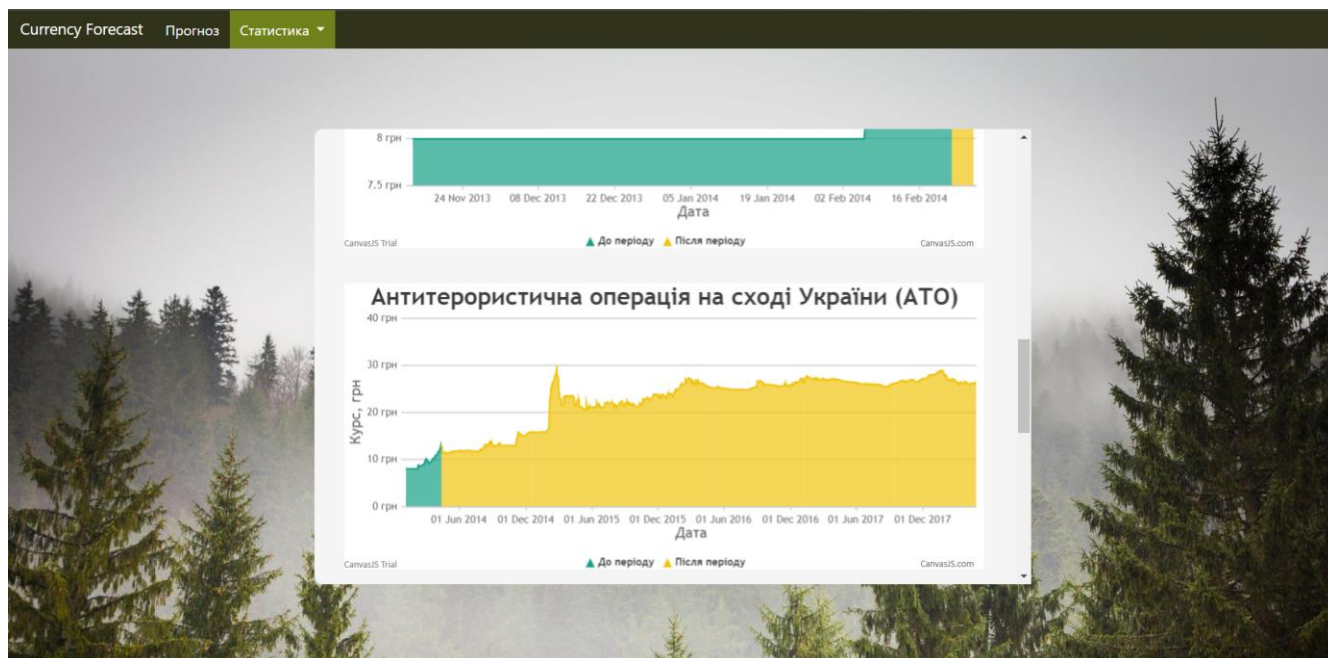


Рисунок 4.30 – Приклад графіку зміни курсу

Висновок до розділу

У даному розділі визначено засоби розробки та архітектуру проєкту, детально описано та проілюстровано структуру проєкту, наведено та проілюстровано класи проєкту, описано призначення функцій зазначених класів. Також розроблено деталізоване керівництво користувача.

В якості середовища розробки обрано Visual Studio 2019 для .NET платформи, а в якості мови - C#. В якості патерну проєктування обрано шаблон Model-View-Controller з клієнт-серверною архітектурою.

5 МАРКЕТИНГОВИЙ АНАЛІЗ СТАРТАП-ПРОЄКТУ

5.1 Опис ідеї стартап-проєкту

Ідея даного проєкту полягає у реалізації застосунку для прогнозування курсів валют Національного Банку України з використанням моделей, що враховують вплив змін макроекономічних показників.

Кінцевий програмний продукт буде корисним для користувачів пов'язаних із зовнішньою економічною діяльністю, експортом та імпортом товарів та послуг, представників системи оподаткування (а також і осіб, що сплачують податки), щоб прогнозувати надходження бюджету на квартал або рік. Також дана інформаційна система буде корисною для представників економічної сфери та аналітиків, які вивчають ринок та складають аналітичні звіти, щоб бачити ринкову статистику. В даному проєкті також можуть бути зацікавленими науковці, які пишуть роботи пов'язані із економікою, макроекономікою, а також банківські та фінансові установи, компанії, що займаються валютними обмінами. Прогнозування курсів може значно допомогти бюджетним чиновникам у складанні бюджету. Прогнозування коливань курсів допомагає у формуванні адекватної ціни на товари та послуги з прив'язкою до світових аналогів (Наприклад, якщо зерно в Україні буде дорожче, ніж на світовому торгівельному ринку, то воно буде гірше продаватися і призведе до зменшення надходжень у бюджет країни). Також даний застосунок буде корисним для міжнародних благодійних та фінансових організацій, які працюють в Україні, допомагають Україні та роблять інвестиції.

Реалізоване програмне забезпечення буде надавати можливість прогнозувати курси валют на періоди за допомогою регресійних моделей, що приймають на вхід спрогнозовані значення макроекономічних показників, що мають найбільший вплив на прогнозований курс.

Таблиця 5.1 – Опис ідеї стартап-проєкту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Ідея даного проєкту полягає у реалізації застосунку для прогнозування курсів валют Національного Банку України з використанням моделей, що враховують вплив змін макроекономічних показників.	<ul style="list-style-type: none"> – Застосування при прогнозуванні надходжень у бюджет – Використання для складання звітів з ринкової статистики – Застосування при закладенні бюджету на майбутній період – Використання при написанні наукових робіт з економіки – Використання при визначенні цін на товари та послуги 	Можливість прогнозування щоденних курсів на період за допомогою регресійних моделей, що враховують вплив макроекономічних показників на значення курсів.

Таблиця 5.2 – Сильні, слабкі та нейтральні сторони ідеї проєкту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проєкт	Trading Economics	Economics TD			
1	Прогнозування курсу валют для України	+	-	-			+
2	Прогнозування середнього значення курсу на квартал	-	+	+		+	

№ п/п	Техніко- економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W (слабка сто- рона)	N (нейтра- льна сторона)	S (силь- на сто- рона)
		Мій проект	Trading Economics	Economics TD			
3	Прогнозування курсу валют на кожен день	+	-	-			+
4	Аналіз точності моделей для прогнозів	+	-	-	+		
5	Прогнозування курсу з використанням регресійних моделей	+	+	-			+
6	Аналіз рівня впливовості факторів формування курсу	+	-	-		+	

Отже, при порівнянні виявлено, що даний застосунок не має можливості прогнозування середніх значень курсів на квартал, але натомість дозволяє прогнозувати щоденні курси на необхідний період, тобто надає більш детальний звіт про коливання курсів в межах періоду. Також великою перевагою даного застосунку є те, що він прогнозує курс актуальний для України, оскільки знайдені існуючі аналоги не надають прогнозів для курсу Нацбанку в Україні.

5.2 Технологічний аудит ідеї проєкту

Перелік необхідних технологій для реалізації веб-застосунку, а також їх наявність наведено в таблиці номер 5.3.

Таблиця 5.3 – Технологічна здійсненність ідеї проєкту

№ п/п	Ідея проєкту	Технологія реалізації	Наявність технології	Доступність технології
1	Реалізація алгоритму пошуку впливовості факторів	Extreme.Mathematics	Наявна	Безкоштовна, у вільному доступі з відкритим кодом
2	Побудова статистичних моделей прогнозування	Extreme.Statistics.TimeSeries Analysis	Наявна	Безкоштовна, у вільному доступі з відкритим кодом
3	Тренування моделей часових рядів	Microsoft.ML.Transforms.Time Series	Наявна	Безкоштовна, у вільному доступі з відкритим кодом
4	Підготовка даних для навчання моделей	Microsoft.ML.Data	Наявна	Безкоштовна, у вільному доступі з відкритим кодом
5	Тренування регресійних моделей прогнозування	Microsoft.ML.Trainers	Наявна	Безкоштовна, у вільному доступі з відкритим кодом

№ п/п	Ідея проєкту	Технологія реалізації	Наявність технології	Доступність технології
6	Front-end частина веб-застосунку	JavaScript, JQuery, Bootstrap	Наявні	Безкоштовні, у вільному доступі
7	Back-end частина веб-застосунку	Visual Studio 2019, .NET, ASP .NET	Наявні	Visual Studio 2019 – безкоштовна Community версія без обмежень та пробних періодів використання, .NET, ASP .NET – безкоштовні

З таблиці 5.3 бачимо, що всі необхідні технологічні ресурси є доступними та безкоштовними, а це означає, що наведені технології можна застосувати у даному проєкті. Отже, проєкт є повністю готовим до реалізації всіх поставлених завдань.

5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту

У даному пункті проаналізовано ринкові можливості проєкту. Аналіз попиту на продукт, обсягів продажів та динаміки розвитку наведено у таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Попередня характеристика потенційного ринку

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	2
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	1750-3225 грн./міс
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Для користання застосунком необхідно придбати ліцензію на використання.
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	ДСТУ ISO/IEC/IEEE 16326:2015 Стандарт розроблення систем та програмного забезпечення
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	$175000 / 435000 * 100 = 40$

Оскільки кількість конкурентів досить невелика і достатню середню норму рентабельності, а також той факт, що продукт конкурентів не є адаптованим для цільової аудиторії із України, то можемо зробити висновок, що даний стартап-проект буде досить привабливим для ринку України.

Для того, щоб дослідити можливості продукту на ринку, необхідно більш детально дослідити цільову аудиторію, тобто користувачів продукту. Характеристику можливих категорій клієнтів та їх вимоги до програмного продукту наведено у таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проєкту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Прогнозування курсу валют в Україні	Податківці	Використовують прогнози для прогнозування надходження бюджету на квартал або рік	Зручний та сучасний інтерфейс користувача, наявність можливості прогнозування на обраний період або одноразовий прогноз за введеними значеннями факторів, можливість вибору факторів серед важливих
2		Експортери/ імпортери товарів та послуг	Зацікавлені у прогнозах курсів для прогнозування можливого заробітку або навпаки втрат через зміни курсу	
3		Аналітики, представники економічної сфери	Прогнози корисні, оскільки вони вивчають ринок та складають аналітичні звіти, щоб бачити ринкову статистику	
4		Банківські та фінансові установи, компанії, що займаються валютними обмінами	Зацікавлені у прогнозах курсу валют, щоб встановлювати достаній курс для отримання прибутку на обмінах	
5		Науковці економічної сфери	Можуть застосовувати прогнози для написання наукових робіт	

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
6	Прогнозування курсу валют в Україні	Міжнародні благодійні та фінансові організації	Для даної цільової аудиторії прогнозовані курси будуть корисними для вибору найкращого періоду інвестицій	Зручний та сучасний інтерфейс користувача, наявність можливості прогнозування на обраний період або одноразовий прогноз за введеними значеннями факторів, можливість вибору факторів серед важливих
7		Бюджетні чиновники	Використовують прогнози при формуванні бюджету на майбутні періоди	

Після аналізу категорій користувачів серед цільової аудиторії, проведемо аналіз факторів загроз і можливостей, що можуть повпливати на життєдіяльність продукту на ринку, а також на прибуток від реалізації (табл. 5.6).

Таблиця 5.6 – Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загроз	Можлива реакція компанії
1	Збільшення конкурентності	Оновлення функціоналу існуючих конкурентів або поява нових конкурентів на ринку України	Покращення існуючого функціоналу, імплементація нового функціоналу, який ще не з'являвся на ринку
2	Бюджет проекту на розробку, оновлення та підтримку програмного продукту	Малий об'єм бюджету, стрімке збільшення витрат над прибутком, недостатнє інвестування	Проведення рекламної компанії, залучення нових інвесторів, розробка індивідуального функціоналу для окремих інвесторів за більші інвестиції
3	Стрімке зменшення попиту	Відписка існуючих користувачів, стрімке зменшення притоку нових користувачів	Створення знижок на перший час користування або для існуючих клієнтів, введення невеликих пробних періодів для користувачів, що вагаються підписатися на продукт, створення опитувань, щоб оцінити враження користувачів від продукту
4	Війна	Відсутність бажання та необхідності у програмному забезпеченні серед користувачів через перехід економіки на воєнні рейки, коли курс стає фіксованим для	Релокація працівників у безпечне місце, розробка функціоналу актуального для війни, щоб утримати великих інвесторів

№ п/п	Фактор	Зміст загроз	Можлива реакція компанії
		регулювання усіх економічних процесів	

Таблиця 5.7 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Розвиток ринку	Поява нових рішень, технологій, алгоритмів, моделей, інструментів тощо для прогнозування курсів валют	Аналіз нових можливостей, дослідження впливу на прибуток та збільшення користувачів. За умови, що витрати будуть повністю покриті доходами, реалізувати нові ідеї у програмному продукті та створити рекламну компанію для залучення нових клієнтів, зацікавлених у оновленому функціоналі.
2	Збільшення продуктів	Створення нових програмних продуктів, у яких може бути зацікавлена велика аудиторія	Аналіз потреб потенційно зацікавлених користувачів з метою виявлення найбільш актуальних потреб, розробка нового найбільш актуального проєкту
3	Заробіток на замовленнях	Створення окремого функціоналу або продукту для компанії-замовника на замовлення з великим бюджетним фондом та довгостроковим договором	Вивчення потреб компанії-замовника, складання плану розробки та введення програмного продукту. Розробка та подальша підтримка проєкту за оплату.

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
4	Заробіток на рекламах інших товарів або послуг	Ведення у межах програмного продукту рекламних компаній товарів або послуг інших компаній, не пов'язаних із сферою даного проекту	Введення реклами для заробітку, введення преміум ліцензій з відсутністю реклами
5	Побудова відносин з представниками економічної сфери	Співпраця з відомими фінансовими, банківськими, державними установами, предстаниками економічної сфери, міжнародними інвестиційними організаціями тощо.	Підтримка популярних заходів для покращення рекламної політики, налагодження відносин із професіоналами економічної сфери

Проведемо аналіз конкурентноспроможності програмного продукту на ринку, детальний опис конкурентного середовища наведено у таблиці 5.8 та 5.9.

Таблиця 5.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

№ п/п	Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1	Тип конкуренції: монополістична	Компанії даного середовища можуть змінювати ціну на продукт незалежно від діяльності конкурентів, немає зобов'язань для входу/виходу з ринку, виробники програмних продуктів не мають попарних взаємодій.	Реалізація унікального функціоналу, що значно вирізняє даний продукт серед конкурентів та виправдовує ціну, регулювання ціни при різких змінах вартості продуктів суперників або відтоку клієнтів до інших виробників
2	Рівень конкурентної боротьби: національний	Продукти конкурентів більш актуальні на ринку інших держав і не актуальні для ринку України	Створення початкової версії для ринку України з реалізацією актуального функціоналу. При наявності значного успіху можливий вихід на рівень конкурентної боротьби ринку інших країн з реалізацією функціоналу актуального для цих країн. Запуск бета-версій в цих країни для тестування попиту на продукт і аналізу конкурентної спроможності продукту. Реалізація рекламних компаній на популярних платформах цих країн.

№ п/п	Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
3	Галузева ознака: міжгалузева	Даний продукт є корисним для представників різних галузей: економічної, імпорту/експорту, товарообігу, виробництва, оподаткування, науки, бюджетної тощо.	Розробка продукту зручного для використання представника будь-якої сфери. Надання документації з покроковим керівництвом користувача.
4	Конкуренція за видами товарів: товарно-видова	Всі існуючі аналоги даного продукту належать до категорії продуктів програмного забезпечення	Створення лінійки схожих програмних продуктів або функціоналу, які б можна було додавати до ліцензії за меншу плату при наявності підписки на початковий продукт.
5	Характер конкурентних переваг: не цінова	Даний продукт має перевагу над конкурентами у наявності	У разі появи нових конкурентів детально дослідити продукт конкурентів, з'ясувати переваги та недоліки, схожий та відмінний функціонал. Якщо є необхідність, то реалізувати новий відмінний функціонал.
6	За інтенсивністю: немарочна	На даному етапі вводиться на ринок новий продукт з відсутністю торгової марки і в ній немає потреби	Зацікавлення користувачів лише перевагами та якістю продукту

Таблиця 5.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	Trading Economics, Economics TD	Конкуренти вільно змінюють ціни, а також можуть реалізовувати новий функціонал подібний до функціоналу даного проекту, витрати на введення продукту на ринок	Обсяги замовлень поставок	Прибутки, продуктова диференціація, торгові марки компаній клієнтів	Оновлення функціоналу, зміна ціни
Висновки	Конкуренція на світовому ринку, на ринку України конкурентів немає	Існують несуттєві обмеження виходу на ринок	Невелика кількість замовлень	Компанії, які виступають у ролі клієнтів і купують реалізацію окремого функціоналу надають значні прибутки	Зміна цін на альтернативні, що не зменшують прибуток та кількість клієнтів, періодичне оновлення системи для утримання користувачів

Даний програмний продукт має великий шанс успішної реалізації на ринку України, оскільки на даний момент не існує аналогів, що прогнозували б курс валют актуальний для України. Також у подальшому є можливість успішного виходу на ринок інших країн за умови, якщо на іноземних ринках ще відсутні конкуренти. За наявності конкурентів необхідно дослідити іноземний ринок та потреби іноземної цільової аудиторії і імплементувати новий актуальний функціонал, на який був би великий попит на світовому ринку. Для збільшення прибутків необхідно заохочувати великі компанії замовників на створення замовлень індивідуального характеру для потреб цих клієнтів за додаткові плати. Для збільшення кількості клієнтів необхідно постійно оновлювати функціонал, орієнтуючись на побажання найбільших категорій цільової аудиторії.

Тепер дослідимо чинники конкурентної спроможності інформаційної системи для прогнозування курсу валют (табл. 5.10).

Таблиця 5.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Сучасний, інтуїтивно зрозумілий інтерфейс	Для розробки UI-представлень використовуються нові бібліотеки інструментів для створення веб-застосунків.
2	Платоспроможний попит на ринку України	Даний продукт буде єдиним на ринку програмних продуктів України і буде встановлювати ціну адекватну для користувачів в межах країни
3	Потреби споживачів	Функціонал даного продукту є корисним для представників багатьох сфер і орієнтується на задоволення потреб якомога більшої кількості споживачів

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
4	Маркетинг	Рекламна компанія, що орієнтована на різні категорії клієнтів, залучення у якості замовників великих відомих компаній з перспективою на довготривале співробітництво
5	Ціна продукції та собівартість	Проведення заходів для зменшення витрат на виробництво та реалізацію продукту та собівартості

За наведеними у таблиці 5.10 чинниками конкурентоспроможності проаналізуємо сильні та слабкі сторони інформаційної системи у таблиці 5.11.

Таблиця 5.11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін інформаційної системи для прогнозування курсу валют

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з запропонованим							
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	
1	Сучасний, інтуїтивно зрозумілий інтерфейс	17			+					
2	Платоспроможний попит на ринку України	18	+							
3	Потреби споживачів	19						+		
4	Маркетинг	15				+				
5	Ціна продукції та собівартість	11		+						

Проведемо дослідження можливостей впровадження продукту за допомогою виокремлення сильних сторін, слабких сторін, загроз та можливостей, тобто SWOT-аналізу (табл. 5.12).

Таблиця 5.12 – SWOT- аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони (S):</p> <ul style="list-style-type: none"> – Орієнтація на велику аудиторію користувачів – Використання сучасних інструментів для прогнозування – Першість на національному ринку 	<p>Слабкі сторони (W):</p> <ul style="list-style-type: none"> – Велика собівартість інформаційної системи – Відсутність ряду подібних продуктів
<p>Можливості (O):</p> <ul style="list-style-type: none"> – Вихід на іноземні ринки – Збільшення кількості програмних продуктів – Замовлення на індивідуальні продукти від великих компаній 	<p>Загрози (T):</p> <ul style="list-style-type: none"> – Зменшення клієнтної бази та попиту – Поява конкурентів на національному ринку – Зміна в форматворчому процесі курсів валют

На основі аналізу сильних/слабких сторін, можливостей та загроз, визначимо основні альтернативні дії інформаційної системи для виведення на ринок, а також приблизні терміни реалізації. Альтернативна діяльність наведена у таблиці 5.13.

Таблиця 5.13 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Надання користувачам інформаційної системи на пробний період користування	В даному випадку головним ресурсом є користувачі, ресурс наявний	3-4 місяці
2	Рекламні компанії	Ресурсом є бюджет проекту, для оплати реклами можна залучити інвестовані кошти	1-2 місяці

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
3	Створення інструкцій користування, запис відео уроків з користування інформаційною системою, написання наукових робіт з використанням даної системи	Дана діяльність потребує часу на створення, обробку, публікацію інформаційних джерел	1-1.5 місяців
4	Презентування програмного продукту на відомих ІТ та економічних івентах	Ресурсом презентацій є є бюджет проекту для оплати участі, а також час	2-3 місяці

5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Для успішної реалізації проекту на ринку України потрібно проаналізувати цільові групи потенційних користувачів. Аналіз цільових категорій споживачів наведено у таблиці 5.14.

Таблиця 5.14 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Податківці	Попит середній, бо система необхідна лише раз на рік/квартал	50% - середній попит на продукт	Низька конкуренція	Легка, бо немає аналогів на українському ринку
2	Експортери/ імпортери товарів та послуг	Попит середній, бо в даному застосунку зацікавлені лише експортери та імпортери великих масштабів, коли при малій зміні курсу відчутна зміна загальної вартості товару	40% - середній попит на продукт	Низька конкуренція	Легка, бо немає аналогів на українському ринку
3	Аналітики, представники економічної сфери	Попит великий, бо система корисна для вивчення ринку та складання звітів ринкової статистики	80% - великий попит на продукт	Низька конкуренція	Легка, бо немає аналогів на українському ринку

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
4	Банківські та фінансові установи, компанії, що займаються валютними обмінами	Високий попит, бо система корисна для встановлювання адекватного курсу	90% - великий попит на продукт	Низька конкуренція	Легка, бо немає аналогів на українському ринку
5	Науковці економічної сфери	Попит малий, бо потреба у системі для написання наукових робіт з'являється рідко	25% - малий попит на продукт	Низька конкуренція	Легка, бо немає аналогів на українському ринку
6	Міжнародні благодійні та фінансові організації	Попит низький, бо невелика кількість інвестицій	30% - малий попит на продукт	Низька конкуренція	Легка, бо немає аналогів на українському ринку
7	Бюджетні чиновники	Попит середній, бо система необхідна лише раз на рік/квартал	50% - середній попит на продукт	Низька конкуренція	Легка, бо немає аналогів на українському ринку

З наведеного аналізу цільових груп бачимо, що найбільш зацікавленими у розповсюдженні даної інформаційної системи для прогнозування курсу валют є банківські та фінансові установи, компанії, що займаються валютними обмінами для встановлення адекватного курсу, а також аналітики, представники економічної сфери, що вивчають ринок та складають звіти ринкової статистики.

Таблиця 5.15 – Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
Постачання у вигляді нових версій функціоналу, що відсутній у продуктів-замінників, підтримка клієнтів	Проведення масштабних рекламних компаній, налаштування контакту з клієнтами, сповіщення клієнтів та потенційних споживачів про оновлення програмного продукту через інтернет ресурси, здобування лояльності користувача через систему акційних пропозицій, знижок, пробних термінів використання окремого функціоналу.	<ul style="list-style-type: none"> – Зменшення рівня замінності товару; – Відмінний функціонал товару; – Прихильність клієнтів. 	Стратегія диференціації

Таблиця 5.16 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Проект є першопрохідцем на українському ринку, але не є першопрохідцем на світовому ринку	Компанія буде шукати нових клієнтів та залучати клієнтів, що користуються аналогами.	Компанія не буде копіювати характеристики світових аналогів з метою залучення більшої кількості клієнтів, компанія планує імплементувати функціонал, що максимально відрізняється від існуючих аналогів.	Стратегія заняття конкурентної ніші

Таблиця 5.17 – Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Можливість прогнозування курсу валют для України на кожен день	Стратегія диференціації	Користувач має можливість переглянути прогнозовані ряди щоденних курсів валют на період до року від поточної дати.	Швидка генерація прогнозованих рядів Побудова точних моделей, що враховують поведінку факторів впливу на курс валют Можливість перегляду точності та похибки побудованої моделі
2	Зручність у використанні	Стратегія диференціації	Зрозумілий інтерфейс користувача	Інтуїтивно-зрозумілий сучасний інтерфейс Наявність підказок для спрощення роботи клієнта із застосунком Адаптованість

5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту

Таблиця 5.18. — Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Інтуїтивно-зрозумілий інтерфейс	Користувач не потребує додаткових інструкцій і керівництв та може почати злагоджену роботу із застосунком одразу із придбанням ліцензії	Сучасний інтерфейс з достатнім рівнем інформування користувача про наявні можливості
2	Можливість прогнозування курсу валют для України на кожен день	Застосунок надає можливість прогнозування курсу долара США, злотого, євро та чеської крони на період до одного року від поточної дати	Преставлення прогнозів курсів у вигляді таблиць і графіків, надання можливості вибору найбільш впливових факторів для прогнозування, представлення спрогнозованих значень факторів у вигляді таблиць, надання можливості перенавчання регресійних моделей даними отриманими при періодичному прогнозуванні, надання інформації щодо точностей моделей.

Таблиця 5.19. — Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Програмне забезпечення, що прогнозує курси валют з високою точністю		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/ характеристики	М/Нм	Вр/Тх/Тл/Е/Ор
	1. Зручний Інтерфейс користувача	М	Тх/Ор
	2. Адаптивність	М	Тх/Ор
	3. Швидкість інтернету	М	Тх/Вр
	4. Веб-браузер	Нм	Тх/Вр
	5. Кількість клієнтів на сервері	Нм	Тх/Вр
	Якість	відповідає нормам ДСТУ ISO/IEC/IEEE 16326:2015 Розроблення систем та програмного забезпечення	
	Пакування	Документація до програмного продукту, що містить: <ul style="list-style-type: none"> – назву продукту; – інформацію про виробника, місце виготовлення; – технічні вимоги; – керівництво користувача. 	
III. Товар із підкріпленням	Дія знижок до свят, надання пробних періодів користування, надання знижок на інші програмні продукти виробника, наявність технічної підтримки.		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: право інтелектуальної власності, патентування			

Таблиця 5.20. — Визначення меж встановлення цін

Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1225 – 2250 грн	1750 – 3300 грн	20 – 170 тис. грн	1700 – 4500 грн

Таблиця 5.21. — Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Користувачі купують ліцензії на користування веб-застосунком на офіційному веб-сайті компанії	Укладання угод при купівлі ліцензій на компанію/ корпорацію/ організацію. Надання технічної підтримки	Канал рівня нуль – компанія продає ліцензії на використання застосунку напряму клієнту	Офіційний веб-сайт компанії-виробника

Таблиця 5.22. — Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Клієнти дізнаються про застосунок із реклами на сайтах інтернет-магазинів, у соціальних мережах, месенджерах та мережі Інтернет	Інтернет Месенджери Соціальні мережі Сайти інтернет-магазинів Комунікація з колегами	Єдиний продукт на українському ринку, що прогнозує курси актуальні для України	Проінформувати про наявність даного програмного продукту та акційних пропозицій	Зацікавлення представників економічної сфери, бюджетних чиновників, аналітків, експортерів, імпортерів, представників міжнародних інвестиційних організацій, власників/менеджерів фірм, що зацікавлені у купівлі великої кількості ліцензій

Висновок до розділу

В даному розділі описано основні ідеї проекту, визначено групи цільової аудиторії, досліджено можливості запуску проекту на ринку України, виявлено, що проект є перспективним і може бути успішно комерціалізованим. Проаналізовано конкурентоспроможність, бар'єри входження на ринок та визначено альтернативні підходи для підтримки продукту на ринку.

ВИСНОВКИ

В даній магістерській дисертації було проаналізовано вплив основних макроекономічних показників на найбільш популярні курси валют в Україні – долар США, євро та польській злотий, а також спрогнозовано майбутні значення курсів. Досліджувалися такі макроекономічні показники, як: купівля та продаж готівкової валюти, купівля та продаж безготівкової валюти, різниця загальних обсягів купівлі та продажу валюти, інфляція поточного року, номінальний та реальний ВВП, купівля та продаж клієнтами банків, транзакції між банками, валові та чисті міжнародні резерви, рівень безробіття, облікова (процентна) ставка, різниця обсягів купівлі та продажу валютних інтервенцій та обсяг угод номінальної вартості. Для аналізу впливу факторів на курс використовувався метод головних компонент. В результаті виявлено, що на долар США та євро найбільш впливають: купівля готівкової та безготівкової валюти, різниця обсягів продажу та купівлі валют, номінальний та реальний ВВП, інфляція поточного року та купівля клієнтами банків, а для злогого ще додатково продаж безготівкової валюти. За таблицями коефіцієнтів кореляції Пірсона виявлено, що реальний та номінальний ВВП є взаємозалежними, тому для прогнозування використовувався лише фактор номінальний ВВП.

Прогнозування курсів виконується регресійними моделями побудованими алгоритмами Fast Tree, Fast Forest, Fast Tree Tweedie та Gam. На вхід моделей подаються спрогнозовані значення визначених найбільш впливових факторів за допомогою моделей SSA, ARIMA та Exponential Smoothing. Для перевірки похибок побудованих моделей знайдено середні абсолютні похибки курсу долару США, євро та злогого при збільшенні прогнозованого періоду до ста днів. Виявлено, що значення похибки збільшується помірно та коливається у допустимих межах до 8%, але інколи можна спостерігати неадекватну поведінку моделі Gam, коли на вхід подаються прогнозовані значення макроекономічних показників спрогнозованих моделлю SSA. Для дослідження точностей меделей було знайдено нормалізовані RMSE оцінки, які

показали невеликі відхилення прогнозованих значень від фактичних в межах від 1% до 5%. Такі ж значення відхилень спостерігаються і при перенавчанні моделей отриманими спрогнозованими значеннями. У деяких випадках перенавчання покращило точність прогнозів.

В межах даної роботи знайдено альтернативний метод пошуку прогнозів в основі якого лежить Центральна гранична теорема. Даний метод добре працює для стабільних валют з достатньо великим об'ємом вибірки. Якщо розподіл вибірки значень є нормальним, то достатньо побудувати функцію щільності розподілу і прогнозом буде вважатися значення, при якому щільність ймовірності є найбільшою. Дослідження проводилося для курсу євро по відношенню до австралійського долара. Для української гривні даний метод не є застосовним, оскільки вибірка за досліджуваний період має надто великий розмах і гіпотеза про нормальний розподіл є сумнівною.

Розроблений програмний продукт буде використовуватися експертами, які формують бюджет, представниками економічної сфери та аналітиками, які складають аналітичні звіти про валютний ринок, науковцями, які пишуть роботи пов'язані із економікою, макроекономікою, міжнародними благодійними та фінансовими організаціями, які працюють в Україні та роблять інвестиції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. МВР, Принцип роботи міжбанку [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ips.ligazakon.net/document/EN201021>
2. Положення про встановлення офіційного курсу гривні до іноземних валют та розрахунку довідкового значення курсу гривні до долара США й облікової ціни банківських металів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://bank.gov.ua/ua/legislation/Regulation_10122019_148_01062020
3. Здановський Я. В., Гончарова В. А., Прогнозування курсу долара США на основі теорії нечіткої логіки як основний етап управління валютними ризиками // БІЗНЕСІНФОРМ, 2011. – 7. – с. 16
4. М. І. Зеленська, С. О. Барабаш, ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ МОДЕЛЮВАННЯ ВАЛЮТНИХ КУРСІВ В УКРАЇНІ // Ефективна Економіка, 2014. – 2.
5. Г. М. Коломієць, А. Г. Іщенко, ФІНАНСОВІ СКЛАДОВІ ФОРМУВАННЯ ВАЛЮТНОГО КУРСУ УКРАЇНИ // Інвестиції: практика та досвід, 2017. – 4. – с. 9-12
6. Фарина О. І, Оцінка факторів формування валютного курсу в Україні // НАУКОВІ ЗАПИСКИ, Економічні науки, 2015. – т. 172 – с. 85-86
7. Т. С. Клебанова, Л. С. Гур'янова, О. А. Сергієнко // Практикум з навчальної дисципліни «Багатовимірний статистичний аналіз» для студ. спец. «Прикладна економіка» ден. форми навч. , Харків : ХНЕУ, 2011. – 74 с.
8. Авторегресійні моделі прогнозування [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://jmltda.org/papers/doc/2011/no1/FadeevEtAl2011Autoreg.pdf>
9. Модель експоненціального згладжування [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://studme.org/52034/ekonomika/model_brauna_model_eksponentsialnogo_sglazhivaniy_a
10. Gumgum Darmawan, Dedi Rosadi, Budi Nurani Ruchjana and Hermansah, Department of Mathematics, Universitas Gadjahmada, Yogyakarta, Indonesia, Universitas Padjadjaran, West

- Java,Indonesia, Departement of Mathematics Education, Universitas Riau Kepulauan,Batam,Indonesia // Forecasting of Internet Usage by Singular Spectrum Analysis with Trend Extraction Method, Proceedings of The 8th SEAMS-UGM International Conference on Mathematics and its Applications, 2019. – p. 2-4
11. K. V. Rashmi, Ran Gilad-Bachrach, Department of Electrical Engineering and Computer Science UC Berkeley, Machine Learning Department Microsoft Research // DART: Dropouts meet Multiple Additive Regression Trees, – p. 491-493
 12. Muhammad Zahid, Yangzhou Chen, Arshad Jamal and Coulibaly Zie Mamadou, College of Metropolitan Transportation, Beijing University of Technology, Beijing, College of Artificial Intelligence and Automation, Beijing University of Technology, Beijing, Department of Civil Engineering, King Fahd University of Petroleum & Minerals (KFUPM), Dhahran, Department of Artificial Intelligence and Management, Group Gema-Esi Business School/IA School,61 bis rue des Peupliers, Boulogne-Billancourt, Paris // Freeway Short-Term Travel Speed Prediction Basedon Data Collection Time-Horizons: A Fast ForestQuantile Regression Approach, 16 January 2020. – p. 8-9
 13. Yi Yang, Wei Qian and Hui Zou, McGill University, Rochester Institute of Technology, University of Minnesota // Insurance Premium Prediction via Gradient Tree-Boosted Tweedie Compound Poisson Models, April 22, 2016. – p. 5-6
 14. Kim Larsen, SVP Business Data Science at WHOOP // GAM: The Predictive Modeling Silver Bullet, 2015. – p. 1-2
 15. Павлов О.А., Гавриленко О.В., Рибачук Л.В., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» // Навчальний посібник з дисципліни «Теорія ймовірностей, імовірнісні процеси та математична статистика». Курс лекцій. Частина 1 для студентів спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології», – Київ: КПІ, 2021. – 121 с. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/41672/3/Posibnyk_Pavlov-Havrylenko-Rybachuk_KonspLek-1.pdf

ДОДАТОК А. ЛІСТИНГ ЧАСТИНИ КОДУ ПРОГРАМИ

```

public class RegressionForecast
{
    public static string[] inputColumns = new string[] { "PurchaseOfCashCurrency",
    "PurchaseOfNonCashCurrency", "InflationCurrentYear", "Balance", "PurchaseOfClientsOfBanks",
    "NominalGDP" };
    private int DaysDifference { get; set; }
    private DateTime StartDay { get; set; }
    private MLContext MLContext { get; set; }
    private ITransformer Model { get; set; }
    private bool IsReteachDataset { get; set; }

    public List<ExchangeRateItem> TestingData { get; set; }
    public RegressionForecast(TrainAlgorithm algorithm)
    {
        MLContext = new MLContext(seed: 0);
        FilePaths.TrainAlgorithm = algorithm;
        Model = Train(MLContext);
        TestingData =
File.ReadLines(FilePaths.ReggressionTestingDataPath).Take(101).Skip(1).Select(line => new
ExchangeRateItem(line)).ToList();
    }

    public RegressionForecast()
    {
        MLContext = new MLContext(seed: 0);
        Model = Train(MLContext, FilePaths.TrainAlgorithm);
    }

    public RegressionForecast(TrainAlgorithm algorithm, bool isReteached)
    {
        IsReteachDataset = isReteached;
        FilePaths.TrainAlgorithm = algorithm;
        MLContext = new MLContext(seed: 0);
        TestingData =
File.ReadLines(FilePaths.ReggressionTestingDataPath).Take(101).Skip(1).Select(line => new
ExchangeRateItem(line)).ToList();
        Model = Train(MLContext);
    }

    public void SetData(int difference, DateTime start)
    {
        DaysDifference = difference;
        StartDay = start;
    }

    ITransformer Train(MLContext mlContext)
    {
        var modelPath = !IsReteachDataset ? FilePaths.ReggressionModelPath :
FilePaths.ReggressionModelPathCopy;
        ITransformer modelCopy;
        using (var file = File.OpenRead(modelPath))
            modelCopy = mlContext.Model.Load(file, out DataViewSchema schema);

        return modelCopy;
    }
}

```



```

        return fastTreeTweediePipeline.Fit(dataView);
    case TrainAlgorithm.Sdca:
        var sdcaPipeline = mlContext.Transforms.CopyColumns(outputColumnName: "Label",
inputColumnName: "OfficialExchangeRate")
            .Append(mlContext.Transforms.Concatenate("Features", inputColumns))
            .Append(mlContext.Transforms.NormalizeMinMax("Features"))
            .Append(mlContext.Regression.Trainers.Sdca(maximumNumberOfIterations:
500, lossFunction: new SquaredLoss()));
        return sdcaPipeline.Fit(dataView);
    default:
        return null;
    }
}

public double[] EvaluateAccuracy(List<float> forecastValues)
{
    double[] accuracy = new double[100];
    for (int i = 0; i < 100; i++)
    {
        var data = TestingData.Take(i + 1).ToList();
        var difference = 0.0;
        for (int j = 0; j < data.Count; j++)
        {
            difference += (Math.Abs(forecastValues[j] - data[j].OfficialExchangeRate) /
data[j].OfficialExchangeRate);
        }
        accuracy[i] = Math.Round((difference / data.Count) * 100, 4);
    }
    return accuracy;
}

public double EvaluateRMSEAccuracy(List<float> forecastValues)
{
    double accuracy = 0.0;
    var data = TestingData.Take(100).ToList();
    var avgValue = forecastValues.ToList().Average();
    for (int i = 0; i < data.Count(); i++)
    {
        accuracy += Math.Pow(forecastValues[i] - data[i].OfficialExchangeRate, 2);
    }
    return Math.Round(Math.Sqrt(accuracy / data.Count()) * 100 / avgValue, 6);
}

public double[] CountDeviations(List<float> forecastValues)
{
    double[] deviations = new double[forecastValues.Count];
    for (int i = 0; i < forecastValues.Count; i++)
    {
        deviations[i] = Math.Round(Math.Abs((forecastValues[i] -
TestingData[i].OfficialExchangeRate) * 100 / TestingData[i].OfficialExchangeRate), 5);
    }
    return deviations;
}

public List<float> Forecast(int amountOfPoints, List<float> purchaseOfCashCurrencyValues,
List<float> purchaseOfNonCashCurrencyValues,
List<float> realGDPValues, List<float> nominalGDPValues, List<float>
balanceValues, List<float> inflationValues,
List<float> purchaseOfClientsOfBanksValues, List<float>
saleNonCashCurrencyValues, List<float> saleCashCurrencyValues,

```

```

        List<float> netInternationalReservesValues)
    {
        var results = new List<float>();
        var predictionFunction = MLContext.Model.CreatePredictionEngine<ExchangeRateItem,
ExchangeRatePrediction>(Model);
        var dateMonth = StartDay.Month;
        var date = StartDay;
        var index = 0;
        var inflation = inflationValues.Count > 0 ? inflationValues[index] : 0;
        var purchaseOfClientsOfBanks = purchaseOfClientsOfBanksValues.Count > 0 ?
purchaseOfClientsOfBanksValues[index] : 0;
        var netInternationalReserves = netInternationalReservesValues.Count > 0 ?
netInternationalReservesValues[index] : 0;
        var realGDP = realGDPValues.Count > 0 ? realGDPValues[index] : 0;
        var nominalGDP = nominalGDPValues.Count > 0 ? nominalGDPValues[index] : 0;
        for (int i = DaysDifference; i < amountOfPoints; i++)
        {
            if (date.Month != dateMonth)
            {
                index++;
                dateMonth = date.Month;
                inflation = inflationValues.Count > 0 ? inflationValues[index] : 0;
                purchaseOfClientsOfBanks = purchaseOfClientsOfBanksValues.Count > 0 ?
purchaseOfClientsOfBanksValues[index] : 0;
                netInternationalReserves = netInternationalReservesValues.Count > 0 ?
netInternationalReservesValues[index] : 0;
                realGDP = realGDPValues.Count > 0 ? realGDPValues[index] : 0;
                nominalGDP = nominalGDPValues.Count > 0 ? nominalGDPValues[index] : 0;
            }
            var data = new ExchangeRateItem()
            {
                PurchaseOfCashCurrency = purchaseOfCashCurrencyValues.Count > 0 ?
purchaseOfCashCurrencyValues[i] : 0,
                PurchaseOfNonCashCurrency = purchaseOfNonCashCurrencyValues.Count > 0 ?
purchaseOfNonCashCurrencyValues[i] : 0,
                SaleOfNonCashCurrency = saleNonCashCurrencyValues.Count > 0 ?
saleNonCashCurrencyValues[i] : 0,
                SaleOfCashCurrency = saleCashCurrencyValues.Count > 0 ?
saleCashCurrencyValues[i] : 0,
                RealGDP = realGDP,
                NominalGDP = nominalGDP,
                Balance = balanceValues.Count > 0 ? balanceValues[i] : 0,
                InflationCurrentYear = inflation,
                PurchaseOfClientsOfBanks = purchaseOfClientsOfBanks,
                NetInternationalReserves = netInternationalReserves
            };
            date = date.AddDays(1);
            results.Add(predictionFunction.Predict(data).OfficialExchangeRate);
        }

        return results;
    }

    public List<float> Forecast(int amountOfPoints, List<double> purchaseOfCashCurrencyValues,
List<double> purchaseOfNonCashCurrencyValues,
        List<double> realGDPValues, List<double> nominalGDPValues,
List<double> balanceValues, List<double> inflationValues,
        List<double> purchaseOfClientsOfBanksValues, List<double>
saleNonCashCurrencyValues, List<double> saleCashCurrencyValues,

```

```

        List<double> netInternationalReservesValues)
    {
        var results = new List<float>();
        var predictionFunction = MLContext.Model.CreatePredictionEngine<ExchangeRateItem,
ExchangeRatePrediction>(Model);
        var dateMonth = StartDay.Month;
        var date = StartDay;
        var index = 0;
        var inflation = inflationValues.Count > 0 ? inflationValues[index] : 0;
        var purchaseOfClientsOfBanks = purchaseOfClientsOfBanksValues.Count > 0 ?
purchaseOfClientsOfBanksValues[index] : 0;
        var netInternationalReserves = netInternationalReservesValues.Count > 0 ?
netInternationalReservesValues[index] : 0;
        var realGDP = realGDPValues.Count > 0 ? realGDPValues[index] : 0;
        var nominalGDP = nominalGDPValues.Count > 0 ? nominalGDPValues[index] : 0;
        for (int i = DaysDifference; i < amountOfPoints; i++)
        {
            if (date.Month != dateMonth)
            {
                index++;
                dateMonth = date.Month;
                inflation = inflationValues.Count > 0 ? inflationValues[index] : 0;
                purchaseOfClientsOfBanks = purchaseOfClientsOfBanksValues.Count > 0 ?
purchaseOfClientsOfBanksValues[index] : 0;
                netInternationalReserves = netInternationalReservesValues.Count > 0 ?
netInternationalReservesValues[index] : 0;
                realGDP = realGDPValues.Count > 0 ? realGDPValues[index] : 0;
                nominalGDP = nominalGDPValues.Count > 0 ? nominalGDPValues[index] : 0;
            }
            var data = new ExchangeRateItem()
            {
                PurchaseOfCashCurrency = purchaseOfCashCurrencyValues.Count > 0 ?
(float)purchaseOfCashCurrencyValues[i] : 0,
                PurchaseOfNonCashCurrency = purchaseOfNonCashCurrencyValues.Count > 0 ?
(float)purchaseOfNonCashCurrencyValues[i] : 0,
                SaleOfNonCashCurrency = saleNonCashCurrencyValues.Count > 0 ?
(float)saleNonCashCurrencyValues[i] : 0,
                SaleOfCashCurrency = saleCashCurrencyValues.Count > 0 ?
(float)saleCashCurrencyValues[i] : 0,
                RealGDP = (float)realGDP,
                NominalGDP = (float)nominalGDP,
                Balance = balanceValues.Count > 0 ? (float)balanceValues[i] : 0,
                InflationCurrentYear = (float)inflation,
                PurchaseOfClientsOfBanks = (float)purchaseOfClientsOfBanks,
                NetInternationalReserves = (float)netInternationalReserves
            };
            date = date.AddDays(1);
            results.Add(predictionFunction.Predict(data).OfficialExchangeRate);
        }
        return results;
    }
}

public class ARIMAForecast
{
    public double[] Forecast(ValueForForecast valueForForecast, int amountOfPoints)
    {
        double[] trainData = FilePaths.GetTrainData(valueForForecast);
    }
}

```

```

    ArimaModel model = GetArimaModel(valueForForecast, trainData);
    model.EstimateMean = true;

    model.Compute();

    return model.Forecast(amountOfPoints).ToArray();
}

public ArimaModel GetArimaModel(ValueForForecast valueForForecast, double[] history)
{
    switch (valueForForecast)
    {
        case ValueForForecast.PurchaseOfCashCurrency:
            return new ArimaModel(history, 0, 1, 26);
        case ValueForForecast.PurchaseOfNonCashCurrency:
        case ValueForForecast.SaleOfNonCashCurrency:
        case ValueForForecast.SaleOfCashCurrency:
            return new ArimaModel(history, 0, 1, 30);
        case ValueForForecast.Balance:
            return new ArimaModel(history, 0, 1, 28);
        case ValueForForecast.RealGDP:
        case ValueForForecast.NominalGDP:
            return new ArimaModel(history, 0, 1, 7);
        case ValueForForecast.InflationCurrentYear:
        case ValueForForecast.PurchaseOfClientsOfBanks:
        case ValueForForecast.NetInternationalReserves:
            return new ArimaModel(history, 0, 1, 8);
        default:
            return null;
    }
}
}

public class ExponentialSmoothingForecast
{
    public double[] Forecast(ValueForForecast valueForForecast, int amountOfPoints)
    {
        Vector<double> trainData = Vector.Create(FilePaths.GetTrainData(valueForForecast));
        var model = new ExponentialSmoothingModel(trainData, ExponentialSmoothingMethod.Double);

        switch (valueForForecast)
        {
            case ValueForForecast.PurchaseOfCashCurrency:
            case ValueForForecast.SaleOfCashCurrency:
            case ValueForForecast.Balance:
                model.TrendEstimator = ExponentialSmoothingTrendEstimator.Initial;
                break;
            case ValueForForecast.PurchaseOfNonCashCurrency:
            case ValueForForecast.SaleOfNonCashCurrency:
            case ValueForForecast.NominalGDP:
                model.TrendEstimator = ExponentialSmoothingTrendEstimator.Complete;
                break;
            case ValueForForecast.RealGDP:
            case ValueForForecast.InflationCurrentYear:
            case ValueForForecast.PurchaseOfClientsOfBanks:
            case ValueForForecast.NetInternationalReserves:
                model.TrendEstimator = ExponentialSmoothingTrendEstimator.Initial3;
                break;
            default:
                break;
        }
    }
}

```

```

    }

    model.Fit();

    return model.Forecast(amountOfPoints).ToArray();
}
}

public class ChiCriteriaReport
{
    public double HiApproximates { get; set; }
    public List<double> Ni { get; set; } = new List<double>();
    public List<double> Xi { get; set; } = new List<double>();
    public List<double> Fi { get; set; } = new List<double>();
    public double Forecast { get; set; }
    public string Suffix { get; set; }
    public ChiCriteriaReport (StableCurrency currency)
    {
        var N = 6115;
        var columnIndex = FilePaths.StableCurrencyIndex(currency);
        var path = FilePaths.StableCurrenciesExchangeRates;
        var ratesList = File.ReadLines(path).Skip(1).Take(N)
            .Select(line => new StableCurrencyExchangeRate(line, columnIndex))
            .Select(x => Math.Round(x.OfficialExchangeRate, 3))
            .ToList().OrderBy(x => x);

        var amount = ratesList.Count();
        var min = ratesList.Min();
        var max = ratesList.Max();
        var xiAvg = new List<double>();
        var ui = new List<double>();
        var phi = new List<double>();
        var hi = new List<double>();
        var niDash = new List<double>();
        var niDashForHi = new List<double>();
        var indices = new List<int>();
        var xAvg = ratesList.Sum(x => x) / amount;
        var ratesListDistinct = ratesList.Distinct().Select(x => (double)x).ToList();
        var distinctCount = ratesListDistinct.Count();
        var sigma = 0.00;
        Xi = ratesListDistinct;
        hi.Add(Xi[1] - Xi[0]);
        for (int i = 0; i < distinctCount; i++)
        {
            Ni.Add(ratesList.Where(x => x == ratesListDistinct[i]).Count());
            sigma += (Math.Pow(Xi[i] - xAvg, 2) * Ni[i]);
            if (i != 0)
            {
                hi.Add(Xi[i] - Xi[i - 1]);
            }
        }
        sigma /= amount;
        sigma = Math.Sqrt(sigma);
        var e = 2.7182818284;
        for (int i = 0; i < Ni.Count(); i++)
        {
            ui.Add((Xi[i] - xAvg) / sigma);
            phi.Add(Math.Pow(e, -(Math.Pow(ui.Last(), 2)) / 2) / Math.Sqrt(2 * Math.PI));
            niDash.Add(amount * hi[i] * phi.Last() / sigma);
            Fi.Add(Math.Pow(e, -Math.Pow(Xi[i] - xAvg, 2) / (2 * Math.Pow(sigma, 2))) / (sigma *
Math.Sqrt(2 * Math.PI)));

```

```

    }

    foreach (var index in indices)
    {
        niDash.RemoveAt(index);
    }
    for (int i = 0; i < Ni.Count(); i++)
    {
        niDashForHi.Add(Math.Pow(Ni[i] - niDash[i], 2) / niDash[i]);
    }

    HiApproximates = niDashForHi.Sum(x => x);
    var maxIndex = Fi.IndexOf(Fi.Max());
    Forecast = Xi[maxIndex];
}
}

public class SSAForecast
{
    private List<ExchangeRate> ExchangeRateData { get; set; }
    private List<ForeignExchangePurchaseSaleTransaction>
ForeignExchangePurchaseSaleTransactionData { get; set; }
    private IDataView DataView { get; set; }
    private MLContext MLContext { get; set; }
    private int TrainSize { get; set; }
    private ValueForForecast ValueForForecast { get; set; }

    public SSAForecast(ValueForForecast valueForForecast, Currency currency = Currency.Dollar)
    {
        MLContext = new MLContext(seed: 0);
        ValueForForecast = valueForForecast;
        FilePaths.ValueForForecast = valueForForecast;

        switch (valueForForecast)
        {
            case ValueForForecast.ExchangeRate:
                var exchangeRateData =
File.ReadLines(FilePaths.CurrencyExchangeRatePath).Skip(1).Select(line => new
ExchangeRate(line)).ToList();
                TrainSize = exchangeRateData.Count;
                DataView = MLContext.Data.LoadFromEnumerable(exchangeRateData);
                break;
            case ValueForForecast.PurchaseOfCashCurrency:
            case ValueForForecast.PurchaseOfNonCashCurrency:
            case ValueForForecast.SaleOfNonCashCurrency:
            case ValueForForecast.Balance:
            case ValueForForecast.SaleOfCashCurrency:
                var foreignExchangePurchaseData = FilePaths.GetForeignExchangeData();
                DataView = MLContext.Data.LoadFromEnumerable(foreignExchangePurchaseData);
                TrainSize = foreignExchangePurchaseData.Count;
                break;
            case ValueForForecast.RealGDP:
            case ValueForForecast.NominalGDP:
                var gdpData = FilePaths.GetGDPData();
                DataView = MLContext.Data.LoadFromEnumerable(gdpData);
                TrainSize = gdpData.Count;
                break;
            case ValueForForecast.InflationCurrentYear:
                var inflationData = FilePaths.GetInflationIndicesData();
                DataView = MLContext.Data.LoadFromEnumerable(inflationData);

```

```

        TrainSize = inflationData.Count;
        break;
    case ValueForForecast.PurchaseOfClientsOfBanks:
        var nonCashData = FilePaths.GetNonCashExchangeRates();
        DataView = MLContext.Data.LoadFromEnumerable(nonCashData);
        TrainSize = nonCashData.Count;
        break;
    case ValueForForecast.NetInternationalReserves:
        var internationalReserves = FilePaths.GetDynamicsOfInternationalReserves();
        DataView = MLContext.Data.LoadFromEnumerable(internationalReserves);
        TrainSize = internationalReserves.Count;
        break;
    default:
        break;
    }
}

public void Train()
{
    string inputColumnName = string.Empty;
    int windowsSize = 5;
    int seriesLength = 12;

    switch (ValueForForecast)
    {
        case ValueForForecast.ExchangeRate:
            inputColumnName = nameof(ExchangeRate.OfficialExchangeRate);
            windowsSize = 7;
            seriesLength = 30;
            break;
        case ValueForForecast.PurchaseOfCashCurrency:
            inputColumnName =
nameof(ForeignExchangePurchaseSaleTransaction.PurchaseOfCashCurrency);
            windowsSize = 3;
            seriesLength = 30;
            break;
        case ValueForForecast.SaleOfCashCurrency:
            inputColumnName =
nameof(ForeignExchangePurchaseSaleTransaction.SaleOfCashCurrency);
            windowsSize = 7;
            seriesLength = 30;
            break;
        case ValueForForecast.PurchaseOfNonCashCurrency:
            inputColumnName =
nameof(ForeignExchangePurchaseSaleTransaction.PurchaseOfNonCashCurrency);
            windowsSize = 7;
            seriesLength = 30;
            break;
        case ValueForForecast.SaleOfNonCashCurrency:
            inputColumnName =
nameof(ForeignExchangePurchaseSaleTransaction.SaleOfNonCashCurrency);
            windowsSize = 7;
            seriesLength = 30;
            break;
        case ValueForForecast.Balance:
            inputColumnName = nameof(ForeignExchangePurchaseSaleTransaction.Balance);
            windowsSize = 3;
            seriesLength = 30;
            break;
        case ValueForForecast.RealGDP:

```

```

        inputColumnName = nameof(GDP.RealGDP);
        windowsSize = 3;
        break;
    case ValueForForecast.NominalGDP:
        inputColumnName = nameof(GDP.NominalGDP);
        windowsSize = 3;
        break;
    case ValueForForecast.InflationCurrentYear:
        inputColumnName = nameof(InflationIndex.InflationCurrentYear);
        windowsSize = 2;
        break;
    case ValueForForecast.PurchaseOfClientsOfBanks:
        inputColumnName = nameof(NonCashExchangeRate.PurchaseOfClientsOfBanks);
        windowsSize = 5;
        break;
    case ValueForForecast.NetInternationalReserves:
        inputColumnName =
nameof(DynamicsOfInternationalReserves.NetInternationalReserves);
        windowsSize = 5;
        break;
    default:
        break;
}

    var outputColumnName = nameof(SSAPrediction.ForecastValues);
    var forecastingPipeline = MLContext.Forecasting.ForecastBySsa(outputColumnName:
outputColumnName,
                                                                    inputColumnName:
inputColumnName,
                                                                    windowSize: windowsSize,
                                                                    seriesLength:
seriesLength,
                                                                    trainSize: TrainSize,
                                                                    horizon: 7,
                                                                    confidenceLevel: 0.99f);

    SsaForecastingTransformer forecaster = forecastingPipeline.Fit(DataView);
}

public float[] Forecast(int amountOfPoints, ValueForForecast valueForForecast)
{
    ITransformer model;
    using (var file = File.OpenRead(FilePaths.GetSSAModelPath(valueForForecast)))
        model = MLContext.Model.Load(file, out DataViewSchema schema);

    var forecastEngine = model.CreateTimeSeriesEngine<ExchangeRateItem,
SSAPrediction>(MLContext);
    var forecast = forecastEngine.Predict(amountOfPoints);

    return forecast.ForecastValues;
}

void Evaluate(MLContext mlContext, ITransformer model, ValueForForecast valueForForecast)
{
    IDataView testData =
mlContext.Data.LoadFromTextFile<SSATest>(FilePaths.SSATestingDataPath, hasHeader: true,
separatorChar: ',');
    IDataView predictions = model.Transform(testData);
}

```

```

IEnumerable<float> actual = new List<float>();

switch (valueForForecast)
{
    case ValueForForecast.ExchangeRate:
        actual = mlContext.Data.CreateEnumerable<SSATest>(testData,
true).Select(observed => observed.OfficialExchangeRate);
        break;
    case ValueForForecast.PurchaseOfCashCurrency:
        actual = mlContext.Data.CreateEnumerable<SSATest>(testData,
true).Select(observed => observed.PurchaseOfCashCurrency);
        break;
    case ValueForForecast.PurchaseOfNonCashCurrency:
        actual = mlContext.Data.CreateEnumerable<SSATest>(testData,
true).Select(observed => observed.PurchaseOfNonCashCurrency);
        break;
    case ValueForForecast.SaleOfNonCashCurrency:
        actual = mlContext.Data.CreateEnumerable<SSATest>(testData,
true).Select(observed => observed.SaleOfNonCashCurrency);
        break;
    case ValueForForecast.Balance:
        actual = mlContext.Data.CreateEnumerable<SSATest>(testData,
true).Select(observed => observed.Balance);
        break;
    case ValueForForecast.InflationCurrentYear:
        actual = mlContext.Data.CreateEnumerable<SSATest>(testData,
true).Select(observed => observed.InflationCurrentYear);
        break;
    case ValueForForecast.PurchaseOfClientsOfBanks:
        actual = mlContext.Data.CreateEnumerable<SSATest>(testData,
true).Select(observed => observed.PurchaseOfClientsOfBanks);
        break;
    default:
        actual = null;
        break;
}

if (actual == null)
{
    return;
}

IEnumerable<float> forecast =
mlContext.Data.CreateEnumerable<SSAPrediction>(predictions, true).Select(prediction =>
prediction.ForecastValues[0]);
var metrics = actual.Zip(forecast, (actualValue, forecastValue) => actualValue -
forecastValue);
var MAE = metrics.Average(error => Math.Abs(error));
var RMSE = Math.Sqrt(metrics.Average(error => Math.Pow(error, 2)));
Console.WriteLine();
Console.WriteLine($"*****");
Console.WriteLine($"*           Model quality metrics evaluation           *");
Console.WriteLine($"*-----");
Console.WriteLine($"*           Mean Absolute Error: {MAE:F3}");
Console.WriteLine($"*           Root Mean Squared Error: {RMSE:F3}\n");
}
}

```