

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Острозька академія»
Економічний факультет
Кафедра економіко-математичного моделювання та інформаційних технологій

Кваліфікаційна робота

на здобуття освітнього ступеня магістра

на тему: **«Моделювання валютного курсу
економіко-математичними методами»**

Виконав:

студент 2 курсу, групи МЕК-61
спеціальності 051 «Економіка»
освітньо-професійної програми «Економічна кібернетика»
другого (магістерського) рівня вищої освіти
Мельник Остап Іванович

Керівник: кандидат економічних наук, доцент
Новоселецький Олександр Миколайович

Рецензент:

Front-end Developer “DOODLE”, LLC
Місай Володимир Віталійович

"РОБОТА ДОПУЩЕНА ДО ЗАХИСТУ"

Завідувач кафедри економіко-математичного моделювання
та інформаційних технологій _____ (проф. Ольга КРИВИЦЬКА)
(підпис)

Протокол № 5 від 24 листопада 2022 р.

Острог, 2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОСТРОЗЬКА АКАДЕМІЯ»

Економічний факультет
Кафедра економіко-математичного моделювання та інформаційних технологій
Спеціальність 051 «Економіка»
Освітньо-професійна програма «Економічна кібернетика»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
економіко-математичного
моделювання та інформаційних
технологій

проф., д.е.н. Ольга КРИВИЦЬКА
“ _____ ” _____ 202__ року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТА**

Мельника Остапа Івановича

1. Тема роботи: **Моделювання валютного курсу економіко-математичними методами**

керівник роботи: *Новоселецький Олександр Миколайович, кандидат економічних наук, доцент*

затверджено наказом ректора Національного Університету «Острозька академія» від 29 жовтня 2021 р. №110

2. Термін здачі студентом закінченої роботи на кафедрі: *09 грудня 2022 року*

3. Вихідні дані до роботи: *науково-публіцистичні праці з досліджуваної проблематики вітчизняних та зарубіжних вчених, програмна документація до бібліотек “forecas”, “nnfor” мови програмування R, дані про обмінний курс євро, швейцарського франку, японської єни та британського фунту по відношенню до долара США із сайту Investing.com, постанови НБУ щодо валютного регулювання.*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): *1) теоретико-методологічні засади функціонування валютного ринку; 2) економіко-математичні підходи до аналізу та прогнозування валютних курсів; 3) прикладні аспекти прогнозування курсу основних резервних валют та порівняльний аналіз якості найбільш використовуваних методів та моделей.*

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень): *графічна візуалізація етапів побудови моделей та прогнозування курсу основних резервних валют: дослідження часових рядів на стаціонарність та присутність у ньому трендової та сезонної складової, перевірка на присутність автокореляції та*

часткової автокореляції між залишками побудованих ARIMA та SARIMA моделей, графічний вигляд побудованих нейронних мереж, результати прогнозування на основі побудованих моделей.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Новоселецький Олександр Миколайович, декан економічного факультету, кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри економіко-математичного моделювання та інформаційних технологій Національного університету «Острозька академія»	08.02.2022	08.02.2022
Розділ 2	Новоселецький Олександр Миколайович, декан економічного факультету, кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри економіко-математичного моделювання та інформаційних технологій Національного університету «Острозька академія»	16.05.2022	16.05.2022
Розділ 3	Новоселецький Олександр Миколайович, декан економічного факультету, кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри економіко-математичного моделювання та інформаційних технологій Національного університету «Острозька академія»	24.06.2022	24.06.2022

7. Дата видачі завдання: 01 листопада 2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вивчення літератури	до 07.02.2022	
2.	Розробка змісту (плану)	до 15.03.2022	
3.	Ознайомлення керівника з текстом кваліфікаційної роботи (чорновий варіант):		
3.1	Розділ 1	до 19.05.2022	
3.2	Розділ 2	до 09.06.2022	
3.3	Розділ 3	до 10.11.2022	
4.	Ознайомлення керівника з текстом кваліфікаційної роботи із врахуванням зауважень	до 20.11.2022	
5.	Попередній захист кваліфікаційної роботи	до 23.11.2022	
6.	Рецензування кваліфікаційної роботи	до 09.12.2022	
7.	Здача роботи на кафедру Реєстрація на Moodle	до 09.12.2022	

Студент _____ Остап МЕЛЬНИК

Керівник роботи _____ Олександр НОВОСЕЛЕЦЬКИЙ

АНОТАЦІЯ
кваліфікаційної роботи
на здобуття освітнього ступеня магістра

Тема: «Моделювання валютного курсу економіко-математичними методами»

Автор: Мельник Остап Іванович

Науковий керівник: кандидат економічних наук, доцент Новоселецький Олександр Миколайович

Захищена «.....».....2022 року.

Короткий зміст праці: *Кваліфікаційна робота присвячена систематизації знань щодо методів та моделей прогнозування валютних курсів шляхом аналізу існуючих підходів та порівняння якості використання адаптивних методів та моделей, авторегресійних моделей та нейронних мереж для прогнозування курсу основних резервних валют: EUR/USD, GDB/USD, CHF/USD, JPY/USD.*

У першому розділі здійснено опис сутності поняття валюти, валютного ринку, валютних операцій та способів формування цін на валютному ринку. Охарактеризовано основних учасників валютного ринку та інструментарій взаємодії останніх з ним.

Другий розділ присвячений аналізу основних підходів до прогнозування курсу валют на валютному ринку. Описано сутність технічного та фундаментального аналізу. Розглянути основні принципи використання адаптивних методів та моделей, авторегресійних моделей та нейронних мереж у прогнозуванні курсу валют, описані основні проблеми з якими можуть зіткнутись дослідники у процесі їх використання.

У третьому розділі здійснено побудову прогнозних моделей на основі: адаптивних методів Брауна, Хольта, Хольта-Вінтерса, авторегресійних моделей ARIMA та SARIMA, MLP та ELM нейронних мереж. Здійснено їх порівняльний аналіз. Описано основні недоліки використовуваних методів та моделей.

Ключові слова: *курс валют, валютний ринок, прогнозні моделі, порівняльний аналіз, ARIMA, SARIMA, метод Хольта, метод Брауна, метод Хольта-Вінтерса, MLP, ELM, часовий ряд.*

_____ *Остап МЕЛЬНИК*

ANNOTATION
qualification work
to obtain a master's degree

Topic: «**Economic and mathematical tools for predicting the currency exchange rate**»

Author: Ostap Melnyk

Academic supervisor: candidate of economic sciences, associate professor
Oleksander Novoseletskyy

Protected by ".....".....2022.

Summary of the work: *Qualification work is devoted to the systematization of knowledge on methods and models for forecasting exchange rates by analyzing existing approaches and comparing the quality of application of adaptive methods and models, autoregressive models and neural networks for forecasting exchange rates of the main reserve currencies: EUR/USD, GDB/USD, CHF/USD, JPY/USD.*

The first section describes the essence of the concept of currency, currency market, foreign exchange transactions and pricing methods at the currency market. The key participants of the currency market and the tools used for interaction between the key participants and the market are described.

The second section deals with the analysis of the main approaches to forecasting exchange rates at the currency market. The essence of technical and fundamental analysis is described here. This section reviews the basic principles of the application of adaptive methods and models, autoregressive models and neural networks for forecasting exchange rates, and describes the main problems that researchers may face during their use.

The third section deals with developing forecast models based on: adaptive methods of Brown, Holt, Holt-Winters, autoregressive models of ARIMA and SARIMA, MLP and ELM neural networks. The section presents performed comparative analysis, as well as key weaknesses of the methods and models applied.

Keywords: *exchange rate, currency market, forecast models, comparative analysis, ARIMA, SARIMA, Holt method, Brown method, Holt-Winters method, MLP, ELM, time series.*

_____ Ostap MELNYK

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВАЛЮТНОГО РИНКУ	6
1.1. Валютний ринок, валюта та її види, поняття валютного курсу	6
1.2. Основні чинники, що впливають на формування цін на валютному ринку	18
1.3. Інструменти взаємодії з валютним ринком різних суб'єктів	26
РОЗДІЛ 2. ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНІ ПІДХОДИ ДО АНАЛІЗУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ВАЛЮТНИХ КУРСІВ	37
2.1. Методи аналізу валютного ринку. Принципи їх використання	37
2.2. Адаптивні методи та моделі прогнозування цін на валютному ринку	42
2.3. Авторегресійні моделі як засіб прогнозування обмінного курсу валют	49
2.4. Використання нейронних мереж у прогнозуванні валютного курсу	53
РОЗДІЛ 3. ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ПРОГНОЗУВАННЯ КУРСУ ОСНОВНИХ РЕЗЕРВНИХ ВАЛЮТ ТА ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЯКОСТІ НАЙБІЛЬШ ВИКОРИСТОВУВАНИХ МЕТОДІВ ТА МОДЕЛЕЙ	60
3.1. Прогнозування курсу валют на основі адаптивних та авторегресійних методів і моделей	60
3.2. Побудова нейронних мереж для прогнозування обмінного курсу	96
3.3. Порівняльний аналіз побудованих прогнозних моделей курсу валют	112
ВИСНОВКИ	117
ДОДАТКИ	127

ВСТУП

Актуальність дослідження. Валютні курси – це одна із найважливіших складових системи міжнародних економічних відносин, без надійних результатів прогнозування яких виникає неможливість правильного оцінювання результатів зовнішньоекономічної діяльності. Це може призвести до проблем в зовнішній економіці та негативно вплинути на експортерів та імпортерів.

Прогнозування курсу національної валюти є важливим аспектом планування дохідної та витратної частин бюджету. Курс національної валюти є одним з основних прогнозованих показників, який закріплюється в державному бюджеті України. Неправильне прогнозування курсу валют в результаті може спричинити проблеми недофінансування видаткової частини бюджету, що призведе до необхідності залучення додаткових коштів для покриття дефіциту державного бюджету.

Саме на основі прогнозованих показників курсу національної валюти розробляється ефективна валютна та податкова політики держави, які спрямована на захист економічних інтересів країни.

Також, ефективне прогнозування валютних коливань та зміни курсу національної валюти необхідне і для підприємств, особливо для тих, які займаються експортною чи імпортною діяльністю, оскільки від цього залежать їхній прибуток. Саме на основі прогнозування валютних курсів та можливих їх змін формується цінова політика компаній. Адже компанії вкладають валютні ризики в ціну експортованої продукції, і якщо ці ризики невірно прогнозовані, виникатиме ситуація недоотримання прибутків або встановлення завищених цін у порівнянні з конкурентами, що в результаті негативно відобразиться на діяльності компаній. Це ж стосується і компаній імпортерів.

Тому валютний курс є одним з основних прогнозованих показників в економіці на різних її рівнях.

Наукова проблема дослідження. Для прогнозування економічних явищ використовуються різні методи й моделі. Вони доволі швидко розвиваються. З'являються нові, які в більшості випадків є модифікаціями існуючих методів. Частина з них інтегрується для прогнозування окремих явищ. Тому існує потреба в систематизації знань про вже існуючі методи та моделі, що використовуються для прогнозування саме курсу валют, та порівнянні якості їх використання для визначених валютних пар.

Стан наукової розробки теми дослідження Питання прогнозування курсу валют висвітлення у працях багатьох дослідників. Зокрема, Аль-Гунмейн, Р.С., Ісмаїл, М.Т.[1], висвітлили прогнозування курсу валют з використанням моделі ARIMA. Бокса-Дженкінса, Аамат К., Томаш М., Жільс С.[2] описали основи та можливості прогнозування обмінного курсу за допомогою методів машинного навчання; питання прогнозування фінансових часових рядів на основі ШНМ і методів випадкового блукання розглядали Адхікарі Р. та Аграв Р.К.[3]. Прогнозування обмінних курсів в умовах невизначеності параметрів і моделей описали Бекман Дж. і Шюслер Р.[4], прогнозування з використання генетичних алгоритмів описали Чен Ю і Г. Чжан[5]. Також, питання прогнозування валютних курсів в системі управління конкурентоспроможністю підприємств розглядали Сергієнко О.А. і Татар М.С.[6]. Проте, мінливість ринкового середовища, що спричиняє появу нових дестабілізуючих чинників, а також розширення застосування різних математичних методів для прогнозування курсу валют зумовлюють потребу в подальшому дослідженні обраної проблематики.

Мета дослідження. Метою дослідження є систематизація знань щодо методів та моделей прогнозування валютних курсів шляхом аналізу існуючих підходів та порівняння якості використання адаптивних методів і моделей, авторегресійних моделей та нейронних мереж для прогнозування валютних пар: EUR/USD, GDB/USD, CHF/USD, JPY/USD.

Для досягнення поставленої мети потрібно виконати ряд **завдань:**

- 1) Описати поняття валюти, валютного ринку, валютних операцій та способи формування цін на валютному ринку;
- 2) Охарактеризувати основних учасників валютного ринку та інструментарій взаємодії останніх з ним;
- 3) Проаналізувати основні підходи до прогнозування обмінних курсів;
- 4) Описати використання адаптивних методів і моделей, авторегресійних моделей та нейронних мереж у прогнозуванні курсу валют;
- 5) Побудувати адаптивні моделі, авторегресійні моделі та нейронні мережі для прогнозування визначених валютних пар;
- 6) Здійснити порівняльний аналіз побудованих моделей та обрати кращу для прогнозування окремих валютних пар.

Об'єктом дослідження є обмінний курс основних резервних валют.

Предметом дослідження є сукупність теоретичних, методологічних і прикладних засад прогнозування обмінного курсу валют.

Теоретична основа дослідження. Теоретичною основою дослідження стали праці вчених щодо законів та правил функціонування валютного ринку, праці щодо понять: валютний курс, реальний валютний курс, темп інфляції, стан платіжного балансу, різниця процентних ставок(країн валютної пари), державне регулювання, розвиток фінансового ринку, об'єми торгів, ступінь довіри, міжнародний валютний ринок.

Методи дослідження та їх сутнісна характеристика:

- 1) аналіз, синтез, порівняння, узагальнення, індукції та дедукції – для систематизації існуючих підходів щодо прогнозування курсу валют;
- 2) аналіз та порівняння – для визначення кращої прогнозованої моделі;
- 3) моделювання – для побудови моделей прогнозування курсу валют;
- 4) табличний і графічний – для наочного відображення результатів дослідження.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВАЛЮТНОГО РИНКУ

1.1. Валютний ринок, валюта та її види, поняття валютного курсу

У загальному розумінні валютний ринок – це ринок, на якому іноземна валюта обмінюється на національну валюту. Це найпростіше визначення валютного ринку, яке характеризує основне його призначення даного, а саме обмін валют. Проте, дане визначення не є повним, оскільки характеризує лише одну сторону даного ринку. Тому, що валютний ринок – це не лише операції з обміну, але й система стійких економічних і організаційних відносин щодо купівлі продажу валют [7]. Також слід зазначити, що валютний ринок є частиною фінансового ринку, а тому наслідує його основну функцію – бере участь у перерозподілі фінансових ресурсів між резидентами й нерезидентами різних країн. Тому, враховуючи вищезазначені особливості, можна сказати, що валютний ринок – це сегмент фінансового ринку, на якому відбуваються операції купівлі-продажу(обміну) валютних цінностей, руху капіталу іноземних інвесторів та система відносин, що виникають з цього приводу. Як синонім до визначення валютного ринку часто вживають термін – Forex(foreign exchange market, currency market), особливо це стосується англомовного середовища[8]. В україномовному середовищі ж під цим визначенням розуміють вужчу область, а саме торгівлю валютою через дилінгові центри та комерційні банки, яка ведеться з використанням «кредитного плеча», тобто маржинальною торгівлею валютою. Надалі валютний ринок і Forex вживатимуться як слова синоніми.

Як і будь-який ринок, валютний ринок виконує певні функції, крім функції перерозподілу фінансових активів, яку він наслідує від фінансового ринку як його частини, він також виконує такі функції:

1. Забезпечення виконання міжнародних розрахунків.

2. Забезпечення ефективного функціонування світових кредитних та фінансових ринків.
3. Страхування валютних та кредитних ризиків.
4. Отримання спекулятивного прибутку учасниками ринку у вигляді різниці курсів валют.
5. Визначення валютних курсів.
6. Диверсифікація валютних резервів банків, підприємств, держав.
7. Регулювання економіки[9].

Так функція забезпечення виконання міжнародних розрахунків полягає у тому, що валютний ринок у процесі міжнародних розрахунків виконує конвертацію з валюти однієї країни в іншу, що значно спрощує торгівлю між різними країнами. Це основна функція валютного ринку, і причина його виникнення.

Наступна функція – забезпечення ефективного функціонування світових кредитних та фінансових ринків полягає у тому, що суб'єкти міжнародних економічних відносин мають змогу отримати кредитні кошти за найнижчими ставками у потрібній для них валюті, для фінансування своєї зовнішньоекономічної діяльності.

Функція страхування ризиків полягає у тому, що за допомогою відповідних інструментів(валютні свопи, опціони, форвардні контракти, ф'ючерси) учасники міжнародних економічних відносин уникають валютних ризиків, що часто виникають у процесі їх діяльності.

Функція отримання спекулятивного прибутку пов'язана з тим, що валюти більшості країн світу є доволі волативні(мінливі), тобто їх вартість доволі швидко змінюється. Саме на зміні вартості валютних цінностей і намагаються заробити учасники даного сегменту ринку. Сутність цих спекуляцій полягає у тому, що учасники торгів відривають позицію на валютній біржі на купівлю чи продаж валюти, і якщо їхній прогноз виправдався, то вони отримують прибуток. Але слід розуміти, що валютний ринок є доволі мінливим, а коливання на ньому

залежать від багатьох факторів, в тому числі й не економічних, а тому торгівля на валютних біржах є доволі складним видом діяльності.

Наступна функція – це формування валютних курсів. Сутність цієї функції полягає у тому, що саме на валютному ринку формується ціна валюти шляхом пошуку рівноважної ціни.

Ще однією функцією валютних ринків є диверсифікація валютних резервів, вона полягає у тому, що учасники міжнародних економічних відносин за допомогою розосередження своїх коштів у валютах різних країн страхують себе від зміни валютних курсів.

І остання функція – це регулювання економіки, вона є похідною від функції визначення валютних курсів, саме за допомогою цієї функції відбуваються регулювання активності міжнародних економічних відносин. Цю функцію часто використовують фінансові регулятори різних країн. Так прикладом таких країн є КНР, яка утримує курс власної грошової одиниці – юаня на доволі низькому рівні, щоб забезпечити конкурентоспроможність власних товарів на міжнародному ринку.

Як і інші види ринків валютний ринок має власну структуру, яка включає в себе:

- національні(місцеві) ринки;
- регіональні ринки;
- світовий(міжнародний) ринки.

Вони здебільшого різняться обсягами торгівлі, кількістю валют що продаються та способами їх регуляції.

Національний(місцевий) ринок представлений у вигляді валютного ринку обмеженого економічним простором певної країни. Регулюється він здебільшого місцевим фінансовим регулятором у вигляді національного банку(в Україні НБУ) та національним валютним законодавством.

Наступний рівень – це регіональні валютні ринки, вони сформувались у країнах у яких вплив на формування валютних курсів є мінімальним, або ці

країни виступають у вигляді регіональних економічних лідерів. Розміщуються ці ринки зазвичай у містах, що виступають у ролі міжнародних логістичних центрів, або в яких присутні велика кількість міжнародних банків, транснаціональних компаній тощо. Зокрема, прикладами таких міст виступають: Лондон, Сінгапур, Токіо, Сан-Франциско, Нью-Йорк, Гонконг, Париж, Цюрих, Франкфурт тощо. Всі ці міста є міжнародними або регіональними логістичних та фінансовими центрами, в яких зосереджена значна кількість світових фінансових операцій. Регулювання таких ринків відбувається на основі міжнародних домовленостей.

І останній рівень валютного ринку це світовий або міжнародний валютний ринок. Він виступає у вигляді сукупності регіональних валютних ринків. Оскільки, регіональні валютні ринки розташовані у різних часових поясах, то вони працюють у різні проміжки часу. Так спочатку відкривається азійський(Гонконг, Сінгапур, Токіо) валютний ринок, далі іде європейський(Франкфурт, Париж, Лондон, Цюрих) валютний ринок, і закінчує день північноамериканський(Сан-Франциско, Нью-Йорк) валютний ринок. Тому світовий валютний ринок працює цілодобово, а завдяки розвитку сучасних інформаційних технологій, учасники даного ринку мають змогу здійснювати операцій у будь-який момент часу. Світовий валютний ринок постійно зростає, і причиною цього є нарощування обсягів світової торгівлі, для забезпечення якої й виник даний ринок.

Існують і інші способи класифікації валютних ринків. Так валютні ринки поділяються:

- за місцем розташування: азійський, європейський та північноамериканський валютні ринки;
- за видами операцій: ринок опціонів, ринок ф'ючерсів, ринок касових операцій тощо.
- за характером операцій: ринок конверсійних операцій; ринок депозитно-кредитних операцій;

- за формою валюти, якою торгують: ринок безготівкових операцій, ринок готівки.[10]

Також слід наголосити на тому, що вчені виділяють два сегменти валютного ринку: біржовий ринок та міжбанк. Біржовий ринок представлений у вигляді постійно функціонуючого валютного ринку, який складається з сукупності валютних бірж. В свою чергу міжбанк(позабіржовий ринок) складається із сукупності операцій з обміну іноземної валюти, що здійснюється банками та іншими фінансовими установами без участі посередників.

Враховуючи вищезазначені класифікації валютних ринків та основні функції валютного ринку, можна вивести основні особливості даного сегменту фінансового ринку, а саме:

- операції на валютному ринку відбуваються безперервно, в різних частинах світу;
- техніка валютних операцій повністю уніфікована, тобто всі операції на валютному ринку чітко регламентовані національним законодавством та міжнародними домовленостями;
- валютні курси доволі волативні, що ускладнює їх прогнозування;
- на валютному ринку дуже широко розвинені операції щодо страхування валютних ризиків;
- на валютному ринку відбуваються не лише операції обміну, але й різного роду операції пов'язані з торгівлею валютою.

Основним об'єктом відносин на валютному ринку на думку пересічних громадян виступає валюта. Проте, це не зовсім так. У загальному розумінні валюта – це будь-який товар, що може виконання функцію грошей, як засобу обміну на міжнародній арені. У вузькому значенні – це сукупність грошових знаків та цінних паперів, що можуть виступати у вигляді платіжних інструментів, які негайно можуть бути конвертовані. Тобто високоліквідні активи. Проте, також об'єктом валютних відносин можуть виступати інші боргові та депозитні зобов'язання. Виходячи з цього об'єктом економічних

відносин на валютному ринку виступає не лише валюта, але й інші валютні цінності.

Щодо поняття валюти то його використовують у трьох значеннях: національна валюта, іноземна валюта та міжнародна валюта, хоча інколи в окрему категорію виділяють валюту європейського союзу – євро.

Національна валюта – це законодавчо закріплений платіжний засіб країни, емісійним інститутом якого виступає національний банк. Іноземна валюта – це платіжний засіб інших країн або групи країн. Платіжний засіб групи країн також ще називають регіональним. Ще розрізняють міжнародну валюту, яка виступає у вигляді спеціальних прав запозичення, які є безготівковими коштами, у вигляді записів на спеціальних рахунках МВФ. Емітентом СПЗ виступає як зрозуміло міжнародний валютний фонд.

На основі різних критеріїв виділяють різні види валют.

Так першим видом валюти є резервна валюта. Це валюти, в яких країни зберігають власні міжнародні резервні активи. Зазвичай це доволі стабільні валюти такі як долар, євро, фунт, швейцарський франк, єна. Проте, існують і інші стабільні грошові одиниці інших країн, але ще однією вимогою до резервних валют є те, що вплив на них з боку емісійного інституту має бути мінімальним, тобто ціна на них формується виключно на основі попиту і пропозиції. Також резервні валюти є вільно використовуваними, тобто вони широко використовуються для здійснення платежів. І відсутні будь-які суттєві обмеження на їх використання.

Ще валюти поділяють за режимом застосування:

- вільноконвертована валюта;
- частково конвертована;
- валюта та неконвертована валюта.

Вільноконвертована валюта – це валюта, яка вільно обмінюється на будь-які інші валюти. До вільноконвертованих валют відносять євро та національні валюти більшості розвинутих країн.

Частково конвертована валюта – це валюта, що володіє певними обмеженнями щодо обміну на інші валюти. Причини цього можуть бути як політичні, так і економічні.

Неконвертована валюта – валюта, що не використовується за межами країни емітента.

Існує класифікація за МВФ. Згідно з якою валюти поділяються на:

- конвертовані за поточними операціями;
- конвертовані за капітальними операціями;
- володіти повною конвертованістю[11].

Так конвертовані за поточними операціями валюти не мають обмежень щодо платежів та трансфертів по поточних міжнародних операціях, які пов'язані з торгівлею товарами й послугами та міждержавними переказами доходів та трансфертів. Конвертованість за капітальними операціями полягає у відсутності обмежень на операції пов'язані з рухом капіталу. Прикладами таких операцій виступають прямі та портфельні інвестиції, кредити тощо. Повна конвертованість – це відсутність будь-яких обмежень на конвертацію валюти.

Ще розрізняють валюти за ступенем конвертованості резидентами та нерезидентами країн, або наявності певних обмежень щодо валютних операцій. Так, при внутрішній конвертованості, резиденти країн не мають жодних обмежень на здійснення валютних операцій, водночас нерезиденти мають певні обмеження. Зовнішня конвертованість характеризується наявністю обмежень для резидентів країни.

Щоб забезпечити конвертованість валюти потрібно щоб виконувалось ряд умов:

1. наявність вільного доступу до валют інших держав;
2. наявність єдиного курсу ;
3. валютний курс повинен бути реальним(формуватися на основі попиту і пропозиції, та макроекономічних показників держави);

4. вільний валютний ринок(відсутність обмежень як для резидентів, так і нерезидентів на валютні операції);
5. відсутність обмежень на використання валюти у зовнішньоекономічній діяльності;
6. валюта повинна виконувати всі функції грошової одиниці.

Обмін однієї валюти на іншу відбувається на основі співвідношення вартості однієї валюти до іншої. Тобто скільки потрібно одиниць однієї валюти для того, щоб придбати певну кількість одиниць іншої валюти. Саме таке співвідношення і називають валютним курсом.

Загалом валютний курс – це ціна однієї валюти, виражена в іншій валюті. Є два способи встановлення валютних курсів. Перший – на основі попиту і пропозиції на міжнародному валютному ринку, другий – на основі рішення державних органів влади. Саме на основі цього виділяють різні валютні режими:

- режим фіксованого валютного курсу;
- режим плаваючих валютних курсів.

Режим фіксованого валютного курсу передбачає прив'язку курсу національної валюти до певного валютного кошика, міжнародної грошової одиниці чи валюти іншої країни, або встановлюється на основі певного законодавчого акту. Проте, для забезпечення такої видимості стабільності національний банк змушений здійснювати валютні інтервенції. Під валютними інтервенціями слід розуміти, що національний банк викидає на ринок значні обсяги іноземної валюти шляхом купівлі національно. Така валюта є більш стабільною, проте до того часу, поки у національного банку є фінансові резерви для забезпечення такої стабільності. В Україні в період з 2010-2013 роки теж проводилась така політика, що в результаті призвело до скорочення валютних резервів з 34 576 млн дол. США станом на 31.12.2010 року до 7 533 млн дол. США станом на 31.12.2014 року[12].

Також існує інший спосіб фіксації валюти, а саме на основі певного законодавчого акту встановлюється чітко визначена вартість валюти, при цьому національний банк не здійснює фінансових інтервенцій. На такий крок була змушена піти Україна на початку 2022 року з початком військової агресії Російської Федерації. Проте, така політика довго не протрималась і національний банк поступово відпускає курс національної валюти.

Причинами цього є те, що такий фіксований курс негативно впливає на міжнародну торгівлю. Якщо при фінансових інтервенціях держава намагається впливати на попит шляхом купівлі національної валюти, тобто за фіксацію валютного курсу платить держава своїми резервами, то при другому способі фіксації держава перекладає плату на звичайних громадян та бізнес. Компанії експортери при продажі валюти недотримуються власні кошти, що може призвести до скорочення їх ділової активності, компанії імпортери вкладають валютну різницю та інші валютні ризики у вартість товарів, що в результаті призводить до значного збільшення вартості імпортованої продукції. І якщо таке збільшення перевищує купівельну спроможність громадян, то призводить до скорочення обсягів імпорту продукції, а в результаті, скорочення діяльності компаній-імпортерів. Також це негативно впливає на іноземні компанії, які працюють в країні. По-перше, вони намагатимуться мінімізувати свої інвестиції в такі країни, по-друге, вони втрачатимуть власні прибутки, що призведе до поступового їх виходу із країни.

Прикладом такої фіксації валютного курсу може виступати Російська Федерація, яка закрила всі торги національною валютою і встановила фіксований курс, що в результаті призвело до виходу значної кількості іноземних компаній з ринку країни, значного зростання безробіття, зростання інфляції.

Так більшість компаній офіційно пов'язують вихід, з повномасштабною війною Росії проти України та тиском з боку громадянського суспільства інших країн. Але на фоні цього також відбувається значне зростання цін на продукцію

компаній країн союзників Росії в особливості Китаю(де собівартість виробництва продукції доволі низька, за рахунок дешевої робочої сили, тому вони не покидають ринок, але і не нарощують обсягів торгівлі). Тому, можна стверджувати, що частина компаній намагається отримати певні репутаційні вигоди, на фоні втрати частини ринку, і покладають причину виходу на війну.

Також, прикладом встановлення «окремих» цін для громадян РФ, може виступати гра Hogwarts Legacy. Так для жителів України вартість замовлення гри на платформі цифрової дистрибуції Steam становить 26 дол. США, жителів Китаю 41,13 дол. США, жителів США 60 дол. США, в той час для жителів Росії 162,2 дол. США[13]. Причому, як і компанія розробник, так і компанія дистрибутор, ставиться нейтрально до війни, а отже вони намагаються вкласти у ціну валютні ризики. Хоча, зазвичай для так званого СНД регіону, компанія Valve встановлювала нижчі ціни ніж в інших регіонах.

Вищезазначені приклади свідчать про те, що хоча фіксація валютного курсу дозволяє стабілізувати на короткостроковий термін курс національної валюти, проте в довготривалій перспективі як перший, так і другий спосіб фіксації несе значні фінансові втрати для економіки країни. Причому другий спосіб призводить до її руйнації. Україна теж змушена була зафіксувати курс національної валюти, але національний банк намагається повільно опускати курс, із моменту фіксації відбулося уже декілька таких спроб. Також стабілізувати ситуації допомагають країни-союзники України. Прогнозування курсів валют з фіксованим валютним курсом вкрай проблематичне, оскільки встановлення курсу повністю залежить від національного фінансового регулятора. А тому для прогнозування фіксованих валютних курсів відбувається шляхом аналізу економічної та політичної ситуації в середині країни та визначення сценаріїв можливих дій фінансового регулятора на даному ринку.

Щодо плаваючого валютного режиму, то він передбачає зміну валютного курсу шляхом формування попиту та пропозиції, без втручання фінансового

регулятора. Тобто ціна формується на міжнародному ринку шляхом пошуку рівноважної ціни.

В чистому вигляді обидва режими валютних курсів зустрічаються нечасто. Здебільшого застосовують змішаний режим, або використовують елементи того чи іншого режиму за різних станів економіки.

Міжнародний валютний фонд також виділяє наступні види валютних режимів: режим відсутності національної валюти(країни користуються колективною валютою або валютою іншої держави), режим валютного управління(директивне встановлення валютного курсу), режим прив'язки, режим ковзної фіксації, режим валютного коридору, режим керованого плавання, режим вільного плавання.

Щодо валютних курсів то розрізняють різні види валютних курсів. Так за методом вираження валютних котирувань визначають :

- прямиї;
- непрямий;
- крос-курс;

Так під прямим курсом розуміють вираження одиниці іноземної валюти в одиницях національної валюти. Таким способом вираження користується більшість країн світу.

Другий спосіб передбачає вираження одиниці національної валюти в одиницях іноземної валюти. Таким способом користується Велика Британія.

Щодо крос-курсу це вираження співвідношення національної й іноземної валюти виходячи їх співвідношення їх до третьої валюти.

Існує класифікація валютних курсів за ступенем фіксації:

- плаваючий валютний курс;
- фіксований валютний курс;

Обидва види валютних курсів пов'язані із певним валютним режимом.

Класифікація за строками виконання передбачає поділ на спотовий курс(негайне виконання операції), та форвард (зобов'язання придбати/продати

іноземну валюту в певний момент часу на певних умовах). Також виділяють валютні курси за способом встановлення: офіційний(встановлений фінансовим регулятором) та ринковий(встановлений на основі попиту і пропозиції). В Україні офіційний валютний курс встановлює Національний банк України.

І останній спосіб класифікації валютних курсів за відношенням до учасників угоди:

- курс купівлі(buy);
- курс продажу(sell).

На основі цих курсів відбуваються всі операції на валютному ринку. Так покупці купують валюту за ціною купівлі, а продають за ціною продажу. Різниця між цінами купівлі й цінами продажу та називається спредом, і складає основний дохід учасників ринку. Саме на різниці між цінами купівлі й продажу і заробляють більшість учасників ринку. А спекулятивна частина даного ринку значно перевищує суму обмінних операцій на ринку. Тобто якщо першочергово ринок задумувався для забезпечення міжнародної торгівлі шляхом полегшення обміну валют, то на даному етапі розвитку він виступає платформою на якій, щоденно відбуваються мільйони операцій, а за 2021 рік загальний обсяг операцій на ринку Forex(найбільший валютний ринок світу) склав 2,409 квадрильйонів дол. США[14].

Щоденні обсяги торгів ринку ж сягають 6,6 трильйона доларів. І сам валютний ринок значно перевищує за обсягами торгів ринки інших цінних паперів. Однією з причин цього є те, що вхід на цей ринок не потребує значних фінансових активів, а тому участь в торгах на даному ринку беруть участь мільйони осіб стартовий капітал більшості з яких не перевищував 1000 дол. США. Проте, слід розуміти, що на ринку грають великі гравці, малі ж лише заробляють на боротьбі між останніми. Як і на ринку акцій на валютному ринку виділяють дві основні групи гравців, а саме «бики» та «ведмеді». А як валютний ринок, так і ринок акцій мають доволі багато спільних особливостей.

1.2. Основні чинники, що впливають на формування цін на валютному ринку

У світі не існує закритих країн. Вони так чи інакше взаємодіють між собою, беруть участь у міжнародній торгівлі відносинах, для здійснення яких потрібна національна валюта інших країн. Саме для цього потрібна можливість у будь-який час обміняти наявні у вас грошові одиниці однієї країни на грошові одиниці іншої країни або групи країн. Але для цього потрібно розуміти за яким курсом обмінювати одну валюту на іншу, оскільки їх вартість різниться. Як було сказано вище, курс валют формується під впливом попиту та пропозиції на міжнародному валютному ринку. Якщо пропозиція грошей зростає, то ціна валюти(обмінний курс) опуститься, якщо навпаки зростає попит, то обмінний курс зростає. І ці коливання валютного курсу залежать від ряду факторів.

З загальному вигляді формування валютних курсів – це доволі складний процес, що відбувається під впливом взаємодії багатьох факторів, що прямо або опосередковано впливають на коливання попиту і пропозиції. Різні вчені виділяють різну кількість факторів, що впливають на формування курсу валют та різну їх класифікацію. Так О.М. Мозговий, Т.Є. Оболенська та Т.В. Мусієць[11] виділяють такі групи факторів як:

- Економічні(процентна ставка, паритет купівельної спроможності, платіжний баланс, рівень інфляції, пропозиція грошей(загальна грошова маса), безробіття, ставка податків);
- політичні(характер економічної політики, ступінь нестабільності політичної ситуації та політика центрального банку);
- соціальні(настрій ринку, очікування).

Ф. Журавка[15] у своїй праці виділяє дві групи факторів, що впливають на формування курсу валют:

- фактори структурного характеру;
- фактори кон'юнктурного характеру.

Фактори кон'юнктурного характеру пов'язана в першу чергу зі зміною попиту і пропозиції, внаслідок зміни ділової активності, зовнішньополітичних та внутрішньополітичних змін, чуток, прогнозів та очікувань.

Щодо факторів структурного характеру то вони пов'язані з серйозним структурним зрушенням в економіці певної держави, станом макроекономічних факторів та державною політикою. Так перша група факторів впливає на коливання курсу валют на ринку, а друга на його зміну у часі.

В свою чергу Бакуменко Т.В. у своїй праці «Валютний курс і фундаментальні фактори його формування» наводить таку класифікацію факторів формування валютних курсів[16]:

- макроекономічні фундаментальні чинники(ВВП, стан платіжного балансу, процентні ставки, обсяг грошової маси, рівень інфляції, обсяг дефіцити державного бюджету, індекс промислового виробництва, обсяг платежів з обслуговування державного боргу, рівень зайнятості, членство країни в міжнародних торгових організаціях, інвестиційний клімат країни(виражений у рейтинговій системі), обсяг грошово-кредитних емісій);
- регулюючі та інфраструктурні чинники(політика НБУ, режим валютного курсоутворення, законодавство, ступінь розвитку інфраструктури фінансового сектору, податкова та монетарна політики, міжнародні домовленості(дипломатія);
- дестабілізуючі чинники(рівень доларизації, погодні умови, спекуляції, різного роду очікування(інфляційні, політичні тощо), ступінь корумпованості влади, ступінь дотримання законодавства, терористичні акції, військові конфлікти, санкції інших держав, рівень недовіри до національної валюти, рівень недовіри до влади, низький рівень конкурентоспроможності товарів національних виробників тощо).

Ще один спосіб класифікації запропонував Дж. Вільямс[17], який досліджував вплив макроекономічних показників на формування валютного курсу і для створення більш точної моделі поділив фактори на дві групи:

- традиційно фундаментальні(рівень цін, номінальні відсоткові ставки, обсяг грошової пропозиції та ін.)
- фактичні фундаментальні(показники фінансового ринку).

Як бачимо, різні вчені виділяють різні групи факторів, що впливають на формування валютного курсу і відносять до цих груп по декілька десятків показників. Проте, на практиці для аналізу, моделювання і прогнозування поведінки курсу валют використовується лише декілька з факторів, що представляють різні групи й на думку дослідників описують вплив на формування обмінного курсу. Так, наприклад Р. Актер у своєму дослідженні «Фактори, що визначають і впливають на курси іноземних валют» виділяє 5 факторів, що впливають на формування курсу валют: темп інфляції, відносні процентні ставки, відносний рівень доходів та динаміка національного доходу, державний контроль, очікування. Проте, також автор наголошує на впливі наступних подій та показників: стихійні лиха або несподівані події, стан платіжного балансу, державний борг та податки, політична стабільність, умови торгівлі, ринкові судження та спекуляція[18].

В свою чергу Малащук Д.В. у своїй праці «Аналіз факторів формування валютного курсу» виокремлює наступні фактори: валовий курс по паритету купівельної спроможності, ВНП, рівень реальних процентних ставок, рівень безробіття, інфляція, індекс промислового виробництва, політичні події, валютні інтервенції, природні лиха[19].

Також фактори, що впливають на формування курсу валют виділили Дж. Парешкумар, Дж. Нарендра та Р. Ашоктак вони наголошують, що на формування валютного курсу впливають такі фактори як: інфляція, процентна ставка, платіжний баланс, роль спекулянтів, собівартість виготовлення продукції, ВВП, політична стабільність та економічна діяльність уряду, дані про

зайнятість, відносна міцність інших валют, макроекономічні та геополітичні події.

Більшість досліджених джерел виділяють однакові фактори формування курсу валют, зазвичай може різнитись лише декілька з них, як ми можемо бачити вище. Також вчені намагаються дослідити вплив нових явищ та тенденцій на формування валютного курсу, тому і з'являються інші показники в дослідженнях, але як ми можемо спостерігати на прикладі наведених досліджень є основні фактори вплив яких є незаперечний. До таких показників відносять:

- темп інфляції;
- стан платіжного балансу;
- обсяг та структура державного боргу;
- облікова ставка;
- динаміка національного доходу;
- рівень безробіття;
- політична стабільність та геополітичні події;
- очікування учасників ринку;
- природні лиха та інші кризові явища;
- монетарна та податкова політика держави;

Поговоримо більш детально про вплив вищезазначених факторів на формування курсу валют. Так темп інфляції – це середньорічне збільшення загального рівня цін виражене у відсотках. Темп інфляції вказує на подорожчання чи здешевлення товарів всередині країни. Тобто інфляція викликає знецінення національної валюти, а результаті й зниження купівельної спроможності громадян. Курс національної валюти буде знижуватись, якщо темп інфляції держави, перевищує темп інфляції іншої країни, валюту якого ми використовуємо для визначення відношення. Поясненням цьому є те, що купівельна спроможність національної валюти однієї країни опускається внаслідок інфляції швидше ніж валюти іншої країни. Збільшення ж курсу

відбуваються внаслідок оберненої ситуації коли темп інфляції однієї країни, нижчий за темп інфляції іншої країни.

Баланс платіжний – це співвідношення між сумою грошових надходжень, отриманих країною з-за кордону, і сумою платежів за кордон протягом певного періоду (рік, квартал, місяць)[20]. Якщо платіжний баланс позитивний, то що це означає, що експорт перевищує імпорт. А це в свою чергу означає, що в країну надходить більше валюти ніж її покидає, що призводить до того, що зростає пропозиція іноземної валюти, оскільки експортери намагатимуться придбати національну валюту, щоб забезпечити подальше функціонування власного підприємства, в результаті чого курс національної валюти буде зростати. Якщо ж платіжний баланс має негативне сальдо, то це означає, що імпорт перевищує експорт, і підприємства імпортери намагатимуться забезпечити себе валютою для купівлі продукції за кордоном, що призведе до зростання попиту на іноземну валюту.

Наступний фактор – це державний борг. Під державним боргом розуміють сукупні боргові зобов'язання держави перед усіма кредиторами (юридичними та фізичними особами, іноземними державами, міжнародними організаціями тощо). Державний борг складається із заборгованості центрального уряду, регіональних та місцевих органів влади, а також боргів усіх корпорацій з державною участю, пропорційно частці держави в їх капіталі[21]. Особливо в плані впливу на формування курсу валют нас цікавить зовнішній борг та його структура, оскільки для сплати та обслуговування його використовуються валюта договору(зазвичай це валюта країни позичальника, валюти, які використовуються для формування золотовалютних резервів або спеціальні права запозичення, які емітуються МВФ), тому держава змушена акумулювати валютні цінності в середині держави для того, щоб сплатити борг або відсотки по ньому, збільшуючи цим попит на валюту. Щодо коштів, які надійшли в державу внаслідок отримання позики, то вони зараховуються зазвичай в золотовалютні резерви, і чинять на курс валют стабілізаційний вплив, тобто

зменшують коливання викликані певного роду кризами. Тісно пов'язаним з фактором державного боргу є фактор обсягу дефіциту державного бюджету, що зазвичай є основною причиною збільшення державного боргу та скороченням обсягу золотовалютних резервів та основним фактором виникнення інфляції. При наявності великого обсягу дефіциту державного бюджету, держава змушена покривати його за допомогою запозичень, або перекладати цей дефіцит на громадян шляхом збільшення обсягу загальної грошової маси.

Ще одним фактором, що значним чином впливає формування курсу валют виступає облікова ставка. Під обліковою ставкою слід розуміти встановлений фінансовим регулятором для банків та інших суб'єктів грошово-кредитних відносин орієнтир, який вказує на вартість залучення та розміщення грошових коштів. Так припустимо, що облікова ставка в одній країні зростає, а в іншій залишається стабільною. У цьому випадку інвестори країни в якій облікова ставка залишається стабільною намагатимуться вкласти кошти в країну в якій облікова ставка зросла. Це призведе до того, що попит на національну валюту країни в якій зросла облікова ставка збільшиться. Проте, це ідеальний варіант інвестори при здійсненні інвестицій будуть враховувати й ряд інших факторів, а саме ризиковість вкладання коштів та гарантії повернення. Тому така ситуація притаманна більш розвиненим країнам світу, в нестабільній економіці, навіть при збільшенні облікової ставки інвестори вкладати кошти не будуть, або вкладатимуть на короткий термін. Подібна ситуація відбулась в Україні у 2017-2019 рр. коли проводилась так звана політика дорогих грошей, коли урядом підвищувалась облікова ставка з метою залучення іноземних інвестицій в державний борг України. Це призвело до укріплення гривні. Проте, слід розуміти, що така політика має суттєві недоліки такі як зниженні ділової активності внаслідок підвищення вартості позикових коштів та зростання вартості обслуговування державного боргу в майбутньому.

Динаміка національного доходу здійснює неоднозначний вплив на формування валютного курсу. З одної сторони, ріст національного доходу може

виступати одним з індикаторів росту економіки, що збільшує інвестиційну привабливість країни, внаслідок чого може відбутися збільшення кількості інвестицій в країну та притоку іноземного капіталу, що призведе до збільшення пропозиції іноземної валюти, проте з іншої сторони збільшення національного доходу призводить до збільшення потреб громадян, що може призвести до збільшення імпорту, якщо національні виробники не здатні задовольнити ці потреби, або програють у конкуренції імпортерам. Така ситуація була характерна економіці України в дев'яностих роках минулого століття та на початку двохтисячних. Коли підприємства України не витримали конкуренції з іноземними виробниками, що призвело до стрімкого падіння курсу національної валюти.

Наступний фактор, який впливає на формування валютного курсу є безробіття. Рівень безробіття це макроекономічний показник, який вказує на стан економіки, і його зростання вказує на присутність негативних тенденцій, в результаті чого інвестори можуть скоротити інвестиції в економіку, що призведе до зростання валютного курсу. Проте, як із національним доходом цей показник не такий однозначний, оскільки високий рівень зайнятості може призвести до зростання купівельної спроможності громадян, що в результаті вплине на рівень цін та темпи інфляції. Причиною цього є те, що рівень безробіття та темп інфляції знаходяться в оберненій залежності один від одного. Тобто, падіння безробіття призводить до зростання інфляція та навпаки.

До факторів, що значним чином впливають на формування курсу валют належить показники політичної стабільності та геополітичні події. Причиною цього є те, що іноземні інвестори в першу чергу намагатимуться знайти країни зі стабільною політичною системою, і вкладатимуть кошти саме в ці економіки навіть при меншій дохідності за інвестиціями на відміну від країн з високим рівнем дохідності та політично нестабільними. Оскільки, гарантії повернення в політично стабільних країнах на багато вищі. Також вплив на формування курсу валют здійснюють геополітичні події. До яких можна віднести військові

конфлікти, укладення угод щодо спрощення торгівлі, організація спільних проектів, покращення чи погіршення відносин між державами тощо. Наприклад, військові конфлікти однозначно негативно впливають на формування курсу валют країн учасників конфлікту, це виражається у скороченні кількості іноземних інвестицій, збільшенні витрат бюджету, скороченні золотовалютних резервів, зростанню міграції, скороченню ділової активності через розірвання логістичних ланцюгів та неможливість ведення діяльності в умовах бойових дій тощо. Це призводить до стрімкого падіння курсу національної валюти.

Також на формування валютного курсу здійснюють очікування учасників ринку. Як і на всі фінансові ринки, валютний ринок реагує на певні прогнози щодо зміни того чи іншого показника. Трейдери негайно реагують на зміну прогнозованих показників, що призводить до коливань на ринку. Припустимо, що уряд Великобританії погіршив свій прогноз, щодо можливих темпів інфляції. І ринок відразу відреагує на це скорочення попиту на британський фунт та зростанням пропозиції. Оскільки, трейдери намагатимуться мінімізувати власні втрати або отримати прибутки, а оскільки обсяг спекулятивних операцій на валютному ринку значно перевищує обсяг обмінних, то це негайно призводить до зміни курсу. Така ситуація і з іншими прогнозованими показниками. Проте, ще більш на курс валют впливає ситуація коли відбувається порівняння прогнозованих та реальних показників. Припустимо, якщо прогнозовані темпи інфляції у Великобританії були вищі за реальні, то ринок відреагує негайним збільшенням попиту на фунт, якщо ж ситуація протилежна, тобто прогнозований темп інфляції нижчі від реального то відбудеться стрімкий ріст пропозиції. Тому уряди дуже обережно ставляться до прогнозування макроекономічних показників.

Негативний вплив на формування курсу валют здійснюють стихійні лиха такі як повені, торнадо тощо. Вони можуть спричинити значні збитки економіці, на подолання яких держав буде змушена акумулювати кошти, що призведе до

збільшення витрат бюджету. Також внаслідок стихійних лих можливі втрати ВВП, зростання безробіття, виникнення продовольчої кризи, що призведе до падіння курсу національної валюти. Прикладом несподіваних подій може стати пандемія коронавірусу. Уряди багатьох країн були змушені вести карантинні обмеження, що призвело до скорочення ділової активності та негативно вплинуло на більшість макроекономічних показників.

Значний вплив на формування валютного курсу здійснюють зміни в монетарній та податків політиці держави. Наприклад, було доведено, що скорочення податкового тиску призводить до зростання виробництва, інвестицій, зайнятості та споживання, що в результаті призводить до зміцнення національної валюти. Проте, слід розуміти, що податки є основним джерелом формування державного бюджету, і держава змушена акумулювати кошти для виконання своїх функцій, а тому існує межа до якої можна скоротити податки, інакше в результаті значного недоотримання державним бюджетом коштів відбувається стрімке зростання інфляції та державного боргу, що призведе до падіння курсу національної валюти.

Як бачимо, формування валютного курсу це складний процес на, який впливають різні фактори, які перебувають у постійні залежності між собою. Вони одночасно впливають як на формування валютного курсу, так і один на одного. Вплив вищенаведених факторів здебільшого розглянуто ізольовано, що в реальній економіці неможливо. Проте, це дозволяє оцінити направленість впливу і зрозуміти куди буде рухатись курс, що вкрай важливо для учасників валютного ринку.

1.3. Інструменти взаємодії з валютним ринком різних суб'єктів

На валютному ринку взаємодіють різні суб'єкти, кожен з яких має власні цілі. Здебільшого всіх учасників валютних відносин поділяють на дві групи:

основні суб'єкти валютного ринку та суб'єктів інфраструктури валютного ринку.

До основних суб'єктів валютного ринку відносять тих хто безпосередньо здійснює валютні операції. Вони здійснюють ці операції з метою отримання прибутку, отримання необхідної валюти, страхування ризиків тощо. До цієї групи відносять: державу, банки, організації та фізичні особи. Щодо суб'єктів інфраструктури ринку то їх роль полягає в наданні посередницьких послуг із взаємодії з валютним ринком основним суб'єктам.

Також існують інші способи класифікації суб'єктів валютних відносин. Так залежно від характеру регулювання діяльності виділяють резидентів та нерезидентів[22]. Оскільки, дещо різняться особливості їх діяльності з боку національного законодавства.

Щодо функціонального призначення то учасників валютних відносин як і на інших фінансових ринках поділяють на три категорії: продавці, покупці та суб'єкти інфраструктури(посередники). Також існує поділ за ступенем впливу на стан ринку: активні і пасивні. Перші як зрозуміло активно впливають на формування цін на валютному ринку задають правила його функціонування, друга група є лише учасниками ринку і приймає закони й правила сформовані першою групою. Прикладом активних учасників може виступати національний банк, приклад пасивних – фізичні особи.

Тепер поговоримо більш детально про учасників валютного ринку. Так згідно з постановою НБУ «Про затвердження Положення про структуру валютного ринку України, умови та порядок торгівлі іноземною валютою та банківськими металами на валютному ринку України [23]» можна виділити таких суб'єктів валютних відносин:

- національний банк;
- банки, що отримали банківську ліцензію;
- небанківські фінансові установи, що отримали ліцензію;
- оператори поштового зв'язку, що отримали ліцензію;

- юридичні особи/ФОП;
- фізичні особи.

Національний банк на валютному ринку виступає у ролі органу регулювання і контролю. Для цього він бере участь операціях на валютному ринку. В першу чергу до основних завдань національного банку належать:

- регулювання курсу національної валюти;
- управління золотовалютними резервами;
- регулювання рівня облікової ставки;
- контроль за обсягами грошової маси, що знаходиться в обігу;
- регулювання нормативів обов'язкових резервів;
- участь у формуванні стратегій щодо монетарної та боргової політики держави;
- участь в створенні та зміні законодавчої бази функціонування валютного ринку згідно сучасних реалій та ін.

У своїй роботі національний банк керується встановленими законодавчими актами. Слід розуміти, що валютний ринок повністю уніфікований і більшість операцій є чітко регламентованими й відбуваються згідно з чинним законодавством. Так основним законом, який регулює діяльність валютного ринку в Україні є закон «Про валюту і валютні цінності» Також з метою чіткої регламентації діяльності суб'єктів валютного ринку НБУ було прийнято ряд законодавчих актів:

- Постанова № 1 від 02 січня 2019 року "Про затвердження Положення про структуру валютного ринку України, умови та порядок торгівлі іноземною валютою та банківськими металами на валютному ринку України[23]"
- Постанова № 2 від 02 січня 2019 року "Про затвердження Положення про здійснення операцій із валютними цінностями[24]"
- Постанова № 3 від 02 січня 2019 року "Про затвердження Положення про транскордонне переміщення валютних цінностей[25]"

- Постанова № 4 від 02 січня 2019 року "Про затвердження Положення про перелік заходів захисту, порядок та критерії їх запровадження, подовження та дострокового припинення[26]"
- Постанова № 5 від 02 січня 2019 року "Про затвердження Положення про заходи захисту та визначення порядку здійснення окремих операцій в іноземній валюті[27]"
- Постанова № 6 від 02 січня 2019 року "Про затвердження Положення про порядок надання банками Національному банку України інформації щодо договорів, які передбачають виконання резидентами боргових зобов'язань перед нерезидентами-кредиторами за залученими резидентами кредитами, позиками[28]"
- Постанова № 7 від 02 січня 2019 року "Про затвердження Інструкції про порядок валютного нагляду банків за дотриманням резидентами граничних строків розрахунків за операціями з експорту та імпорту товарів[29]"
- Постанова № 8 від 02 січня 2019 року "Про затвердження Положення про порядок здійснення уповноваженими установами аналізу та перевірки документів (інформації) про валютні операції[30]"
- Положення про встановлення офіційного курсу гривні до іноземних валют та курсу банківських металів і розрахунку довідкового значення курсу гривні до долара США 1 (далі – Положення № 148), яке набуло чинності з 26 грудня 2019 року. До цієї дати офіційний курс гривні до іноземних валют встановлювався відповідно до Положення, затвердженого постановою Правління Національного банку України від 19.07.2018 № 80[31].

Більшість операцій в Україні пов'язаних з валютним ринком регламентуються вищезазначеними постановами НБУ.

Наступний учасник валютних відносин це комерційні банки, що отримали ліцензію від національного банку. Вони виступають основними учасниками

валютних відносин, вони здійснюють широкий спектр валютних операцій в Україні перелік їх затверджений постановою НБУ № 1 від 02 січня 2019 року "Про затвердження Положення про структуру валютного ринку України, умови та порядок торгівлі іноземною валютою та банківськими металами на валютному ринку України[23]". Так згідно з постановою банк здійснює:

1) купівлю, продаж, обмін іноземної валюти та/або банківських металів на валютному ринку України та/або на міжнародному валютному ринку;

2) власні операції з торгівлі іноземною валютою/банківськими металами в межах установлених лімітів відкритої валютної позиції;

3) операції з банківськими металами в найвищих пробах банківських металів у зливках і порошках із сертифікатами якості, а також із монетами;

4) операції з купівлі-продажу банківських металів без фізичної поставки за дорученням клієнтів-юридичних осіб (окрім банків) за безготівкові гривні виключно з використанням поточних рахунків;

5) операції з торгівлі банківськими металами на міжнародних ринках із визнаними виробниками (або їх представниками), юридичними особами, що здійснюють виготовлення (карбування) монет із дорогоцінних металів (або їх представниками) та банками-нерезидентами;

6) операції на умовах маржинальної торгівлі з іноземними контрагентами (власні операції та операції за дорученням клієнтів). Банки здійснюють такі операції виключно з іноземними банками та/або іноземними небанківськими фінансовими установами, якщо ці установи мають право здійснювати торгівлю іноземною валютою/банківськими металами відповідно до законодавства країни, де вони зареєстровані, та підпадають під наглядову діяльність відповідних органів нагляду за фінансовими установами іноземних держав;

7) операції з торгівлі іноземною валютою, банківськими металами за дорученням клієнта за курсом та в сумі, визначеними клієнтом у його заяві або дорученні на проведення такої операції, порядок надання яких визначається у договорі між клієнтом та банком;

- 8) валютні операції на умовах “своп” на валютному ринку України;
- 9) валютні операції на умовах “форвард” на валютному ринку України з іншими банками та з клієнтами банку[23].

Банки в інших країнах виконують схожі операції, різняться лише умови їх регулювання та обсяги торгівлі. Проте, саме за обсягами торгівлі на міжнародному валютному ринку банки розділяють на дві категорії: «творці ринку(market makers)» та «користувачі ринку(market users)». Перші це доволі невелика група великих банків, які здійснюють значні обсяги валютних операцій і завдяки цьому здатні впливати на динаміку валютних курсів. Прикладами таких банків можуть виступати Bank of America, Deutsche Bank AG, UBS AG, Citibank NA, Bank of Tokyo - Mitsubishi UFJ. Ці банки або мають доволі розгалужені структури і представлені у великій кількості країн, або є монополістами на місцевих ринках. Щодо «користувачів ринку» то це решта дрібних банків, які здійснюють валютні операції, вони не здатні впливати на формування валютного курсу.

Небанківські фінансові установи, що отримали ліцензію. Прикладами таких установ можуть виступати організації, що займаються обміном валют, валютні біржі, інвестиційні фонди. Перші спеціалізуються на обміні валюти й це є основним їх видом діяльності. Щодо валютних бірж – то це самостійні фінансові установи, основним завданням яких є організація торгів валютою та іншими валютними цінностями. Валютні біржі існують у багатьох країнах світу. В деяких країнах таких як Франція, Японія, скандинавські країни саме на валютні біржі визначається валютні курси. Також валютні біржі здійснюють функцію обміну валют для юридичних осіб. Національні банки, використовують компактність біржового ринку і за допомогою них регулюють обмінний курс за допомогою валютних інтервенцій. Також повноцінними суб'єктами валютного ринку виступають інвестиційні фонди. Вони розміщують кошти в цінні папери урядів та корпорацій різних країн. Причому, ці

інвестиційні фонди представлені у вигляді: пенсійних фондів, міжнародних інвестиційних фондів, страхових компаній, трастів.

Юридичні особи на валютному ринку представлені у вигляді брокерських компаній, підприємств, що здійснюють зовнішньоекономічну діяльність та підприємствами, міжнародними корпораціями та фінансовими установами, які здійснюють іноземні вкладення. Основним завданням перших є надання посередницьких послуг з кредитно-депозитних, конверсійних чи дилінгових операцій. У своїй діяльності вони на замовлення клієнта співпрацюють з банками та валютними біржами. Щодо підприємств та організацій, які здійснюють зовнішньоекономічну діяльність, то вони є активними учасниками валютного ринку та створюють основний попит на іноземну валюту. Свою діяльність на валютному ринку вони здійснюють через здебільшого через банки, проте, користуються послугами й інших фінансових установ. Підприємства та міжнародні корпорації використовують валютний ринок для забезпечення власної діяльності. За допомогою останнього вони здійснюють інвестиції у свої підприємства за кордоном. Що допомагає останнім розвиватись.

Фізичні особи використовують валютний ринок для купівлі-продажу готівкової іноземної валюти, яка необхідна їм у різних сферах. В Україні поширена практика купівлі іноземної валюти для того, щоб убезпечити власні заощадження від інфляції. Також з розвитком електронної комерції фізичні особи отримали змогу замовити товар з будь-якої точки світу за доступну плату, а тому участь фізичних осіб у валютному ринку зростає. Також фізичні особи через певних компаній посередників беруть участь у спекулятивних операціях на валютному ринку.

Ще одним суб'єктом валютного ринку, який згадується в постанові НБУ є оператори поштового зв'язку, вони є учасниками валютних відносин, оскільки здійснюють міжнародні перекази та доставку товарів із за кордону. Оскільки, оплата за товари й послуги наданні із-за кордону зазвичай відбувається в

іноземній валюті(80% всіх валютних операцій у світі припадає на долар США), а оператори поштового зв'язку забезпечують переказ коштів отриманих за товари тому вони виступають учасниками валютних відносин.

Щоденно вищезазначені суб'єкти валютних відносин здійснюють мільйони операцій на загальну суму 6,6 трильйона доларів США. Під валютними операціями розуміють дії пов'язані внаслідок яких відбувається перехід прав власності на валюту та валютні цінності. Існують різні способи класифікації валютних операцій. Так згідно з постановою НБУ «Про затвердження Положення про здійснення операцій із валютними цінностями» виділяють дві групи:

- поточні валютні операції(це операції пов'язані в першу чергу з операційною діяльністю підприємств, що беруть участь в зовнішньоекономічній діяльності, та з різного роду трансфертами та платежами)
- операції, пов'язані з рухом капіталу(дана категорія операцій пов'язана більш з інвестиційною діяльністю суб'єктів господарювання, кредитно-депозитними відносинами між резидентами різних країн)[23].

Також існує класифікація за умовами укладення угод, яка наводиться у більшості досліджуваних українських та закордонних джерелах в різних своїх варіаціях. Так згідно з цією класифікацією виділяють:

- конверсійні(касові, форвардні, ф'ючерсні, опціонні, своп, арбітраж);
- депозитні(до запитання, короткострокові, строкові);
- кредитні(короткострокові, середньострокові, довгострокові)[11].

Друга і третя категорія зі здійсненням кредитних і депозитних відносин в іноземній валюті, нічим суттєвим від схожих операцій в національній валюті не відрізняється. Цікавість представляє лише перша група, яка дуже тісно пов'язана з торгівлею валютними цінностями.

Першим представником конверсійних операцій є касові операції. Сутність яких полягає у тому, що основною умовою укладання угоди є те, що поставка валюти відбувається не пізніше другого робочого дня з моменту укладання угоди, за курсом встановленим на момент її підписання. Такого роду угоди називаються «спот» операції. Основними перевагами даного виду операцій є те, що учасники мають змогу негайно отримати валюту для погашення своїх зобов'язань, уникнути втрат від зміни валютних курсів. Також виділяють ще «тод» та «том» угоди, різниця між ними полягає у тому коли виконується «тод» угода виконується у день укладання угоди, том угода в перший робочий день після укладання угоди.

Наступний вид конверсійних інформацій – це строкові валютні операції. Їх сутність полягає у тому, що на відміну від спот операцій в строкових операція присутній термін відстрочки здійснення поставки валюти, який перевищує 2 дні. До таких операцій відносять форвардні, ф'ючерсні, опціонні операції. А самі документи називають деривативами.

Форвардні операції – це строкові операції, що передбачають в купівлі-продажу валюти між двома учасниками угоди, з наступним переданням її в становленні контрактом строки, з ціною валюти, яка була встановлена в контракті. Зазвичай форвардна угода укладається терміном до одного року. Складність даного виду операцій полягає лише у визначенні форвардного курсу. Цей курс складається із курсу спот, встановленого на момент укладання угоди та надбавок і знижок пов'язаних зі зміною процентних ставок у країнах. Форвардні угоди не є уніфікованими, а тому ці контракти не є прозорими для інших учасників ринку.

Ф'ючерсні операції схожі за способом укладання на форвардні операції єдина відмінність полягає у тому, що гарантом виконання даних операцій виступають біржі, за посередництва яких і можуть укладатись даного виду угоди, а умови контрактів чітко уніфіковані. Тому про умови укладання угоди знають усі учасники даного ринку. Ціна валюти ф'ючерса визначається так само

як і форвардний курс. Ф'ючерсні операції укладають з метою страхування валютних ризиків та спекуляції.

Опціонні операції передбачають, що один з учасників угоди може купити чи продати установлену в контракті суму в визначений термін, за встановленим двома сторонами курсом. Цей вид операцій страхує покупця(власника) опціону. Оскільки, він може реалізовувати чи не реалізовувати угоду, якщо йому це вигідно чи не вигідно.

Крім вищезазначених операцій ще виділяють валютні свопи та валютні арбітражі. Проте, вони представлені у вигляді комбінацій вищезазначених операцій.

Валютний ринок має доволі розгалужену інфраструктуру. Він представлений як на локальному (національні валютні ринки) рівні так і світовому(світовий валютний ринок). Щоденно на ньому різними суб'єктами валютних відносин укладається значна кількість угод, загальна вартість яких перевищує 6,6 трильйона доларів США. Основна мета усіх учасників це отримання прибутку, хеджування валютних ризиків, забезпечення власної діяльності. Причому, перше є основним, оскільки значна кількість операцій представлена саме у вигляді спекулятивних операцій на валютному ринку. Проте, першочерговим завданням ринку є саме забезпечення міжнародної торгівлі валютою.

Всі країни світу беруть участь у міжнародних економічних відносинах. Для здійснення яких, їм потрібна обміняти власну валюту на валюти країн, з якими вони взаємодіють або навпаки, обміняти валюти інших країн на власну. Для цього слід визначити обмінний курс, оскільки як його завищення, так і заниження має негативні наслідки для економіки країни. Для цього слід чітко розуміти, які фактори впливають на формування валютного курсу. В загальному, курс валют формується під впливом попиту і пропозиції на, які чинять вплив десятки факторів. Проте, вчені виділяють у своїх дослідження від 5 до 12. І щодо загальної їх кількості думки різняться. Але існують фактори, вплив яких

незаперечний, а тому вони включені у більшість досліджень. Також більшість вчених наголошують на комплексності впливу, а ізольований розгляд одного із факторів дозволяє оцінити лише направленість, тобто вказати зросте вартість валюти чи опуститься, що є важливим для здійснення торгівлі валютою і валютними цінностями. Оскільки, значна кількість суб'єктів ринку заробляє саме на прогнозах можливої зміни валютних курсів.

РОЗДІЛ 2. ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНІ ПІДХОДИ ДО АНАЛІЗУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ВАЛЮТНИХ КУРСІВ

2.1. Методи аналізу валютного ринку. Принципи їх використання

На валютному ринку виділяються два основні методи аналізу, що використовуються прогнозування та оцінці курсу валют: фундаментальний, технічний. Основна мета вищезазначених видів аналізу – це передбачити рух валютного курсу. Ці два види аналізу часто використовуються трейдерами при аналізі валютного ринку. А оскільки, більшість операцій на валютному ринку складають саме спекулятивні (тобто торгівля валютою з метою отримання прибутку), то вищезазначені види аналізу доволі популярні. Також вищезазначені види аналізу використовують економіко-математичний інструментарій для побудови прогнозів. Так в основі технічного аналізу лежить правило, що рух курсу валют залежить від коливань в минулі періоди, що дуже тісно пов'язане з прогнозними моделями на основі часових рядів. Тим більше саме у технічному аналізі використовуються більшість цих методів і моделей у різних варіаціях, найпоширенішим з яких є методи ковзної середньої. В основі створення торгових платформ також використовуються нейронні мережі. Щодо фундаментального аналізу, то часто для оцінки впливу факторів на явище використовується дослідження проведені на основі факторного аналізу. Фундаментальний і технічний аналіз кардинально відрізняються один від одного. Від термінів здійснення прогнозів, до самих принципів проведення. Так, під фундаментальним аналізом розуміють підхід в аналізі фінансових ринків, що передбачає ґрунтовне вивчення та опис факторів та інформації, що впливає на динаміку явища. Сутність фундаментального аналізу полягає у тому, що він намагається вивчити рух явища під впливом макроекономічних чинників. Фундаментальний аналіз виник одночасно з розвитком прикладної економічної

науки. А тому вони дуже тісно пов'язані між собою. Головна мета фундаментального аналізу – це визначення справедливої ціни товару. Після чого відбувається порівняння з ціною на ринку. Внаслідок чого отримуємо висновок про те недооцінений товар чи ні. Ця переоцінка відбуваються внаслідок вивчення всі макроекономічних факторів, що впливають на динаміку явища. В загальному, фундаментальний аналіз використовують для інтерпретації, оцінки та прогнозу динаміки основних економічних показників в тому числі й курсу валют. В основі фундаментального аналізу лежить праця Бенджаміна Грехема і Девіда Дода «Аналіз цінних паперів», вона була вперш за все присвячена прогнозуванню на ринку акцій, але наголошують, що ринок акцій та валютний ринок мають багато спільних елементів, оскільки є сегментами фінансового ринку, а тому методи, що використовують для прогнозування цін акцій використовують і для прогнозування валютних курсів. Фундаментальний аналіз часто використовують інвестори та трейдери для того, щоб оцінити можливий напрямок руху явища, і як вони говорять «осідлати тренд» і «проїхатись» на ньому до самого кінця, щоб отримати максимальну вигоду. в загальному вигляді учасники валютного ринку на основі фундаментального аналізу намагаються визначити як вплине та чи інша новина на формування валютного курсу. Серед таких новин можна виділити чотири основні категорії:

1) оголошення макроекономічних факторів, що відображають стан економіки, через це в минулому розділі й наголошувалось на тому, що уряди країн обережно ставляться до прогнозування макроекономічних показників, оскільки реакція на невірний прогноз з боку ринку буде миттєвою, особливо якщо були завищені показники, які позитивно впливають на явище та занижені показники, що негативно впливають на явище;

2) дослідження провідних інвестиційних компаній, міжнародних організацій та аналітичних бюро. Негативні чи позитивні висновки за цими дослідженнями відразу відобразяться на ринку у вигляді коливань;

3) політичні події(вибори, скандали, реформи, зміна в законодавстві, публікація державних стратегій розвитку тощо);

4) природні явища. Вищезазначені новини впливають лише на коливання на валютному ринку, і лише в окремих випадках призводять до встановлення нового рівня цін.

Проте, при використанні фундаментального аналізу слід чітко розуміти про тривалість впливу тієї чи іншої новини. Його зазвичай поділяють на довгостроковий(як правило здатні впливати впродовж місяців та років) та короткостроковий(не більше 2-3 днів). В ідеальному варіанті результатом фундаментального аналізу є визначення справедливої ціни. Причому це визначення ґрунтується на наявності правильної моделі визначення та наявності вчасної й достовірної інформації. Слід розуміти, що нова інформація з'являється постійно і впливає на формування курсу валют, а тому здійснення короткострокових прогнозів на основі фундаментального аналізу неможливе. Це є його основним недоліком, і за це його здебільшого критикують прихильники технічного аналізу. На протипагу фундаментальному аналізу існує технічний. На відміну від фундаментального аналізу, який намагається оцінити курс валют на основі динаміки макроекономічних показників та новин, технічний зосереджує свою увагу на вивченні динаміки самого курсу валют та обсяги продажів. Інструментарій технічного аналізу використовують для ретельного вивчення попиту і пропозиції на курс валют та їх безпосередній вплив на формування курсу валют. В основі технічного аналізу лежить припущення, що минулі обсяги торгів та зміни ціни валюти можуть бути цінними індикаторами для здійснення прогнозу. Також на відміну від фундаментального аналізу, технічний спрямований на здійснення прогнозів в короткостроковій перспективі. Технічний аналіз був вперше представлений Чарльзом Доу(творець промислового індексу Доу-Джонса). Також значний внесок у розвиток технічного аналізу внесли В. Гамільтон, Р. Реа, Едсон Гулд, Джон Мегі, вони сформували основу теорії технічного аналізу. В наш час

технічному аналізу присвяченні сотні праць, які описують як технічний аналіз в цілому, так розроблені різні торгові системи. В основі цих систем лежить ряд технічних індикаторів:

- тренд;
- осцилятори;
- ковзні середні;
- рівні підтримки та опору;
- індикатори обсягу та імпульсу.

Технічний аналіз у загальному вигляді намагається проаналізувати настрої присутні на ринку, і як вони впливають на формування курсу валют, шляхом пошуку закономірностей і трендів. В основі сучасної теорії технічного аналізу лежить три припущення:

- ринок враховує все: технічний аналіз припускає, що вплив всіх факторів уже виражений у курсі валют, це припущення узгоджене з теорією ефективних ринків, яка передбачає, що учасники ринку купують цінні папери та валюту за справедливою ціною на біржах, що унеможливило придбання їх недооціненими чи продаж переоціненими;
- у формуванні курсу валют та акцій завжди присутній тренд: технічні аналітики вважають, що ціни навіть у випадкових ринкових рухах демонструють наявність тренду незалежно від часових рамок. Тобто курс валют та ціна акцій, швидше за все буде продовжувати минулий тренд;
- історія має тенденцію повторюватись.

До недоліків технічного аналізу відносять те, що він не здатний спрогнозувати серйозні структурні зрушення внаслідок кризових явищ, а тому прогноз на довгостроковий період неможливий. Другий недолік полягає у тому, що прогнози здійсненні на основі технічного аналізу, часто реалізуються самими технічними аналітиками. Припустимо, що велика кількість трейдерів розмістила ордер на продаж курсу валют нижче 200-денної ковзної середньої, після чого внаслідок ринкових коливань ціна дійсно досягла такого рівня, що

спричинило різке зростання пропозиції на ринку, а отже посилило падіння ціни. Тобто за допомогою трейдерів відбувся обвал курсу валют. Це означає, що якщо достатньо велика кількість людей використовують однакові торгові системи, то вони можуть спричинити рух, передбачений сигналом певного технічного індикатору, проте, в довгостроковій перспективі ця група трейдерів керувати ціною не може. А тому технічний аналіз здатний здійснювати виключно короткострокові прогнози. Як можемо бачити, два методи аналізу валютного ринку кардинально відрізняються від одного, проте в чистому вигляді їх використовують лише трейдери нижчої ланки, професійні аналітики намагаються ж використовувати їх у сукупності з іншими методами, в тому числі й економіко-математичними. Серед основних методів виділяють методи факторного аналізу, які дозволяють комплексно проаналізувати господарський стан як компанії, так і країни, знайти та класифікувати фактори, які впливають на економічні явища та виявити причинно-наслідкові зв'язки, що впливають на зміну конкретних показників господарської діяльності. Також часто використовуються методи експоненційного згладжування та нейронні мережі, для прогнозування курсу валют. Саме методи прогнозування на основі часових рядів часто лежать в основі більшості торгових робіт. В загальному, прогнозні моделі на основі часових рядів представлені у вигляді широкого спектра методів і моделей до якого належать методи екстраполяції, тобто поширення тенденції. В основі методів екстраполяції лежить принцип, що більшість економічних явищ характеризуються певною інерцією, тобто минулі значення показників впливають на наступні. Особливо це проявляється в прогнозуванні на короткі періоди. Це доволі велика група, яка включає методи згладжування (плаваючих середніх), авторегресійні моделі (AR, ARMA, ARIMA та ін.), трендові моделі (лінійні, нелінійні), ймовірнісні моделі[32], про, які ми поговоримо більш детально далі. Більшість тендерів та аналітиків часто використовують фундаментальний та технічний аналіз разом, оскільки зосередження трейдерами лише на одному виді аналізу може призвести до

фінансових втрат. Так, наприклад, трейдер ігнорує фундаментальні фактори й торгує виключно на основі технічних індикаторів, в результаті в разі серйозних структурних зрушень в економіці, які технічний аналіз спрогнозувати не здатний, трейдер втратить як мінімум можливий прибуток, а максимум зазнає фінансових втрат внаслідок відкриття операції на ринку з невірним прогнозом зміни ціни. Щодо фундаментального аналізу, то не можна ігнорувати вплив самого ринку та його учасників на формування курсу валют, які як мінімум можуть значно послабити або нівелювати вплив факторів в короткостроковій перспективі, або їх посилити. Також при прогнозуванні валютного курсу неможливо ігнорувати економіко-математичні методи, тому що вони лежать в основі як фундаментального, так і технічного аналізу. Так більшість трейдерів використовують економіко-математичний інструментарій, навіть не розуміючи цього. Вони торгують за шаблонами, торговими стратегіями. Проте, в більшості найпростіших торговій стратегії використовуються методи ковзної середньої, або визначенні раніше закономірності й правила. А тому для того, щоб підвищити ефективність торгівлі на ринку, потрібно розуміти правила та моделі на основі яких побудовані ці стратегії. Також існує необхідність у розробці нових торгових стратегій, оскільки ефективність використання уже існуючих постійно скорочується, це пов'язане з сильною мінливістю валютного ринку. Щодо фундаментального аналізу то з'являються нові фактори, що впливають на формування курсу валют, і потрібно оцінити їх вплив на попит і пропозицію. Наприклад, до 2019 року питання глобальної пандемії та загальних карантинних обмежень не розглядалось, проте, зараз намагаються проаналізувати як вони впливають на економіку та на формування курсу валют. І учасники ринку не можуть ігнорувати появу цих факторів.

2.2. Адаптивні методи та моделі прогнозування цін на валютному ринку

Адаптивні моделі прогнозування – це моделі дисконтування даних, що здатні швидко пристосовувати свою структуру і параметри до зміни умов. Інструментом прогнозу в адаптивних моделях, як і в кривих зростання, є математична модель з єдиним фактором «час» [33,с. 120]. До адаптивних методів слід віднести: модель Хольта, модель Вінтерса, модель Хольта-Вінтерса, модель Тейла-Вейджа, модель Брауна, модель Харрісона, метод Трігга, метод Трігга-Ліча, модель Чоу, метод гармонійних ваг.[32]. Більшість з цих методів часто використовуються для прогнозування курсу валют. В основі адаптивних моделей лежить принцип «пристосованості» до даних за допомогою параметрів. Різні адаптивні методи та моделі різняться алгоритмом пошуку прогнозів та кількістю використання параметрів. А тому слід описати ці алгоритми більш детально. Нами для прогнозування курсу валют будуть використовуватись три адаптивні моделі прогнозування: модель Брауна, як найпростіший в реалізації представник даного класу моделей, його модифікація для врахування тренду – метод Хольта(модель Хольта), та модифікація методу Хольта з урахуванням сезонності – метод Хольта-Вінтерса.

Модель Брауна часто використовують для прогнозування курсу валют на короткостроковий період. Інша назва цієї моделі просте експоненційне згладжування. Це найпростіший в реалізації представник даного класу моделей, він реалізований у більшості прогнозних бібліотеках до мов програмування Python та R, які найчастіше використовуються у дослідженнях. Цей метод дає можливість швидко отримати прогноз на короткостроковий період без серйозних зусиль.

Модель Брауна може відображати розвиток процесів у вигляді лінійного тренду, випадкового процесу(без тренду) та у вигляді параболічної тенденції. Виокремлюють три порядки даної моделі:

- Модель нульового порядку використовується для процесів, що не мають тенденції. В ній присутній лише один параметр A_0 (оцінка сучасного рівня). Прогноз шукається на n кількість кроків x формулою

$y(t + k) = a_0$. Модель Брауна нульового порядку ще називають наївною.

- Модель Брауна першого порядку має вигляд $y(t + k) = a_0 + a_1 k$. A_0 - значення, наближене до останнього рівня ряду. A_1 визначає приріст, що сформувався в кінець періоду, щоправда відображає ріст і на етапах що передували останньому.
- Модель Брауна другого класу відображає розвиток у вигляді параболічної тенденції, вона має три параметри, де A_2 відображає наявний приріст кожного члену ряду, також цей параметр ще називають прискоренням. Модель другого порядку має вигляд $y(t + k) = a_0 + a_1 k + a_2 k^2$.

Побудову моделі Брауна розглянемо на прикладі алгоритму побудови лінійної адаптивної моделі, який складається із 6 етапів. На першому етапі за першими n (рекомендують як мінімум 5 для коротких часових рядів) – кількістю точок, оцінюються параметри моделі a_1 та a_2 за допомогою методу найменших квадратів для лінійної апроксимації за формулою, яка має вигляд:

$$\hat{Y}_t = a_0 + a_1 t \quad (2.1)$$

На другому етапі відбувається знаходження прогнозу з використанням параметрів a_1 та a_2 :

$$\hat{Y}_t = a_0 + a_1 t_t \quad (2.2)$$

На третьому етапі визначається на скільки модельоване значення відрізняється від фактичного:

$$e_{t+1} = \hat{Y}_{t+1} - Y_t \quad (2.3)$$

Далі на 4 етапі згідно знайденої величини коригуються параметри моделі.

$$a_{0(t)} = a_{0(t-1)} + a_{1(t-1)} + (1 - b)^2 e_t \quad (2.4)$$

$$a_{1(t)} = a_{1(t-1)} + (1 - b)^2 e_t, \quad (2.5)$$

де b коефіцієнт дисконтування, що змінюється в межах від 0 до 1. Який відображає у свою чергу ступінь довіри більш пізнім спостереженням, та вказує на ступінь знецінення даних за одиницю часу. Є різні способи пошуку цього коефіцієнту, від ітеративного перебору, до оптимізації одного із параметрів точності моделей, або за формулою:

$$b = N - \frac{3}{N} - 1, \quad (2.6)$$

Де N – довжина часовго ряду. Помилка e_t обчислюється на основі попереднього спостереження($t-1$).

П'ятий етап полягає в пошуку прогнозу за скорегованими параметрами, причому якщо $t=N$, то повертаємось до етапу 2, де $t=1..n$, де n -період прогнозування.

Ще оди адаптивний метод, який часто розглядається – це метод Хольта(модель Хольта). Це метод подвійного експоненціального згладжування. Він є модифікацією методу Брауна. Основною відмінністю методу Хольта від методу Брауна є його можливість враховувати трендову складову. Сам процес побудови моделі та прогнозування схожий на модель Брауна. Основна відмінність полягає у тому, що під час моделювання оновлюються дві компоненти: рівень та тренд ряду. Це відбувається за допомогою двох коефіцієнтів – коефіцієнту згладжування ряду(a) та коефіцієнту згладжування тренду(b). Алгоритм моделювання і пошуку прогнозів на основі методу Хольта схожий на алгоритм методу Брауна(просте експоненційне згладжування). На першому кроці відбувається розрахунок згладжених значень ряду за формулою:

$$L_t = aY_t + (1 - a)(L_{t-1} - T_{t-1}), \quad (2.7)$$

де L_t – згладжена величина на даний період, a – коефіцієнт згладжування ряду, Y_t – фактичне значення ряду в даний період, L_{t-1} – згладжена величина ряду в

попередній період, T_{t-1} – значення тренду за попередній період. На першому кроці $L_1 = Y_1$.

На другому кроці відбувається визначення трендової складової за формулою:

$$T_t = b(L_t - L_{t-1})(1 - b)T_{t-1}, \quad (2.8)$$

де T_t – значення тренду на даний період, b – коефіцієнт згладжування тренду, L_t – згладжена величина ряду в даний період, L_{t-1} – згладжена величина ряду в попередній період, T_{t-1} – значення тренду за попередній період. На першому кроці $T_1 = 0$.

На третьому кроці відбувається здійснення прогнозу на p – періодів вперед за формулою:

$$\hat{Y}_{t+p} = L_t + pT_t, \quad (2.9)$$

де \hat{Y}_{t+p} – прогноз на p періодів вперед, p – порядковий номер періоду, на який робиться прогноз (1...n), T_t – значення тренду на останній період, L_t – згладжена величина ряду в останній період. Тобто як можемо бачити як і в моделі Брауна найбільший вплив на прогноз має останнє спостереження, оскільки на його основі здійснюється пошук прогнозу. До недоліків методу Хольта відносять неможливість врахувати сезонну складову. Проте, ця проблема вирішується за допомогою методу Хольта-Вінтерса. Він більш складний у реалізації за метод Брауна та є модифікацією уже методу Хольта. Причина в тому, що він може враховувати як тренд, так і сезонну складову. Модель Хольта-Вінтерса є методом експоненційного згладжування на основі трьох параметрів. Це означає, що метод характеризує трьома критеріями, які потрібно обрати(знайти), щоб отримати прогноз. Як і в моделі Брауна параметри моделі можуть обчислюватись шляхом оптимізації одного, або декількох критеріїв оцінки якості моделі. Модель Хольта-Вінтерса є найбільш використовуваною моделлю

прогнозування часових рядів із сезонністю, оскільки за точністю вона не поступається більшості більш складних методів і моделей. Вона є розширеним варіантом моделі Хольта та відрізняється від неї тим, що здатна враховувати сезонну складову. Проте, моделі Хольта-Вінтерса притаманні декілька недоліків:

- в основі моделі Хольта-Вінтерса лежить «гіпотеза про наявність у часовому ряді тенденцій» та ідея про їх сталість, що нечасто зустрічається на практиці, це призводить до того, що дана модель здатна прогнозувати лише на короткостроковий період, і що чим більший прогнозований період тим більше буде відхилення реальних значень від прогнозованих[39], причому період прогнозування десь 3-4 значення, після чого відбувається сильне розходження інтервальних меж;
- другий недолік полягає у тому, що припущення про те, що коефіцієнти(параметри згладжування) знаходиться у рамках від 0 до 1 було взято з моделі Брауна, що призводить до значного погіршення результатів моделювання і прогнозування[38], а тому рекомендують задавати більш розширені межі цих параметрів.

Щодо алгоритму прогнозування на основі моделі Хольта-Вінтерса то він складається з 4 етапів. На першому відбувається експоненційне згладжування часового ряду за формулою:

$$L_t = \frac{aY_t}{S_{t-s}} + (1 - a)(L_{t-1} - T_{t-1}), \quad (2.10)$$

де L_t – згладжена величина на поточний період L_{t-1} – загладжена величина за минулий період, S_{t-s} – коефіцієнт сезонності попереднього періоду, T_{t-1} – значення тренду за попередній період, Y_t – поточне значення ряду, a – коефіцієнт згладжування ряду. Для першого періоду $L_1 = Y_1$, а коефіцієнт сезонності S_1 дорівнює 1.

На другому кроці відбувається визначення значень тренду:

$$T_t = b(L_t - L_{t-1}) + (1 - b)T_{t-1}, \quad (2.11)$$

де, T_t – значення тренду за поточний період, L_t – згладжена величина на поточний період, L_{t-1} – загладжена величина за минулий період, T_{t-1} – значення тренду за попередній період, b – параметр згладжування, який задається у межах від 1 до 0. Щодо значення тренду в перший період то воно задається вручну і дорівнює нулю.

Сутність третього етапу полягає у пошуку коефіцієнта сезонності S_t , що здійснюється за формулою:

$$S_t = \frac{qY_t}{L_t} + (1 - q)S_{t-s}, \quad (2.12)$$

де S_t – коефіцієнт сезонності поточного періоду, L_t – згладжена величина на поточний період, Y_t – поточне значення ряду, S_{t-s} – коефіцієнт сезонності попереднього періоду, q – коефіцієнт згладжування сезонності.

На четвертому етапі здійснюється прогнозування на період n :

$$\hat{Y}_{t+p} = (L_t + pT_t)S_{t-s+p}, \quad (2.13)$$

де \hat{Y}_{t+p} – здійснений прогноз на p періоди вперед, T_t – значення тренду за поточний період, L_t – згладжена величина на поточний період, S_{t-s+p} – коефіцієнт сезонності в минулий сезон.

Адаптивні методи та моделі часто використовуються у прогнозуванні тенденції розвитку різних явищ і процесів на основі часових рядів. Основна їх перевага – це простота та швидкість реалізації. Пошук відбувається за чітким алгоритмом, а основна складність полягає у пошуку оптимальних значень коефіцієнтів згладжування. Проте, це вирішується шляхом оптимізації одного з критеріїв якості моделі. Але слід бути обережним, оскільки в сутності цього процесу лежить принцип мінімізації відхилення фактичних значень від модельованих, тобто шляхом оптимізації критерію якості ми мінімізуємо похибку моделі, що призводить до пристосованості моделі до фактичних даних. Зазвичай це відбувається шляхом максимізації коефіцієнта згладження рівнів ряду та мінімізації коефіцієнтів згладжена тренду та сезонності, в результаті

чого ми отримуємо, що останнє значення згладженого ряду дорівнює фактичному, при мінімальному впливі трендової та сезонної складової, що призводить до того, що прогнозоване значення фактично дорівнює останньому спостереженню, незалежно від періоду прогнозу. Такий прогноз немає жодного сенсу. Для розв'язання цієї проблеми водять зазвичай ряд обмежень до оптимізаційної функції. Проте, необхідність слідкувати за критеріями згладжена залишається.

2.3. Авторегресійні моделі як засіб прогнозування обмінного курсу валют

Авторегресійні моделі – це один із найбільш використовуваних класів моделей для прогнозування курсу валют. При дослідженні статей на платформі Kaggle(платформа для змагань з аналітики та передбачуваного моделювання, в рамках якого статистики та добувачі даних конкурують у створенні найкращих моделей для прогнозування та опису даних, запропонованих компаніями або користувачами)[34] за запитом «forecast exchange rate» в 41% статей були використані авторегресійні моделі для прогнозування курсу валют, у 10% статей – методи експоненційного згладжування та в 17% статей – нейронні мережі. Така популярність авторегресійних моделей полягає у тому, що саме авторегресійні моделі лежать в основі більшості торгових стратегій як на ринку акцій, так і на валютному ринку.

В загальному, випадку, авторегресійні моделі ґрунтуються на припущенні, що минулі спостереження впливають на поточні. Це припущення притаманне більшості моделям, які здійснюють прогнози на основі часових рядів. Одним із прикладів авторегресійних моделей є моделі Бокса-Дженкінса, які на даний час здебільшого і використовуються для прогнозування. Методологія даного методу сформувалась відносно недавно, а саме в 1970 році з виходом публікації двох математиків – Дж. Бокса та Г. Дженкінса «Аналіз часових рядів: прогноз та контроль»[36]. Саме в цього часу авторегресійні моделі набувають широкої

популярності. Інша назва моделей Бокса-Дженкінса – ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average), вона є модифікацією ARMA моделі й повністю витіснила у використанні останню. Моделі ARIMA записуються у вигляді ARIMA (p, q, d), де, згідно з методикою Бокса-Дженкінса, p - кількість спостережень із затримкою, включених у модель (також називається порядком затримки), q - розмір вікна ковзного середнього (також називається порядком ковзного середнього), d вказує на кількість разів, коли до спостережень застосовують метод різниць (також називають порядком різниць)[20].

ARIMA належить до класу лінійних методів, проте вона здатна описувати як стаціонарні, так і нестаціонарні ряди. Як і в інших методах прогнозування на основі часових рядів в даній моделі не використовуються інші незалежні змінні, тобто для прогнозування використовується виключно інформація уже закладена в даних.

Як зазначалось вище метод ARIMA є модифікацією ARMA, тому спочатку розглянемо його. Загалом для прогнозування на основі цього методу використовують дві моделі: авторегресійну модель (AR) p порядку та модель ковзної середньої (MA) q порядку.

Авторегресія (AR) ми використовуємо лінійну комбінацію минулих значень цієї змінної відносно себе. Тобто ми використовуємо лагові значення змінної як наші вхідні змінні для прогнозування значень в майбутньому. Авторегресійні моделі (AR) p порядку має вигляд:

$$Y_t = \varphi_0 + \varphi_1 Y_{t-1} + \varphi_2 Y_{t-2} + \dots + \varphi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t = \sum_{j=1}^p \varphi_j Y_{t-j} + \varepsilon_t, \quad (2.14)$$

де Y_t – залежна змінна у час t, $\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_p$ – параметри моделі; ε_t - помилка прогнозу, яка не враховується в моделі. Авторегресійні модель AR(0), тобто коли порядок моделі дорівнює нулю називають білим шумом. Кожна точка з даних обирається з вибірки із середнім значенням 0 та дисперсією сігма-квадрат. Послідовність створена таким чином складається повністю з випадкових чисел, які неможливо передбачити. Проте, саме цей варіант моделі

часто використовується для перевірки даних і розгляду різних гіпотез. AR(1) – модель випадкових блукань. Якщо порядок авторегресії встановити 1, то ми то ми отримаємо лінійну модель, в якій модельоване значення залежить від попереднього свого значення та білого шуму.

Модель ковзної середньої використовує минулі помилки прогнозу, а не минулі значення регресії для прогнозування майбутніх значень. Модель ковзної середньої(MA) q порядку описується наступним чином:

$$Y_t = \mu + \varepsilon_t - \omega_1 \varepsilon_{t-1} - \omega_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \omega_q \varepsilon_{t-q} = \mu + \sum_{i=1}^q \omega_i \varepsilon_{t-i} + \varepsilon_t, \quad (2.15)$$

де Y_t – залежна змінна у час t , ε_t – похибка прогнозу в момент часу t ; $\mu, \omega_1, \omega_2 \dots \omega_q$ – параметри моделі[36]. Оскільки, похибка прогнозу залежить від попередніх модельованих значень, то спочатку моделюють їх, а потім визначають похибку, яка уже впливає на формування нового значення, а тому модель ковзної середньої(MA) має ітераційний характер, в якій кількість ітерацій залежить від порядку q .

Метод ARMA використовується лише для прогнозування на основі стаціонарних рядів(відсутність тренду та сезонної складової), а тому в більшості дослідженнях використовується його модифікація метод ARIMA. Це відбувається шляхом приведення нестаціонарних часових рядів до стаціонарних, з використанням оператора різниці значень часового ряду порядку d . Після чого модель набуде вигляду:

$$\Delta^d Y_t = \mu + \sum_{j=1}^p \Delta^d Y_{t-j} \varphi_j Y_{t-j} + \sum_{i=1}^q \omega_i \varepsilon_{t-i} + \varepsilon_t, \quad (2.16)$$

де Y_t – залежна змінна у момент часу t , ε_t – похибка прогнозу в момент часу t ; μ, ω_p, φ_p – параметри моделі Δ^d – оператор різниці часового ряду порядку[24].

Модель ARIMA дозволяє будувати відносно точні прогнози з невеликою дальністю прогнозу(до 18 місяців на ринку акцій)[37]. Також ця модель є доволі гнучкою, а тому підходить для прогнозування різних явищ(на

платформі Kaggle у 15% статей запитом «forecast»[34] згадують модель ARIMA, тобто з усієї сукупності прогнозних моделей, які використовуються для прогнозування ARIMA є однією з найбільш згадуваних). До основних недоліків ARIMA моделей відносять необхідність великої вибірки та складність підбору параметрів. Проте, друга проблема вирішується шляхом мінімізації критерію АІС, причому більшість досліджених праць вказують саме на це, на такому ж принципі побудовані більшість програмних бібліотек для прогнозування на основі часових рядів. Проте, в бібліотеках реалізований принцип, що зміна параметрів відбувається до того часу, поки АІС зменшується, якщо відбувається протилежна ситуація виконання коду зупиняється, а кращим варіантом визнається $x-1$ модель. Але, це не зовсім вірно, оскільки вплив може бути виявлений на пізніших лагах ряду, а тому на практиці досліджують коефіцієнти автокореляції рівнів ряду та коефіцієнти часткової автокореляції та аналізують залишки, і підбирають таким чином параметри моделі (p, q, d) [38]. Автокореляція – це кореляція між поточними й минулими значеннями однієї змінної. Автокореляція дає змогу визначити, які тенденції в часовому ряді переносяться на майбутні значення і з яким періодом, тобто вимірює так званий «трансляційний ефект». До прикладу ціни на нафту 2 дні назад можуть впливати на вчорашню ціну на нафту, а також і на сьогоднішню. Щодо коефіцієнтів часткової автокореляції то вони визначають лише безпосередній вплив попередніх рівнів ряду на теперішній без «трансляційного ефекту», тобто визначають як ціна на нафту два дні назад впливає на ціну на нафту сьогодні, без впливу на вчорашню ціну. Якщо коефіцієнт автокореляції та часткової кореляції на певному лазі виходить за дозволені межі, то це свідчить про неправильно підібрані параметри моделі. Також коефіцієнти автокореляції та часткової автокореляції дозволяють виявити сезонну складову. Якщо ж ця складова виявлена, то для прогнозування використовується модифікований варіант ARIMA моделі – SARIMA. SARIMA – Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average

(сезонна інтегрована модель авторегресії та ковзного середнього). Модель SARIMA включає в себе як параметри ARIMA моделі, так параметри сезонної складової й записується як SARIMA(p,d,q)X(R,D,Q). Де p – порядок AR, d – порядок різниці, q – порядок MA, D – параметр сезонної різниці, P – порядок SAR, Q – порядок SMA. В загальному, модель приймає вигляд:

$$F_p(S^s)\rho_p(S)(1 - S)^d(1 - S^s)^D Y_t = \Theta_Q(S^s)\theta_q(S)e_t, \quad (2.17)$$

де $F(S^s)$ - функція SAR(P), $\rho_p(S)$ - функція AR(p), $(1 - S)^d$ – оператор різниці d для ARIMA, $(1 - S^s)^D$ – оператор сезонних різниць D, $\Theta_Q(S^s)$ – функція SMA(Q), $\theta_q(S)$ – функція простої ковзної середньої MA(q).

Завдяки лінійній природі моделі ARIMA і SARIMA досить зручні для реалізації, а тому часто використовуються для прогнозування у різних галузях економіки. Проте, як і інші класи моделей ARIMA і SARIMA мають як недоліки, так і переваги. До основних переваг відносять:

- легкість в розумінні та інтерпретації отриманих результатів, так на основі визначених коефіцієнтів ми можемо визначити як та чи інша складова часового ряду впливає на нього, а в результаті зрозуміти сутність самого процесу;
- невелика кількість змінних, так для прогнозування на основі авторегресійних моделей часто може вистачати лише часового ряду, також невелика кількість гіперпараметрів, дає змогу легко реалізувати цю модель.

Щодо недоліків авторегресійних моделей, то основним недоліком цих моделей є необхідність у великій кількості спостережень. Інші ж недоліки, пов'язані самими даними, що використовують у процесі прогнозуванні.

2.4. Використання нейронних мереж у прогнозуванні валютного курсу

Штучні нейронні мережі(ANN artificial neural networks) належать до методів машинного навчання. Цей метод здатен легко моделювати будь-які параметричні чи непараметричні процеси й автоматично підлаштовувати до оптимального вигляду вхідні дані. Тут обмежень у використанні як, наприклад в авторегресійних моделях в нього немає. А тому популярність нейронних мереж, щороку зростає, особливо це пов'язане з ускладненням економічних процесів в економіці. Хоча нейронні мережі більш широко представлені для задач класифікації та розпізнавання об'єктів, але також і на основі їх створенні різні алгоритми для прогнозування на основі часових рядів.

Система обробки даних в даному класі методів складається із великої кількості елементів(нейронів), які дуже тісно між собою пов'язані й функціонують з метою розв'язання специфічних проблем. Штучна нейронна мережа є універсальною функцією апроксимації будь-якого роду даних[39]. Також метод дуже добре оцінює як лінійні, так і нелінійні функції. Також штучні нейронні мережі здатні визначити тренд, який дуже складно помітити за допомогою інших методів. Основними перевагами методів заснованих на штучних нейронних мереж є:

- можливість адаптивного навчання(модель знає як виконати певне завдання на основі вихідних даних, що використовуються в процесі навчання);
- можливість самоорганізації(модель сама визначає оптимальну структуру на основі вхідних даних, тобто сама будує мережу з оптимальною кількістю входів, прихованих шарів та виходів, причому кількість виходів залежить від завдань мережі, при прогнозуванні кількість виходів дорівнює одиниці);
- здатність працювати в режимі реального часу(тобто здатність швидко змінювати власну структуру при надходженні нових даних, без виникнення серйозних проблем з параметрами моделі, при використанні авторегресійних методів та адаптивних методів зміна

даних чи поява нових спостережень може призвести до зміни параметрів моделей тому саме в цьому є основна перевага нейронних мереж над іншими методами прогнозування на основі часових рядів)

Метод штучних нейронних мереж був створений на основі принципів дії біологічних нейронів. ANN мають вхідні дані (які в біологічному нейроні представлені у вигляді дендритів) та вихідні дані (аксонами). Крім цього нейронні мережі прихований шар тобто певні ваги (нахили), які впливають на вихідні дані. Принцип навчання в штучних нейронних мережах полягає у зміні саме цих нахилів (ваг) і пристосуванні на основі їх моделі реальному процесу.

Найпростішим видом нейронної мережі є одношарова мережа (в загальному випадку, це є багатошаровий перцептрон Румельхарта), яка складається з одного шару вихідних вузлів, а входи подаються безпосередньо на виходи через ряд ваг. Таким чином, його можна вважати найпростішою формою мережі передачі інформації. Багатошарова нейронна мережа складається з декількох шарів обчислювальних одиниць, зазвичай взаємопов'язаних між собою в прямому напрямку. Приклад багатошарової нейронної мережі наведений на рис. 2.1.

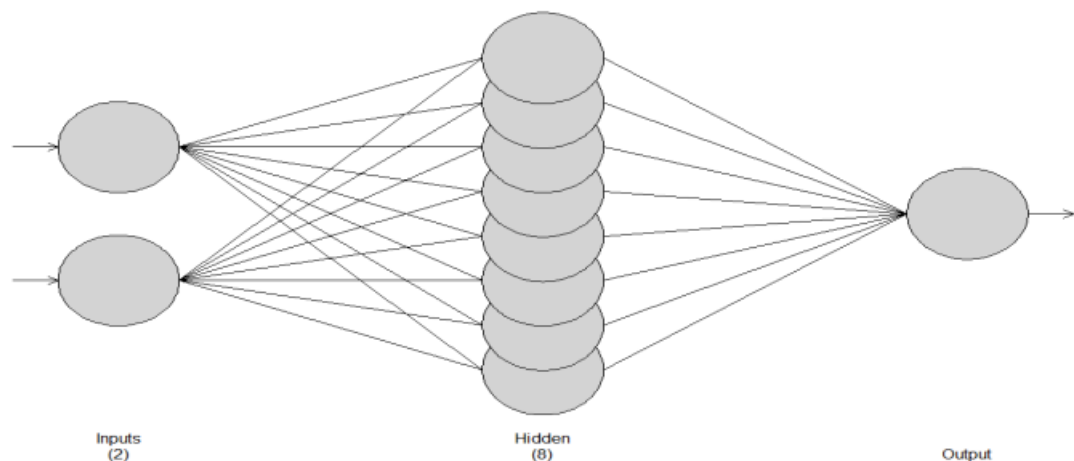


Рис. 2.1. Приклад простої нейронної мережі для задач прогнозування

Кожен нейрон в одному шарі спрямовував з'єднання до нейронів наступного шару. У багатьох додатках одиниці цих мереж застосовують сигмовидну функцію як функцію активації. Вона має вигляд:

$$Y = \frac{1}{1 + e^{-\sum w_i x_i + \theta}} \quad (2.18)$$

Процес навчання штучних нейронних мереж полягає у коригуванні ваг w_i . Найчастіше для цього використовують метод зворотного поширення помилки. Сутність методи полягає у тому, що він намагається мінімізувати квадрат різниці очікуваних даних від вихідних для кожного нейронну та нейронної мережі в цілому шляхом коригування ваг. Ця похибка обчислюється за формулою:

$$E = \frac{1}{2} \sum (y_{\text{очік}} - d_{\text{вих}})^2 \quad (2.19)$$

Мінімізація цієї похибки відбувається різними методами, одним із яких є метод градієнтного спуску. В загальному, процес коригування ваг набуває вигляду:

$$\hat{w}_k = w_k - n \frac{\partial E}{\partial w_k}, \quad (2.20)$$

де, n - швидкість навчання(зазвичай <1), а $\frac{\partial E}{\partial w_k}$ – це часткова похідна із функції похибки. Причому, ця часткова похідна залежить від того для яких ваг коефіцієнти ми розраховуємо. Для вихідного шару:

$$\frac{\partial E}{\partial w_k} = - y_{\text{пр}j} y_{\text{вих}} (1 - y_{\text{вих}}) (y_{\text{очік}} - y_{\text{вих}}), \quad (2.22)$$

де $y_{\text{пр}j}$ – значення мережі отриманої при виході із прихованих шарів, $y_{\text{вих}}$ – значення отримане на виході мереж, $y_{\text{очік}}$ – очікуване значення виходу.

Для прихованого шару часткова похідна розраховується за формулою:

$$\frac{\partial E}{\partial w_k} = - x_k w_{\text{пр}j} y_{\text{пр}j} (1 - y_{\text{пр}j}) y_{\text{вих}} (1 - y_{\text{вих}}) (y_{\text{очік}} - y_{\text{вих}}), \quad (2.21)$$

де y_{prj} – значення мережі отриманої при виході із прихованих шарів(вектор значень на виході із прихованого шару), $y_{вих}$ – значення отримане на виході мережі(вектор вихідних даних), $y_{очік}$ – очікуване значення виходу(вектор очікуваних значень), x_k - вхідні дані, w_{prj} – вектор вагових коефіцієнтів прихованого шару на передній ітерації.

Як можна зрозуміти з вищезазначеного математичного опису, процес побудови нейронної мережі відбувається за допомогою комп'ютерів, оскільки ручний обрахунок можливий, проте є доволі громіздким, оскільки може складатися зі 100 ітерацій коригування ваг. І чим більший масив даних, тим більший обсяг операцій потрібно буде виконати. Це вважають одним з основних проблем штучних нейронних мереж, оскільки вони дуже сильно залежать саме від комп'ютерної реалізації й вимагають знання певної мови програмування для реалізації, хоча ряд цей процес значно спростили бібліотеки до різних мов програмування, ще одна проблема практичного використання нейронних мереж полягає у тому, що самі нейронні мережі дуже швидко розвиваються, з'являються нові алгоритми, а також відбувається покращення уже створених, тому дослідники змушені дуже уважно слідкувати за розвитком даних алгоритмів. І третій, та основний недолік полягає у складності інтерпретації. Штучні нейронні мережі виступають у вигляді чорної скриньки, а як саме формуються модельовані значення дослідник не знає.

Для прогнозування на основі нейронних мереж використовуються різні архітектури нейронних мереж. Прикладом такої архітектури може виступати MLP(багатошаровий перцептрон) – це спрямована штучна нейронна мережа, яка генерує набір виходів з набору входів. MLP характеризується декількома шарами вхідних вузлів, з'єднаних між собою у вигляді спрямованого графіка між вхідним і вихідним шарами. Це найбільш використовувана мережева архітектура. Навчання в ній відбувається за допомогою зворотного поширення помилки.

Наступний вид нейронних мереж, який доволі часто використовується для прогнозування – це Extreme Learning Machine(ELM). Машина екстремального навчання (Extreme Learning Machine). ELM - це мережева архітектура з прямим зв'язком з одним прихованим рівнем (нейронна мережа з прямим зв'язком з одним прихованим рівнем, SLFN). Найбільша особливість полягає в тому, що вхідна вага та зміщення прихованого вузла генеруються випадковим чином у заданому діапазоні. До основних переваг даної архітектури відносять високу ефективність навчання та сильну здатність до узагальнення. Цю архітектуру часто використовується для задач класифікації, регресії, кластеризації, вивчення функцій тощо[40,41].

Як бачимо, для прогнозування курсу валют використовуються різні методи та моделі серед яких найпоширенішими є авторегресійні моделі, нейронні мережі, та адаптивні методи, причому вони дійсно мають практичне використання і застосовуються для побудови торгових стратегій та роботів для здійснення операцій на валютному ринку. Як уже зазначалось вище, поки що найпопулярнішим класом моделей для прогнозування курсу валют залишаються авторегресійні моделі та метод ARIMA безпосередньо, це зумовлено легкістю інтерпретації отриманих результатів. Проте, все більше зростає частка використання нейронних мереж у дослідженнях, це пов'язано з постійним зростанням обсягу даних та необхідністю миттєвої реакції на надходження нових даних. Щодо адаптивних методів то їх основна перевага в легкості побудови прогнозів на відміну від інших моделей, а тому для короткострокового прогнозування вони будуть використовуватись і далі.

Щодо методів аналізу валютного ринку, то виділяють технічний та фундаментальний аналіз, вони використовуються в однаковій мірі, а в основі їх лежать економіко-математичні методи. Ігнорування одного із видів аналізу для учасників валютного ринку призведе лише до фінансових та економічних втрат. А розуміння економіко-математичних методів значно збільшить ефективність використання технічного та фундаментального аналізу. Це зумовлено тим, що

валютний ринок доволі мінливий виникають нові фактори впливу, з'являється необхідність в нових торгових стратегіях, оскільки ефективність старих постійно зменшується. Виникає потреба в негайній реакції на зміни. Причому ця реакція має бути обґрунтована.

РОЗДІЛ 3. ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ПРОГНОЗУВАННЯ КУРСУ ОСНОВНИХ РЕЗЕРВНИХ ВАЛЮТ ТА ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЯКОСТІ НАЙБІЛЬШ ВИКОРИСТОВУВАНИХ МЕТОДІВ ТА МОДЕЛЕЙ

3.1. Прогнозування курсу валют на основі адаптивних та авторегресійних методів і моделей

Як зазначалось вище, для прогнозування курсу основних резервних валют буде використано адаптивні моделі, авторегресійні моделі та нейронні мережі. Адаптивні моделі це доволі широкий клас моделей, а тому саме для прогнозування курсу валют були обрані метод Брауна(як найпростіший в реалізації метод даного класу моделей), метод Хольта(модель Хольта здатна враховувати трендову складову, яка притаманна більшості економічним процесам), та метод Хольта-Вінтерса(модель є однією з найбільш використовуваних серед адаптивних моделей для прогнозування різних явищ в тому числі та курсу валют). З авторегресійних моделей було обрано методи ARIMA і SARIMA. Для реалізації цих методів буде використовуватись середовище мови програмування R та наявний в ньому інструментарій. Скрипт реалізації методів прогнозування наведений в додатку 1. Для прогнозування були використані курси основних резервних валют таких як британський фунт, євро, швейцарський франк та японська єна щодо долара США. Період даних взятих для прогнозування дорівнює п'яти рокам з 01 грудня 2016 року по 01 листопада 2022 року, частота спостережень – місяць.

Після завантаження даних в середовище, початкова вибірка була поділена на дві. Перша – тренувальна, на основі неї відбуватиметься побудова моделей кількість елементів цієї вибірки дорівнює $\text{length}(\text{data}) - h(\text{forecast period})$, тобто від загальної кількості спостережень ми обираємо ряд без останніх h спостережень, в нашому випадку період прогнозування складає 6 місяців. На

основі решти значень відбуватиметься перевірка якості прогнозу, а саме оцінка здатності моделей робити прогнози, які дійсно відповідають реальному явищу.

Перед початком побудови моделей та прогнозування нам спочатку потрібно перевірити ряд на наявність різних складових. В цьому нам може допомогти тест Дікі-Фуллера на перевірку стаціонарності та декомпозиція часового ряду. Так тест Дікі-Фуллера для валютної пари євро/долар рис. 3.1 вказує на нестаціонарність часового ряду оскільки $p > 0.05$ [42].

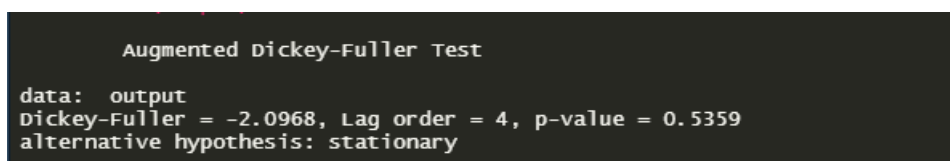


Рис. 3.1. Тест Дікі-Фуллера на стаціонарність курсу валютної пари EUR/USD

Це ж підтверджують і графіки декомпозиції часового ряду даної валютної пари рис. 3.2[43].

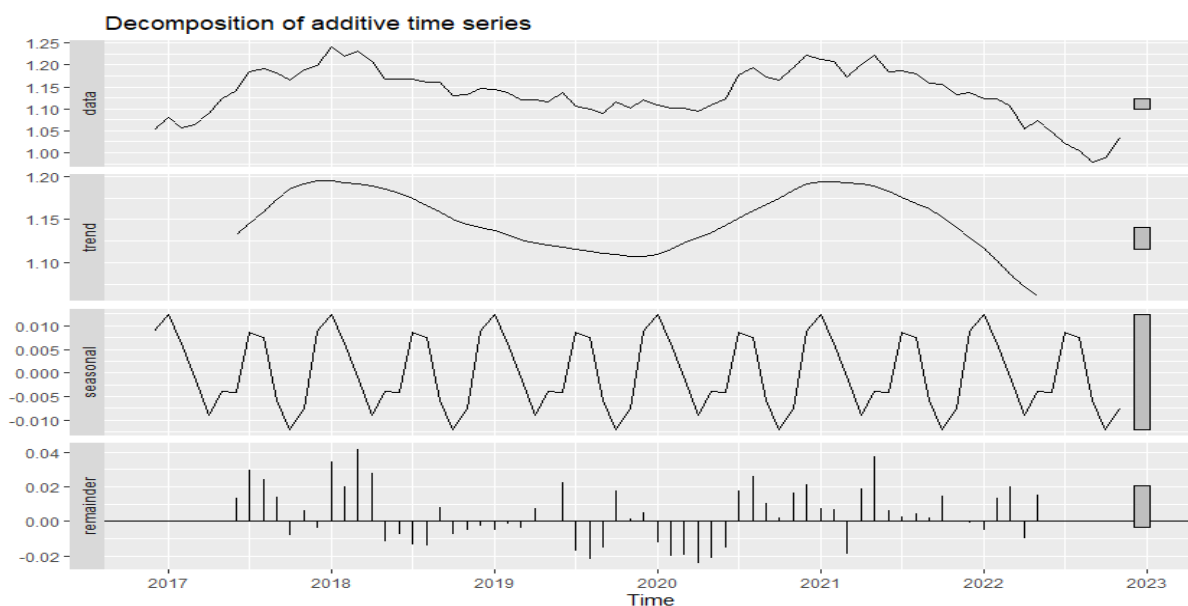


Рис. 3.2. Графік адитивної декомпозиції часового ряду курсу валютної пари EUR/USD

На рис. 3.2 яскраво видно, що в часовому ряду яскраво виражена трендова складова, яка і складає основу ряду, також можемо спостерігати чітко виражену сезонну складову. Щодо випадкової складової то вона незначна і серйозного впливу на формування курсу євро щодо долара США не чинить.

Щодо валютної пари швейцарський франк долар, то і як з євро тест Дікі-Фуллера вказав, що ряд нестационарний рис. 3.3, оскільки $p < 0.05$, через що ми не можемо відхилити нульову гіпотезу, тобто ряд має певну залежну від часу структуру.

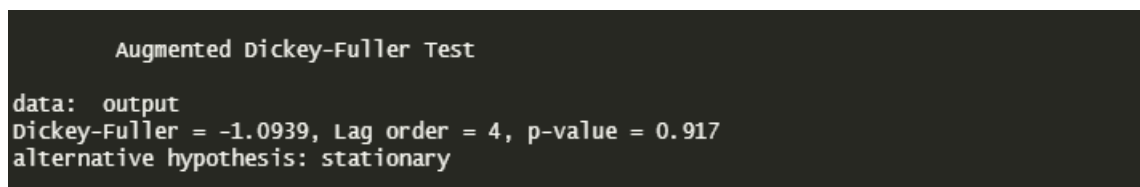


Рис. 3.3. Тест Дікі-Фуллера на стаціонарність курсу валютної пари CHF/USD

Що нам і підтверджує графік адитивної декомпозиції часового ряду курсу валютної пари CHF/USD рис. 3.4.

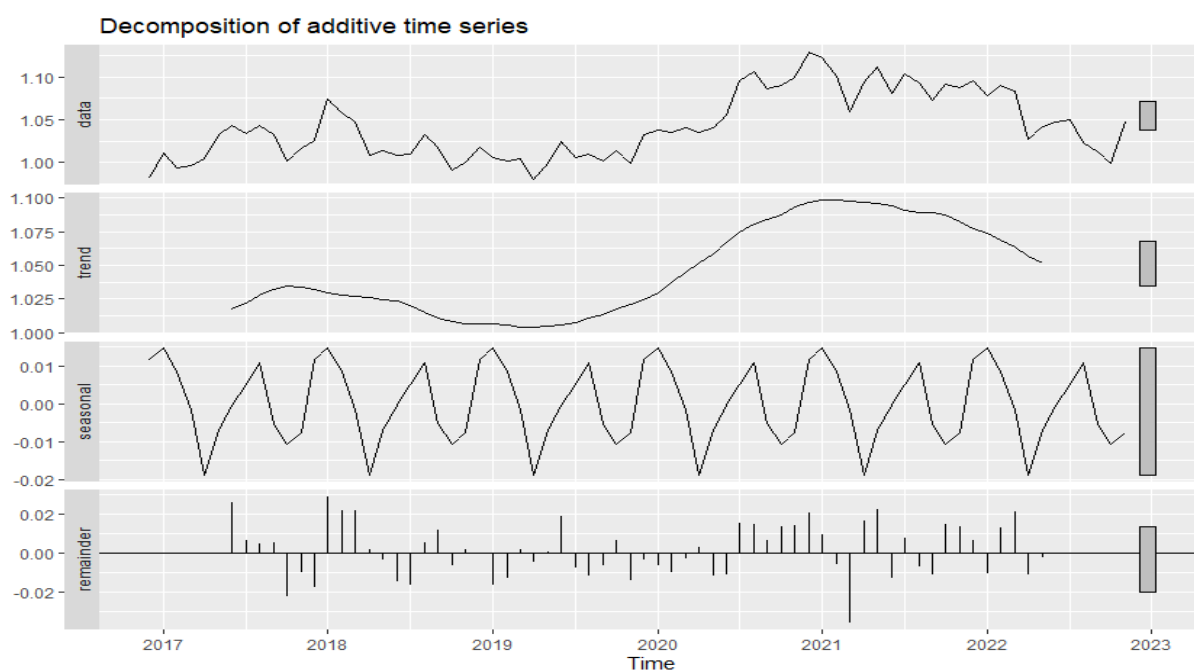


Рис. 3.4. Графік адитивної декомпозиції часового ряду курсу валютної пари CHF/USD

Як можемо бачити, поведінка курсу валютної пари CHF/USD схожа до поведінки EUR/USD. Причиною є те, що хоч Швейцарія і не входить в Європейський союз, але її економіка дуже тісно пов'язана з економіками європейських країн, а тому більшість процесів притаманних євро так чи інакше будуть притаманні та швейцарському франку. Особливо, це можна спостерігати на прикладі трендової складової, яка для двох валютних пар майже ідентична.

Щодо сезонної складової, то і як у випадку з євро спостерігається чітке зростання курсу у період новорічних свят та в середині літа. Часовий ряд валютного курсу JPY/USD теж не стаціонарний, оскільки тест Дікі-Фуллера не може відкинути нульову гіпотезу про сталість дисперсії у часі. Тобто тест свідчить про наявність тренду у ряді.

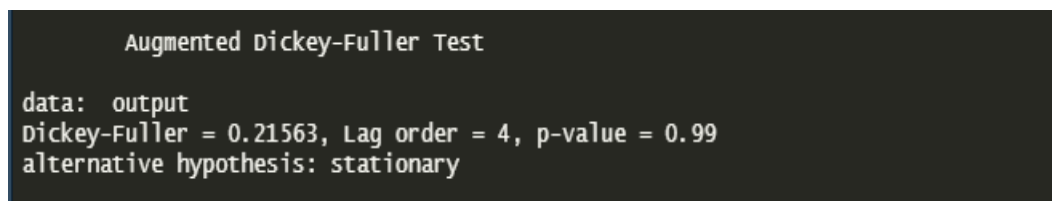


Рис. 3.5. Тест Дікі-Фуллера на стаціонарність курсу валютної пари JPY/USD

На це вказує і адитивна декомпозиція часового ряду валютного курсу
рис.7

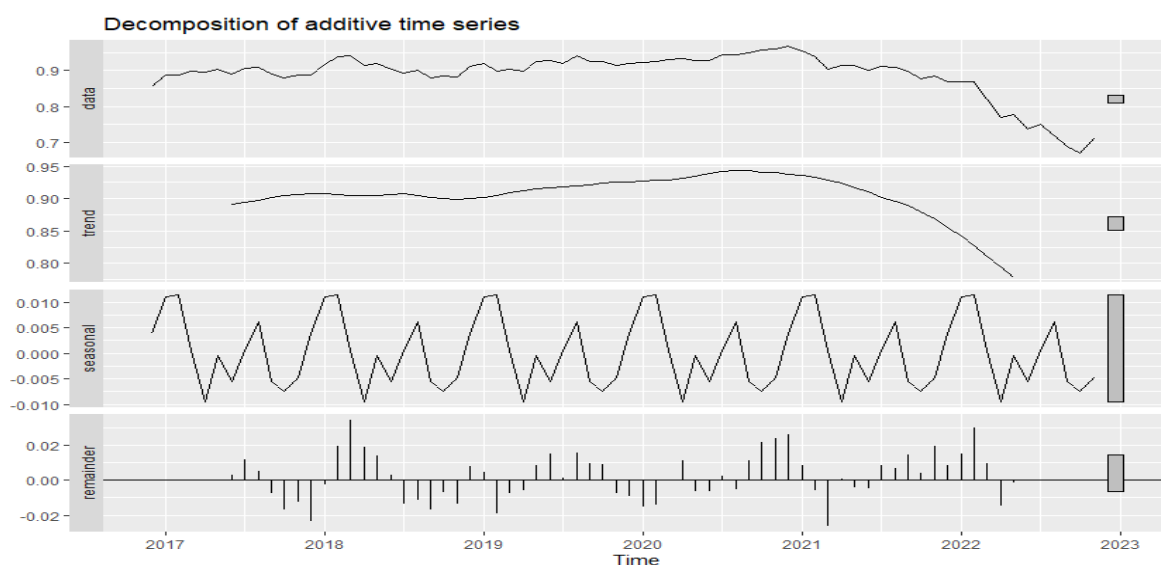


Рис. 3.6. Графік адитивної декомпозиції часового ряду курсу валютної пари JPY/USD

Як бачимо на відміну від євро і швейцарського франка, трендова складова єни дещо відрізняється. Якщо на початку періоду спостерігається відносна стабільність курсу, то на початку 2021 року і понині спостерігається падіння курсу єни, це слід пов'язувати з тим, що саме в цей період починають зростати ціни на енергоносії від яких залежать як європейські країни, так і Японія, поведінка сезонної складової схожа до поведінки сезонних складових

попередніх валют. І остання валютна пара GBP/USD. Як і у раніше досліджених валютних парах тест Дікі-Фуллера не відкинув нульову гіпотезу про відсутність у ряді елементів залежних від часу рис. 3.7.

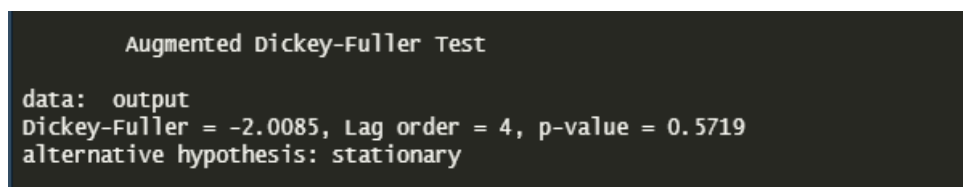


Рис. 3.7. Тест Дікі-Фуллера на стаціонарність курсу валютної пари GBP/USD

Підтвердження цього ми можемо спостерігати й на графіку адитивної декомпозиції елементів часового ряду курсу валют рис. 3.8. Його поведінка схожа до поведінки євро та швейцарського франка, що пов'язано з тісним зв'язком економіки Великобританії та європейського союзу навіть попри вихід першої з нього.

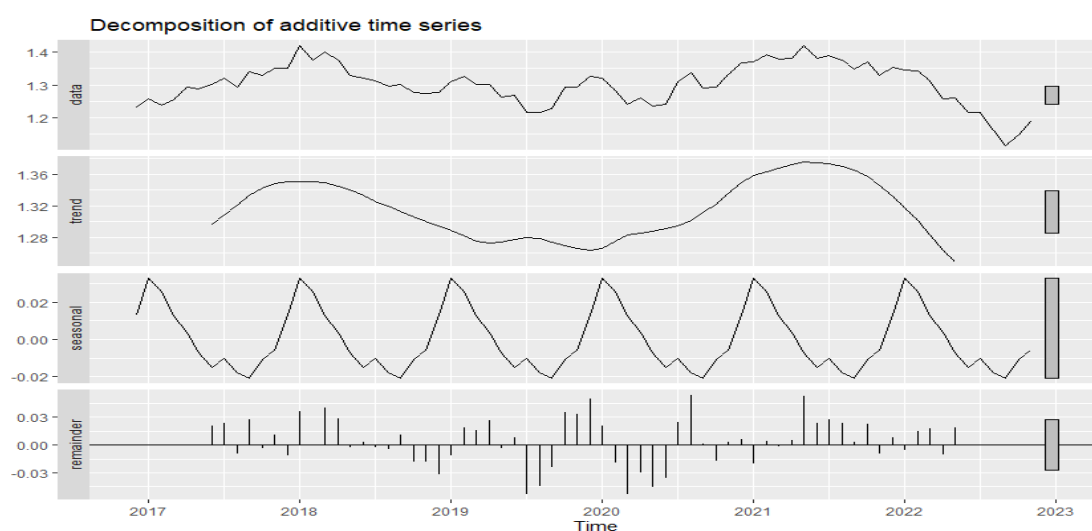


Рис. 3.8. Графік адитивної декомпозиції часового ряду курсу валютної пари JPY/USD

Ще однією причиною схожості поведінки досліджених валют є те, що вони беруться у порівнянні з долларом США, а отже, притаманна йому поведінка водночас відображається на всіх досліджуваних валютах тою чи іншою мірою.

Вищезазначена перевірка часових рядів на наявність різних складових була необхідна для подальшого процесу моделювання адаптивних моделей (а саме Хольта і Хольта-Вінтерса для яких наявність трендової й сезонної

складової є важливим фактом) та авторегресійних моделей, які ефективно працюють лише зі стаціонарними рядами, а тому для наших даних потрібно буде водити оператор різниці часового ряду d . Тепер ми можемо приступити до побудови моделі та прогнозування на основі цих часових рядів. Реалізація адаптивних методів прогнозування відбувається без використання програмних бібліотек, оскільки бібліотека `forecast`[44] надає найпростіші варіанти реалізації даних методів, особливо методу Брауна, а для складних процесів вона не зовсім підходить. Проте, ця бібліотека дає змогу реалізувати якісні авторегресійні моделі, а тому для побудови моделей та прогнозування на основі методів ARIMA та SARIMA використовувалась згадувана бібліотека. Щодо адаптивних методів то вони були реалізовані за допомогою програмного коду на основі формул наведених у 2 розділі. Так після побудови моделі Брауна (додаток 2) ми отримали графік рис. 3.9 на якому відповідно було виведено фактичні значення, модельовані та прогноз.

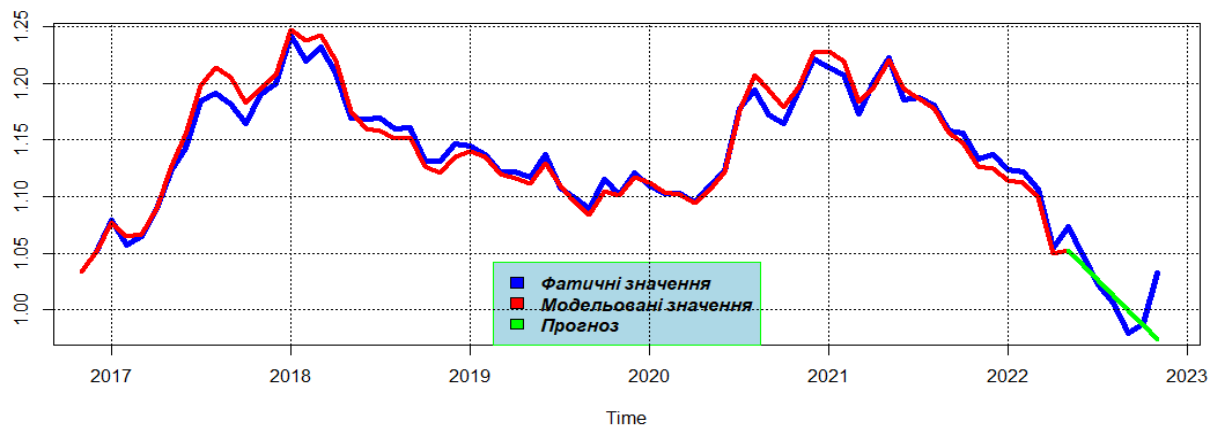


Рис. 3.9. Результати побудови моделі Брауна на основі курсу валют EUR/USD

Як можемо бачити на графіку модель доволі непогано опису явище. Модель дещо погано реагує на різкі коливання. Щодо прогнозу, то, як бачимо, чим більший період прогнозування, тим більше зростає відхилення прогнозованих значень від реальних, окрім того, модель не здатна врахувати зміну у тренді, що є основним недоліком даного класу моделей. Прогноз має лінійний характер, а тому стає неефективним при появі структурних зрушень у

явищі. В цілому в короткостроковій перспективі(до 3 місяців) модель дає доволі непоганий прогноз даного явища, подальше збільшення періоду прогнозу є неефективним. Щодо оцінки якості моделі, то з результатами можна ознайомитись в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Характеристики моделі Брауна для валютної пари EUR/USD

Характеристика	Значення
R^2	0,96
MAPE	0,66%
MAE	0,007

Як і модель Брауна модель Хольта була реалізована на основі математичного опису наведеного в розділі 2. Щодо коефіцієнтів згладжування, то їх пошук відбувався за допомогою процесу мінімізації суми квадратів різниці фактичних значень від модельованих. Так коефіцієнт згладжування рівнів ряду становив 0,71, а тренду 0,42.

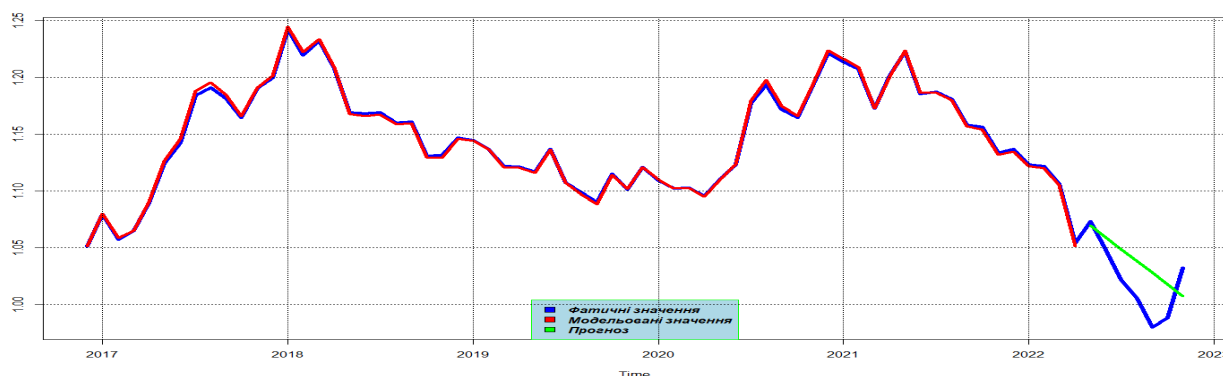


Рис. 3.10. Результати побудови моделі Хольта на основі курсу валют EUR/USD

Візуально оцінивши графік на рис. 3.10 можемо стверджувати, що модель Хольта краще описує явище за модель Брауна, оскільки вона здатна враховувати трендову складову, щодо прогнозу, то як можемо бачити він як і в моделі Брауна має лінійний характер. Щодо періоду прогнозування то модель як можемо бачити ефективна лише на короткий період часу і втрачає свою ефективність при зміні тренду. Також можемо спостерігати, що модель різко відреагувала на

останнє коливання, що призвело до того, що прогноз був завищений у порівнянні з фактичними значеннями. Характеристики моделі Хольта для валютної пари EUR/USD наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Характеристики моделі Хольта для валютної пари EUR/USD

Характеристика	Значення
R^2	0,9985
MAPE	0,12%
MAE	0,0014

Як і в моделі Хольта пошук параметрів для моделі Хольта-Вінтерса відбувався шляхом мінімізації суми квадратів різниці фактичних значень від модельованих. Так внаслідок цього ми отримали коефіцієнт згладжування ряду $a=0,61$, коефіцієнт згладжування тренду $b=0.59$ і коефіцієнт згладжування сезонності $s=0.15$. Період сезонності було обрано 12 спостережень.

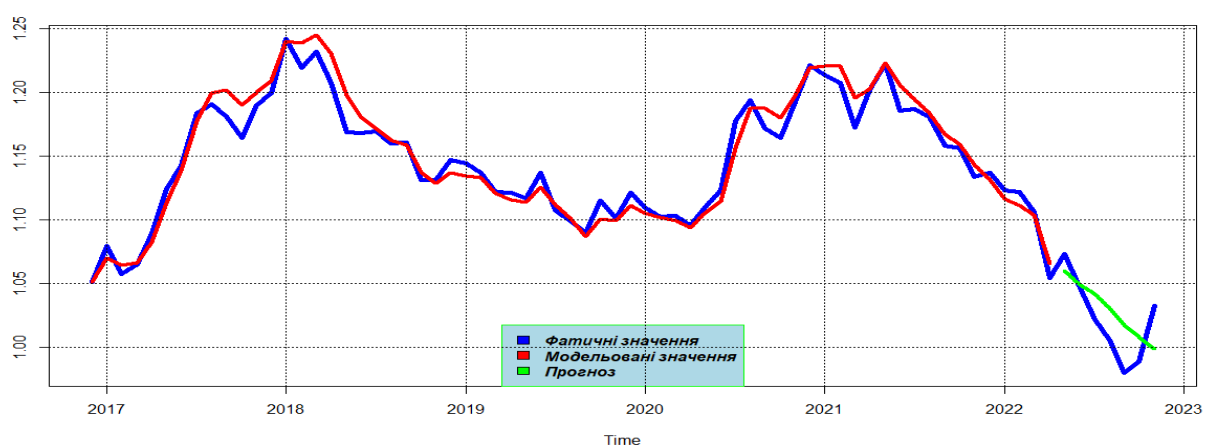


Рис. 3.11. Результати побудови моделі Хольта-Вінтерса на основі курсу валют EUR/USD

Як і інші адаптивні моделі, модель Хольта-Вінтерса здатна якісно описати явище, причиною цього є те, що вона здатна враховувати як трендова, так і сезонну складову. Як бачимо на рис. 3.11 модель Хольта-Вінтерса більш адаптована до зміни тренду. Також модель Хольта-Вінтерса здатна враховувати

в прогнозі минулі коливання, що дозволяє їй показувати кращі результати ніж інші адаптивні моделі. Щодо прогнозу, то в перший період модель здійснила доволі точний прогноз, проте зі збільшенням періоду прогнозу, як бачимо, зростає і відхилення реальних значень від прогнозованих. На останньому фактичному спостереженні можлива зміна тренду, а тому модель Хольта-Вінтерса, як і інші адаптивні моделі не здатна була цього передбачити. В таблиці 3.3 наведені характеристики моделі Хольта-Вінтерса для валютної пари EUR/USD.

Таблиця 3.3

Характеристики моделі Хольта-Вінтерса для валютної пари EUR/USD

Характеристика	Значення
R^2	0,95
MAPE	0,72%
MAE	0,008

Далі перейдемо до валютної пари CHF/USD. Процес побудови моделей Брауна, Хольта та Хольта-Вінтерса для цієї валютної пари ідентичний попередньому. Різняться лише коефіцієнти згладжування моделі. Так для моделі Брауна на основі даних валютної пари CHF/USD коефіцієнт згладжування становив 0,27. Результати моделювання наведені на графіку нижче(рис. 3.12).

Як можемо спостерігати, модель Брауна сильно згладила часовий ряд, оскільки в ньому присутня значна кількість коливань. На це вказує і низьке значення коефіцієнта згладжування, оскільки чим більш наблизений коефіцієнт згладжування до 1, тим більше модель наблизена до реальних значень, але при цьому прогноз здійснюватиметься на основі виключно останнього значення, що немає жодного сенсу.

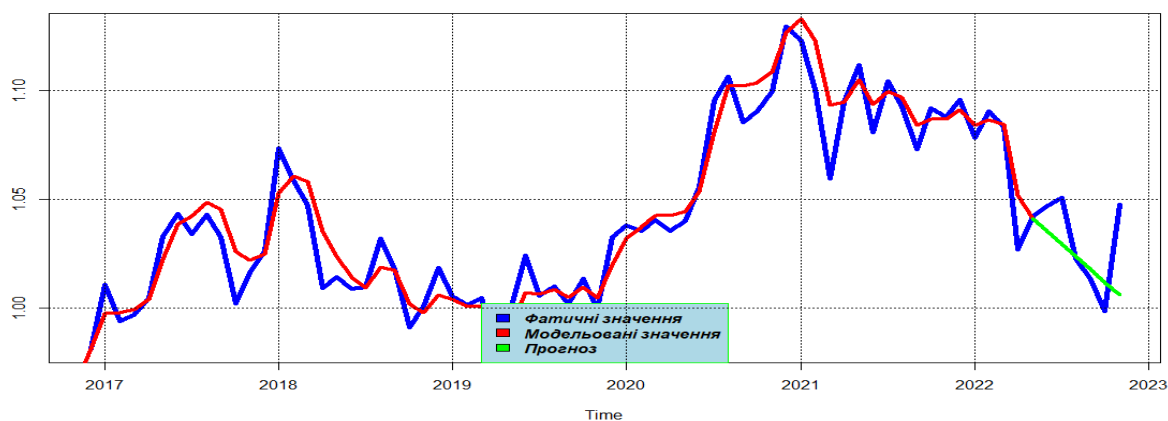


Рис. 3.12. Результати побудови моделі Брауна на основі курсу валют CHF/USD

В кінці періоду спостерігається стрімка зміна напрямків руху досліджуваного явища, а тому ми можемо спостерігати значне відхилення прогнозованих значень від реальних з тестувальної вибірки, оскільки модель Брауна не здатна спрогнозувати такого роду коливання. В таблиці 3.4 наведена характеристика моделі Брауна для валютної пари CHF/USD.

Таблиця 3.4

Характеристики моделі Брауна для валютної пари CHF/USD

Характеристика	Значення
R^2	0,93
MAPE	0,73%
MAE	0,008

На рис. 3.13 можемо побачити, що модель Хольта найкращим чином описує поведінку валютної пари CHF/USD. Першу чергу це завдяки високим коефіцієнтам згладжування ($a=0,67$, $b=0.5$).

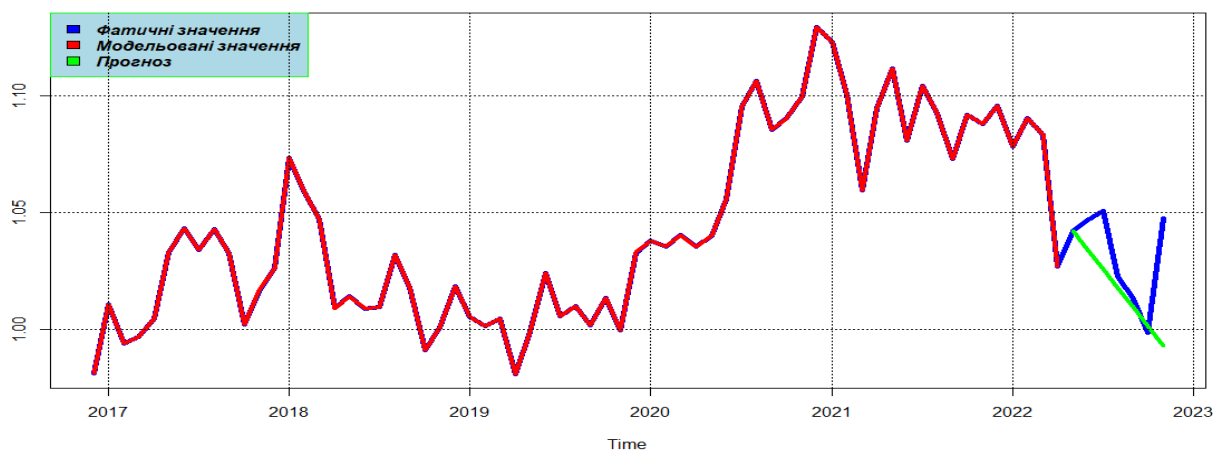


Рис. 3.13. Результати побудови моделі Хольта на основі курсу валют CHF/USD

Проте, як можемо бачити на рис. 3.13, прогнозовані явища хоч і наближені до фактичних, проте лінійний характер прогнозу не дає змоги відреагувати на різного роду коливання чи можливу зміну тренду. Цей недолік прослідковується у всіх адаптивних моделях. Характеристики моделі Хольта для валютної пари CHF/USD наведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5

Характеристики моделі Хольта для валютної пари CHF/USD

Характеристика	Значення
R^2	0,99
MAPE	0,003%
MAE	0,00025

На прикладі характеристик моделі Хольта валютної пари CHF/USD ми можемо побачити як здатні адаптивні моделі прогнозування пристосовуватись до даних. В основі більшості оцінок якості моделі лежить порівняння відхилення прогнозованих значень від фактичних, адаптивні ж моделі завдяки

коефіцієнтам згладжування здатні повністю описувати поведінку часового ряду, чим значно завищувати показники якості моделі.

Поведінка моделі Хольта-Вінтерса схожа до поведінки моделі Хольта, але крім цього вона намагається врахувати сезонну складову, і перенести її на прогноз, що ми можемо бачити на рис. 3.14.

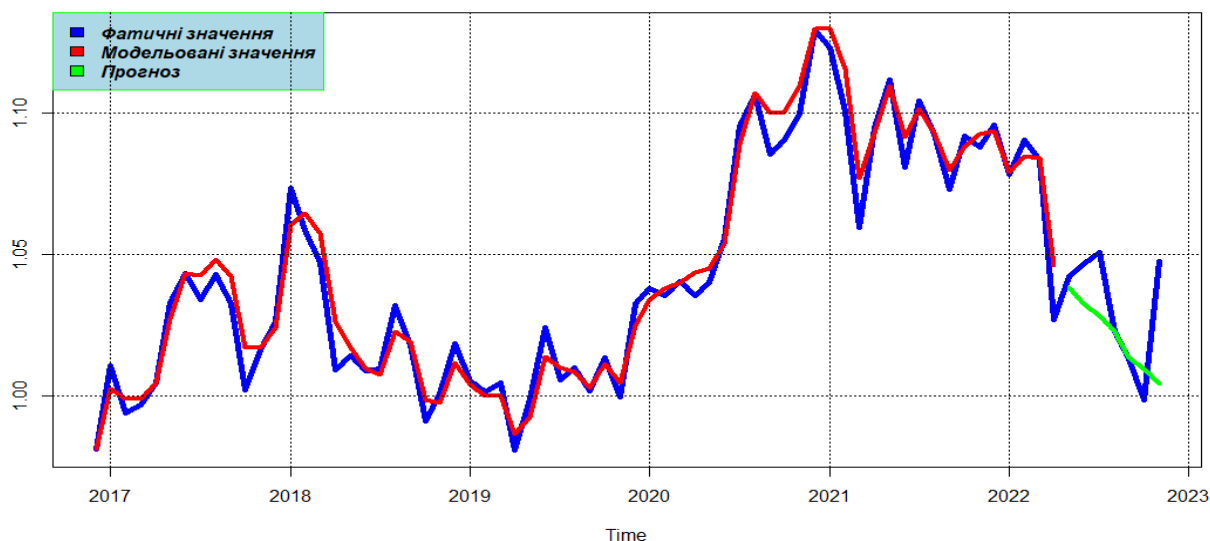


Рис. 3.14. Результати побудови моделі Хольта-Вінтерса на основі курсу валют CHF/USD

Хоч і характеристики моделі Хольта-Вінтерса(таблиця 3.6) дещо нижчі за характеристики моделі Хольта, проте, як ми бачимо з графіка на рис. 3.14, модель Хольта-Вінтерса здійснює кращий прогноз, за модель Хольта.

Таблиця 3.6

Характеристики моделі Хольта-Вінтерса для валютної пари CHF/USD

Характеристика	Значення
R^2	0,97
MAPE	0,51%
MAE	0,0054

Тобто ми на прикладі побудови моделі та прогнозуванні курсу валютної пари CHF/USD ми можемо стверджувати, що не завжди високі характеристики якості адаптивних моделей, свідчать про високу якість прогнозу.

Наступна валютна пара японська єна/долар(JPY/USD). Для моделі Брауна коефіцієнт згладжування рівнів ряду склав 0,27. На рис. 3.15 ми можемо побачити модель дещо згладила часовий ряд, проте й у самому ряді відсутні значні коливання, і лише з початку 2021 року валютна пара JPY/USD демонструє стійкий тренд до падіння курсу.

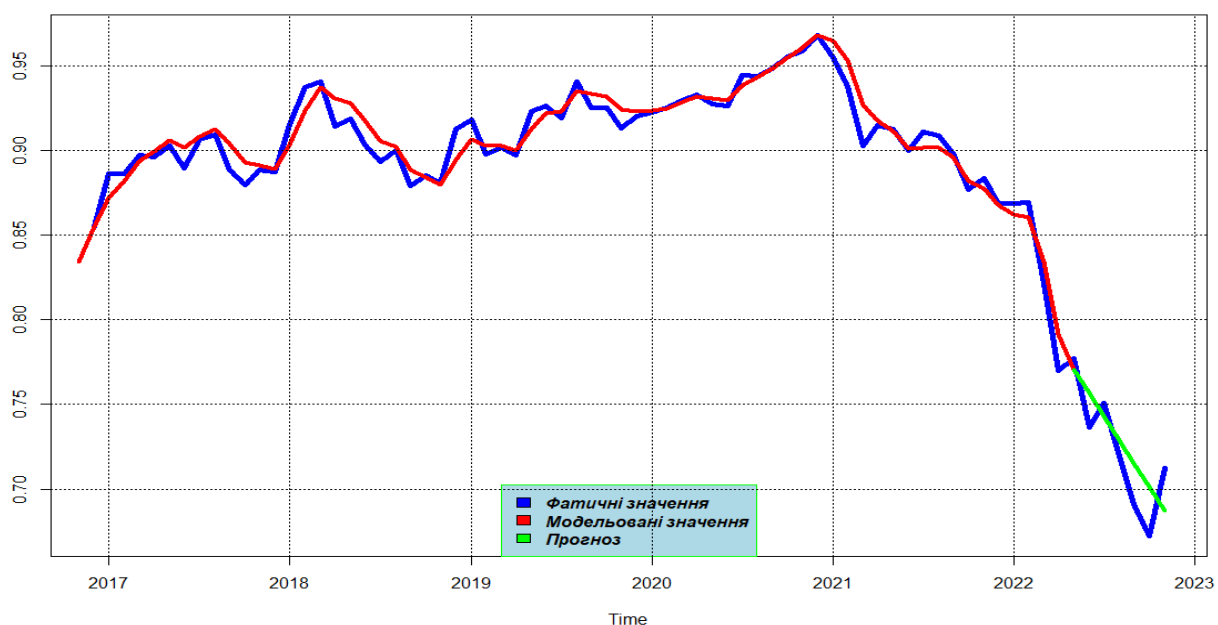


Рис. 3.15. Результати побудови моделі Брауна на основі курсу валют CHF/USD

Щодо прогнозу, як можемо бачити на рис. 3.15 він доволі точний на перших трьох періодах прогнозування, проте далі спостерігається відхилення від реальних значень, тобто на прикладі цієї валютної пари ми можемо побачити, що модель Брауна не здатна спрогнозувати не лише зміну тренду, але й стрімку зміну курсу(в нашому прикладі стрімке падіння курсу). Характеристика моделі Брауна для валютної пари JPY/USD наведена в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7

Характеристики моделі Брауна для валютної пари JPY/USD

Характеристика	Значення
R^2	0,94
MAPE	0,71%
MAE	0,006

Для моделі Хольта коефіцієнти згладжування склали $a=0.67$, $b=0.5$. Як бачимо, уже для другої валютної пари внаслідок оптимізації були визначені однакові параметри згладжування, однією з причин цього є те, що валютна всі досліджувані валюти взяті у порівнянні з доларом США, а як зазначалось вище валютний курс залежить від зміни різного роду факторів в обох країнах. На рис. 3.16 відображені результати моделювання і прогнозування курсу валютної пари JPY/USD методом Хольта.



Рис. 3.16. Результати побудови моделі Хольта на основі курсу валют CHF/USD

Як і у випадку зі швейцарським франком модель Хольта доволі точно описала часовий ряд валютного курсу. Також можемо бачити, що модель Хольта краще реагує на стрімкі зміни на відміну від моделі Брауна, а тому здатна надавати набагато кращий прогноз. Щодо характеристик якості моделі, які

наведені в таблиці 3.8, то і як у випадку зі швейцарським франком, вони доволі високі.

Таблиця 3.8

Характеристики моделі Хольта для валютної пари JPY/USD

Характеристика	Значення
R^2	0,99
MAPE	0,0019%
MAE	0,00017

Ще однією причиною того, що середня абсолютна відсоткова похибка та середня абсолютна похибка, такі низькі є саме явище. Для прогнозування були взяті основні резервні валюти, які є доволі стабільними, а зміни, що відбуваються з ними мінімальні, і похибка моделі в 0,01 для моделей таких валютних пар є значною. Для прогнозу на декілька місяців вперед це не так критично, проте, якщо використовувати такі моделі для щоденної спекулятивної торгівлі на валютному ринку, то це призведе до значних фінансових втрат.

Модель Хольта-Вінтерса демонструє поведінку схожу, з поведінкою моделі Хольта, причому, при пошуку оптимальних критеріїв згладжування, модель неодноразово намагалась встановити коефіцієнт згладжування сезонності рівним нулю. Тобто повністю виключити наявність сезонності в явищі, але оскільки нами було визначено при дослідженні явища, що в часовому явищі, хоч і незначним чином присутня сезонна складова, а тому були встановлені додаткові обмеження на коефіцієнти, і встановлена умова, що вони не можуть дорівнювати нулю. Така ж ситуація часто характерна моделі Хольта, коли вона намагається повністю виключити трендову складову, хоча дослідження часового ряду свідчать при цьому про її наявність. В цьому і проявляється основна складність використання адаптивних моделей. Результати побудови моделі Хольта-Вінтерса для валютної пари JPY/USD наведені на рис 3.17.

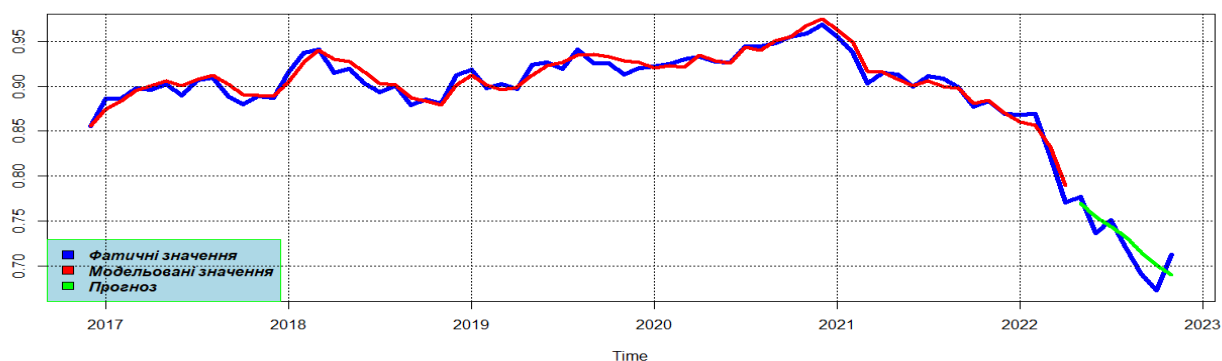


Рис. 3.17. Результати побудови моделі Хольта-Вінтерса на основі курсу валют CHF/USD

Щодо характеристик якості моделі, то як і при моделюванні поведінки попередніх валютних пар модель Хольта-Вінтерса показує доволі високі результати. Проте, вони є дещо нижчими від моделі Хольта, при цьому як можемо бачити на рис. 3.17 обидві моделі надали майже однакові прогнози.

Таблиця 3.9

Характеристики моделі Хольта-Вінтерса для валютної пари JPY/USD

Характеристика	Значення
R^2	0,95
MAPE	0,67%
MAE	0,006

І остання валютна пара – це британський фунт щодо долара США. В процесі мінімізації суми квадратів різниці фактичних значень від модельованих нами було знайдено оптимальний коефіцієнт згладжування рівнів ряду $\alpha=0,41$. Результати моделюванні поведінки часового ряду валютної пари GBP/USD методом Брауна наведена на рис. 3.18.

Як і у випадку зі швейцарським франком можемо спостерігати, що моделі складно описувати різкі коливання, що в результаті призводить до завищених або занижених модельованих значень.

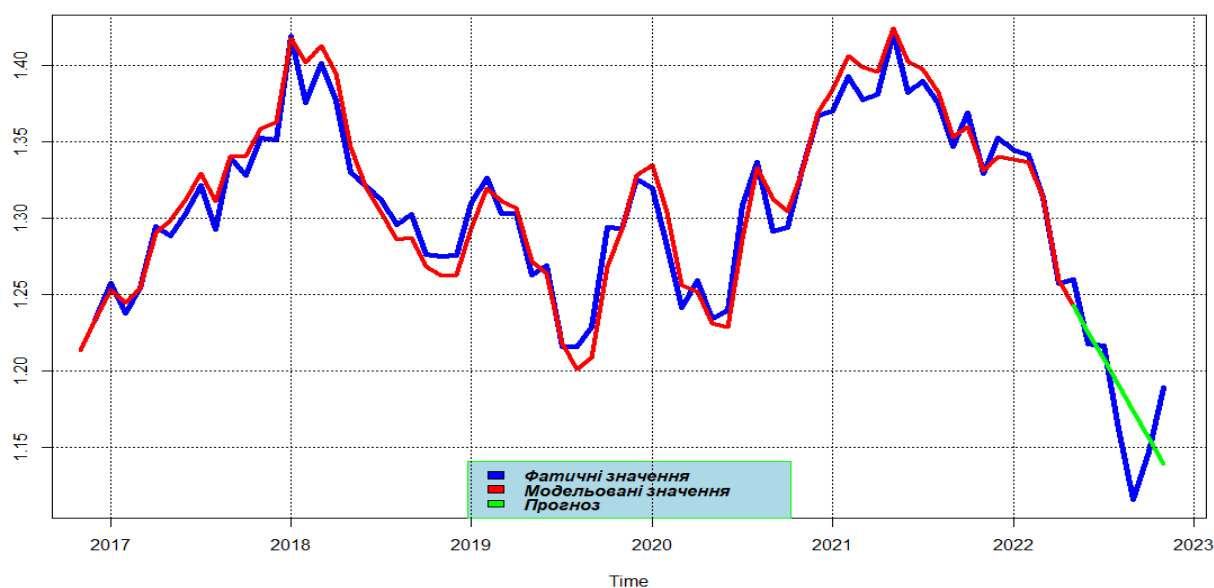


Рис. 3.18. Результати побудови моделі Брауна на основі курсу валют GBP/USD

Проте, в цілому модель Брауна, як і інші адаптивні моделі, якісно описує часовий ряд. Щодо прогнозу, то тут як і в попередніх випадках прослідковується нездатність моделі спрогнозувати стрімку зміну явища, хоча така поведінка часового ряду уже повторювалась декілька раз. Проте, модель Брауна як і інші методи експоненційного згладжування приділяє більшу увагу саме останньому спостереженню і на його основі будує прогноз. Характеристики моделі часового ряду валютної пари GBP/USD наведені в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10

Характеристики моделі Брауна для валютної пари GBP/USD

Характеристика	Значення
R^2	0,94
MAPE	0,74%
MAE	0,009

Коефіцієнт згладжування рівнів ряду моделі Хольта валютної пари GBP/USD склав 0.67, а тренду 0,5. Як можемо помітити на рис 3.19, графік модельованих значень повністю повторює графік фактичних значень, проте,

щодо прогнозу то можемо спостерігати ситуацію коли він дещо вищий від реальних значень.

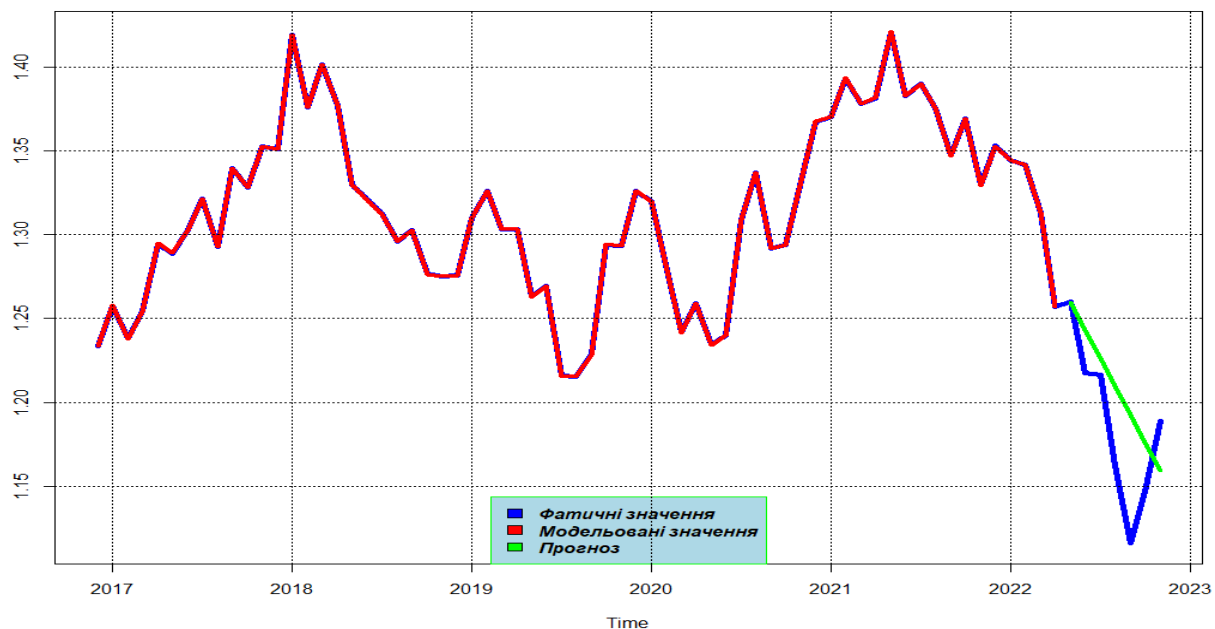


Рис. 3.19. Результати побудови моделі Хольта на основі курсу валют GBP/USD

Причиною цього є те, що адаптивні моделі найбільшу увагу звертають саме на останнє значення при прогнозуванні, і як можемо бачити на останньому спостереженні відбулось невелике коливання курсу відносно тренду, що відразу відобразилось на прогнозі. Оскільки, це коливання було вгору, тому можна стверджувати, що коливання відносно тренду на останніх спостереженнях можуть спотворити прогноз. Характеристики моделі Хольта наведені в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11

Характеристики моделі Хольта для валютної пари GBP/USD

Характеристика	Значення
R^2	0,99
MAPE	0,01%
MAE	0,00015

Результати моделювання поведінки часового ряду методом Хольта-Вінтерса із коефіцієнтами згладжування $a=0.75$, $b=0.18$ та $s=0.15$, представлені на рис. 3.20.

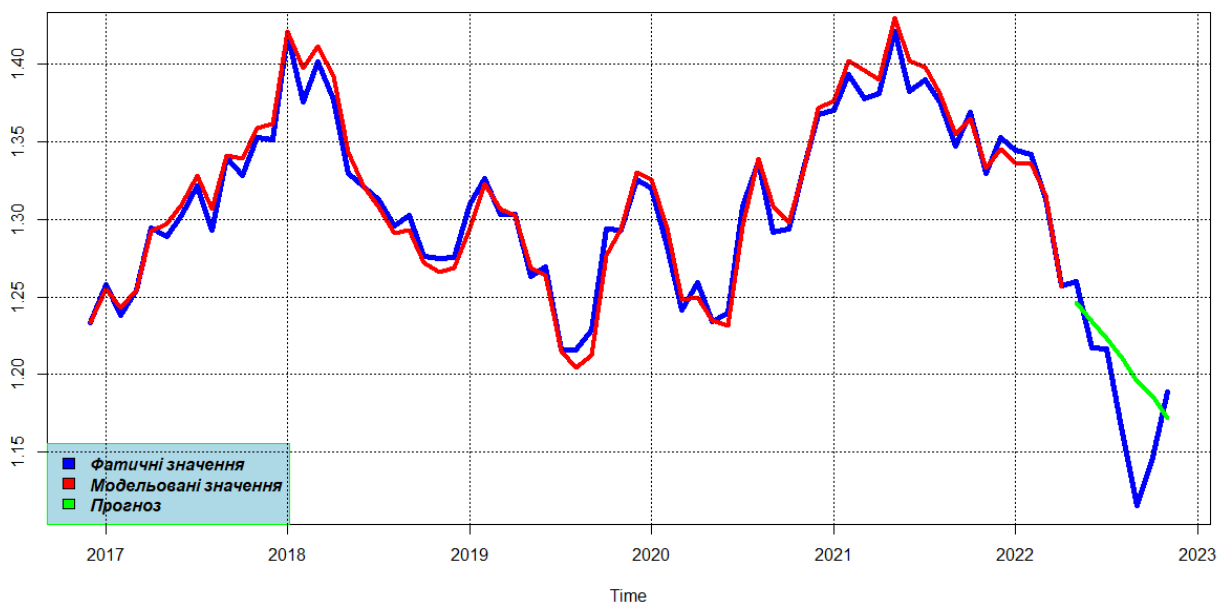


Рис. 3.20. Результати побудови моделі Хольта-Вінтерса на основі курсу валют GBP/USD

Як можемо спостерігати на графіку модель Хольта-Вінтерса погано реагує на значні коливання в ряду, причому потім вона намагається врахувати ці коливання в прогнозі, що ми можемо спостерігати, внаслідок чого відбулося зміщення прогнозу. Також як і решта адаптивних моделей модель Хольта-Вінтерса не змогла спрогнозувати різкого падіння курсу. Щодо характеристик якості моделі то вони наведені в таблиці 3.12.

Таблиця 3.12

Характеристики моделі Хольта-Вінтерса для валютної пари GBP/USD

Характеристика	Значення
R^2	0,97
MAPE	0,55%
MAE	0,007

В цілому адаптивні методи та моделі непогано описують поведінку часових рядів обраних валютних, проте, при перевірці відповідності прогнозу створеного на основі тренувальної вибірки, реальним значенням спостерігається ситуація, що зі збільшенням періоду прогнозу значно знижується його точність. Також в адаптивних методах і моделях останні рівні ряду чинять найбільший вплив на прогноз, і якщо на останніх спостереженнях відбувається таке коливання, це призводить до зміщення прогнозів. Хоча така ситуація притаманна усім методам в основі яких лежить експоненційне згладжування. Адаптивні моделі мають доволі високі характеристики якості моделей, проте, слід розуміти, що коефіцієнти підбирались шляхом мінімізації похибки, яка лежить в основі більшості оцінок, а тому висока оцінка якості адаптивних моделей є цілком очевидним фактом. Проте, у процесі моделювання слід коригувати параметри згладжена власноруч. Оскільки, в прагненні отримати високі характеристики якості, ми можемо втратити присутні в часових рядах елементи такі як тренд та сезонність, або переоцінити їх вплив.

Наступний клас моделей – це авторегресійні моделі, та найбільш використовувані його представники моделі AARIMA і SARIMA. Для прогнозування курсу валют на основі цих моделей буде використовуватись бібліотека до мови програмування R «forecast».

Як зазначалось вище, авторегресійні моделі можуть працювати виключно із стаціонарними рядами, якщо часові ряди нестаціонарні, то за допомогою параметра різниці нестаціонарний часовий ряд зводиться до стаціонарного. Щоб побудувати авторегресійну модель ARIMA ми будемо використовувати функцію «auto.arima». За допомогою цієї функції ми побудуємо модель ARIMA з оптимальними з точки зору бібліотеки параметрами. Характеристики моделі побудованої за допомогою цієї функції наведені на рис. 3.21.

```

Series: tdata
ARIMA(1,0,0) with non-zero mean

Coefficients:
      ar1      mean
      0.9195  1.1248
s.e.   0.0504  0.0297

sigmaA2 = 0.0004523:  log likelihood = 160.57
AIC=-315.15   AICc=-314.76   BIC=-308.58

```

Рис. 3.21. Параметри моделі ARIMA(1,0,0) часового ряду EUR/USD побудована за допомогою функції "auto.arima"

Як можемо бачити функція побудувала звичайну авторегресійну модель вигляду AR(1). Хоча параметр AIC доволі низький, проте, слід перевірити наявність автокореляції між залишками ряду, в цьому нам допоможе функція «`tsdisplay`», яка виведе дані про автокореляцію та часткову автокореляцію залишків даної моделі у вигляді графіку.

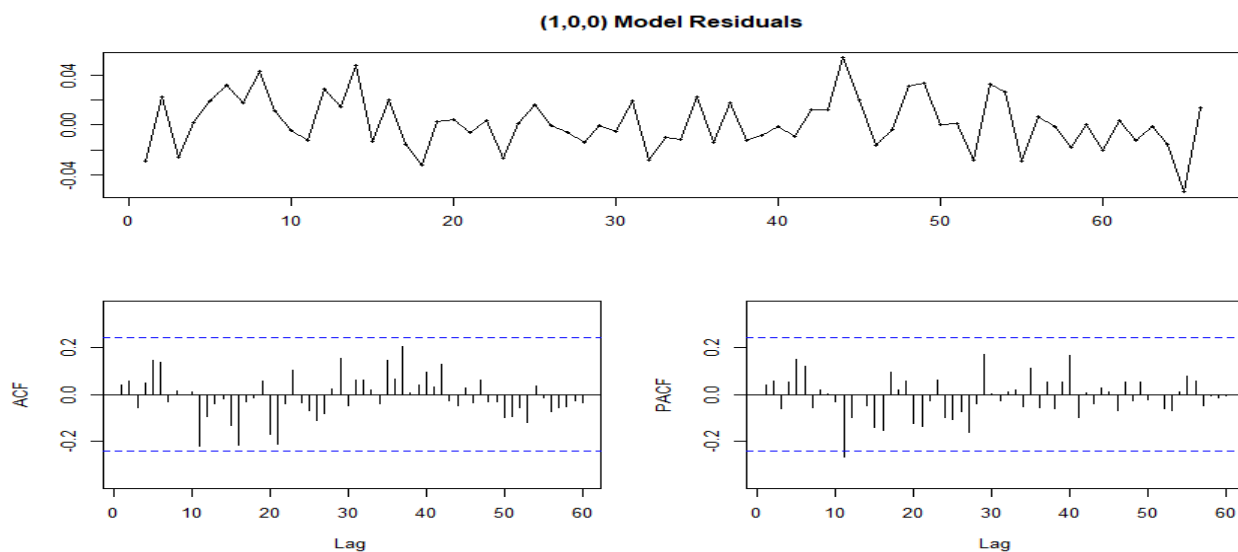


Рис. 3.22. Графіки залишків моделі ARIMA(1,0,0) валютної пари EUR/USD та наявності автокореляції чи часткової автокореляції між ними

Як можемо бачити на графіку присутня автокореляція кореляція залишків на 11-12 лазі, що свідчить про те, що параметри моделі слід шукати в проміжку від 1 до 12. Це можливо способом перебору, або використати оптимізаційну функцію. І додавати лаги до моделі слід до того часу, поки автокореляція між залишками не зникне. Також не слід забувати й про те, що ряд EUR/USD нестационарний. А отже потрібно буде додати оператор різниці часового ряду.

Для побудови моделі буде використовуватись функція «arima», на вхід якій потрібно подати часовий ряд та вектор параметрів, існують й інші елементи для більш детального налаштування моделі, але ці дві є обов'язковими. Так нами було визначено, що найкращим чином описує поведінку часового ряду EUR/USD модель вигляду ARIMA(2,2,2)(рис. 3.23)

```
Call:
arima(x = tdata, order = c(2, 2, 2))

Coefficients:
      ar1      ar2      ma1      ma2
  0.7859 -0.326 -1.7772  1.0000
s.e.  0.1203  0.126  0.0932  0.1031

sigma^2 estimated as 0.0004105: log likelihood = 155.49, aic = -300.98
```

Рис. 3.23. Параметри моделі ARIMA(2,2,2) часового ряду EUR/USD

На рис. 3.23 наведені отримані параметри моделі, що використовуються надалі для побудови прогнозних значень. Також, як бачимо AIC дещо піднявся, проте незначним чином. Щодо автокореляції та часткової автокореляції то на рис. 3.24 можемо побачити, що вона знаходиться в допустимих межах.

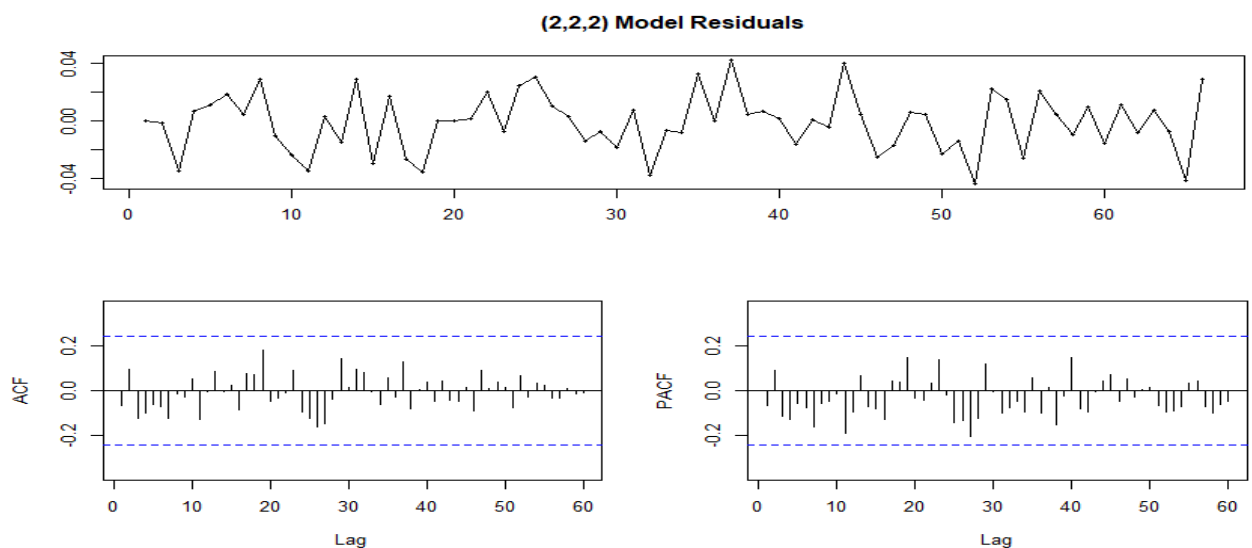


Рис. 3.24. Графіки залишків моделі ARIMA(2,2,2) валютної пари EUR/USD та наявності автокореляції чи часткової автокореляції між ними

Далі перейдемо до оцінки результатів моделювання. Як можемо бачити на рис. 3.25. Обрана модель доволі якісно описує явище. Щодо прогнозу, то, як бачимо, що прогнозовані значення повністю відповідають фактичним, лише на останньому прогноз модель здійснила, помилку, але як і у випадку з

адаптивними моделями можливу зміну тренду моделям вкрай складно спрогнозувати.

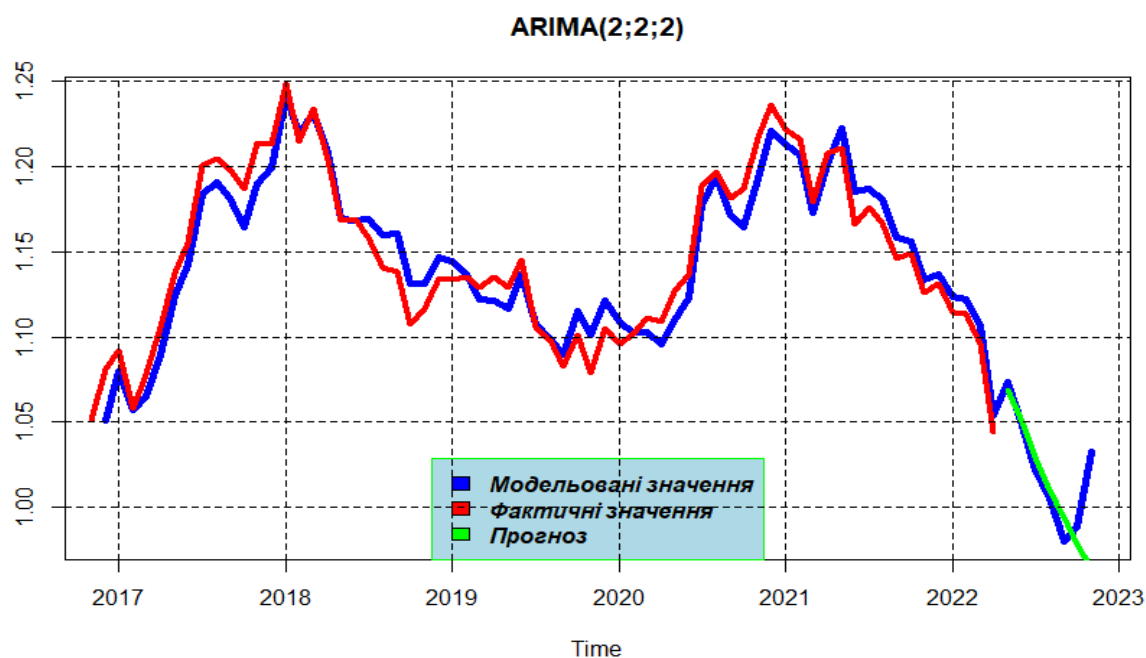


Рис. 3.25. Результати побудови ARIMA(2,2,2) моделі часового ряду валютної пари EUR/USD

Щодо характеристик оцінки моделі то вони наведені в таблиці 3.13.

Таблиця 3.13

Характеристики моделі ARIMA(2,2,2) для валютної пари EUR/USD

Характеристика	Значення
R^2	0,92
MAPE	1%
MAE	0,014

Оскільки, на етапі перевірки даних нами було встановлено, що в часовому ряді валютної пари EUR/USD присутня незначна сезонність тому слід також перевірити SARIMA модель. Для створення сезонної SARIMA використовуватиметься «arima», яка використовувалась і для побудови ARIMA моделі, єдина відмінність полягатиме у тому, що на вхід окрім вектора параметрів ARIMA моделі ми також подаємо параметри сезонної компоненти.

На рис. 3.26 ми можемо побачити результати моделювання. Найкращим варіантом моделі з урахуванням сезонності стала модель SARIMA(0,1,2)X(0,1,1).

```

call:
arima(x = tdata, order = c(0, 1, 2), seasonal = c(0, 1, 1))

Coefficients:
      ma1      ma2      sma1
    -0.3144 -0.2189 -0.6545
s.e.   0.4385  0.1739  0.4269

sigma^2 estimated as 0.0004675: log likelihood = 153.79, aic = -299.59

```

Рис. 3.26. Параметри моделі SARIMA(0,1,2)X(0,1,1) часового ряду EUR/USD

Також на рису. 3.26 ми можемо бачити параметри моделі. АІС дещо вищий від моделі ARIMA. Щодо оцінки автокореляції залишків то як можемо бачити з рис. 3.27, вони знаходяться в межах норми.

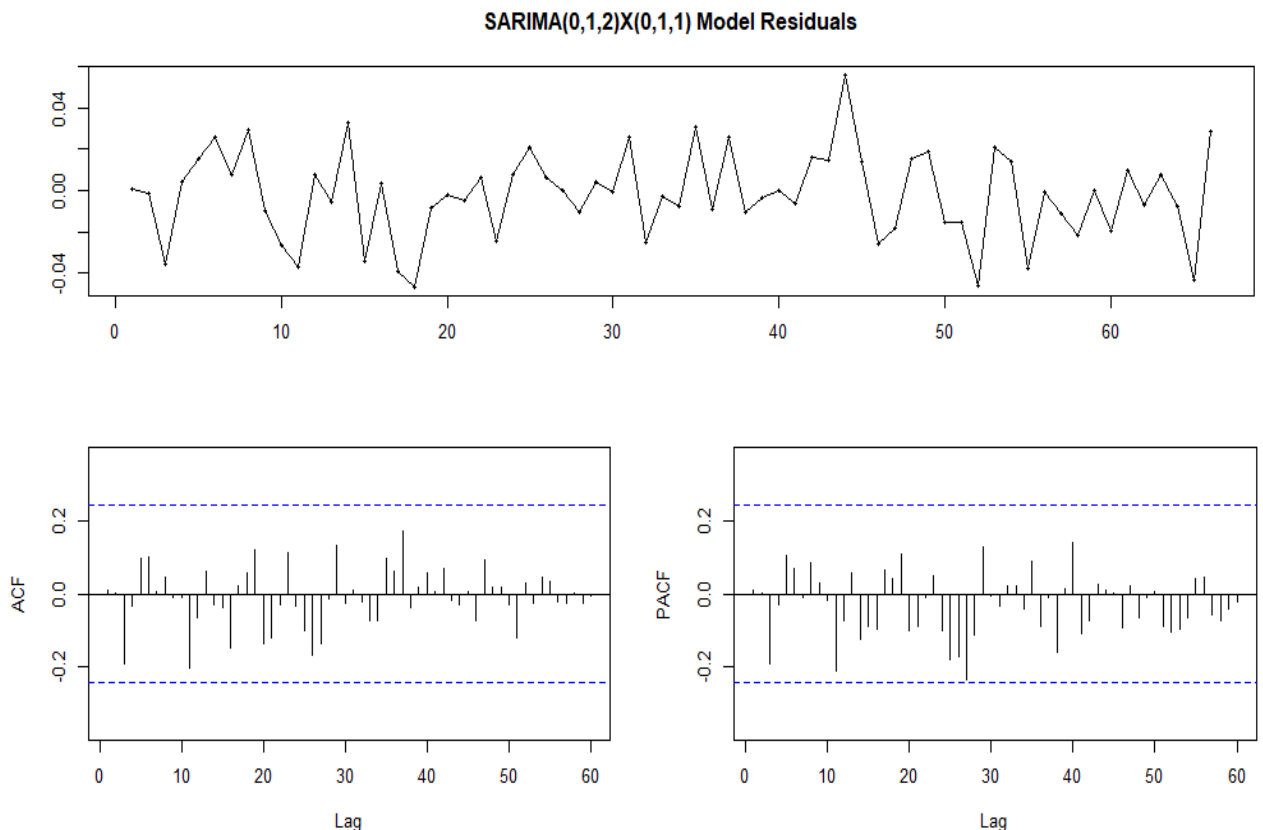


Рис. 3.27. Графіки залишків моделі SARIMA(0,1,2)X(0,1,1) валютної пари EUR/USD та наявності автокореляції чи часткової автокореляції між ними

Тепер перейдемо до оцінки результатів побудови моделі SARIMA. На рис. 3.28 можемо бачити, що в цілому модель якісно описує часовий ряд валютної

пари EUR/USD, проте можемо спостерігати, дещо запізнилу реакцію на зміну тренду чи коливання, в точках локальних екстремумів. Прогноз на перші 2 періоди доволі точний, далі як і в адаптивних моделях зі збільшенням періоду прогнозування відбувається зростання похибки прогнозу.

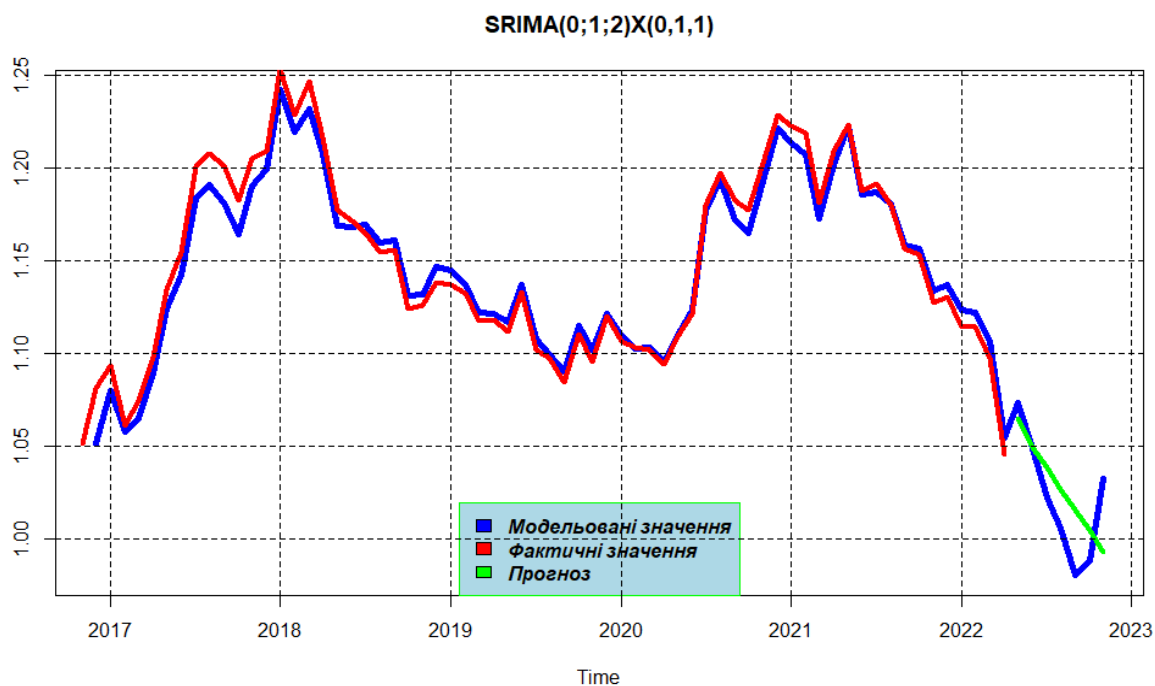


Рис. 3.28. Результати побудови моделі SARIMA(0,1,2)X(0,1,1) часового ряду валютної пари EUR/USD

Також як і у випадку з адаптивними моделями та ARIMA моделлю спостерігається неможливість моделі спрогнозувати потенційну зміну тренду, або можливе коливання. Характеристики якості моделі для подальшого порівняння наведені в таблиці 3.14

Таблиця 3.14

Характеристики моделі SARIMA(0,1,2)X(0,1,1) для валютної пари EUR/USD

Характеристика	Значення
R^2	0,96
MAPE	0,64%

MAE	0,007
-----	-------

Далі перейдемо до побудови авторегресійних моделей часових рядів валютної пари CHF/USD, як і минулого разу був запущений автоматичний процес пошуку параметрів моделі, проте, як і у випадку з валютною парою EUR/USD, була запропонована модель вигляду ARIMA(1,0,0). Проте, як можемо бачити на рис. 3.29. В залишках моделі присутня автокореляція, яка негативно впливатиме на якість прогнозу, а тому потрібно підібрати модель, в якій автокореляція залишків знаходяться в межах норми, для пошуку такої моделі нам було використано знову функцію «auto.arima», проте на цей час ми вказали, що ряд нестационарний, а параметр d задали на рівні попередньої моделі 2.

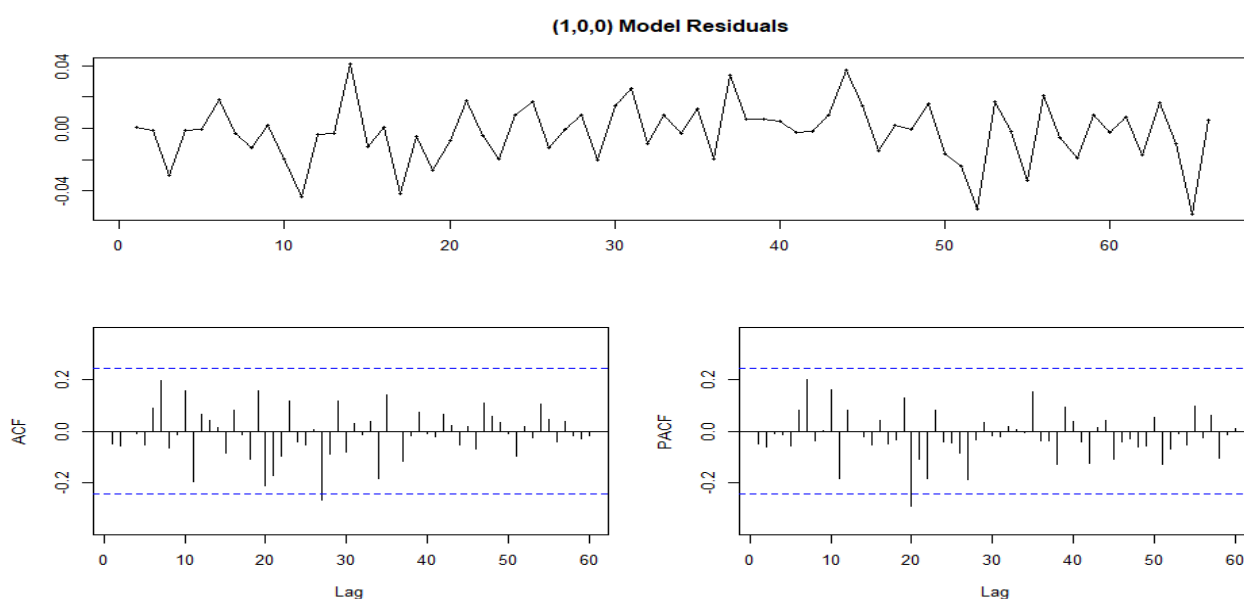


Рис. 3.29. Графіки залишків моделі ARIMA(1,0,0) валютної пари CHF/USD та наявності автокореляції чи часткової автокореляції між ними

Була утворена нова модель з параметрами ARIMA(4,2,1). Проте, як і з моделлю ARIMA(1,0,0) в залишках була присутня автокореляція, а тому уже власноруч відбулося збільшення порядку ковзної середньої MA до 4, після чого автокореляція у залишках встановилась в допустимих межах. Що можна спостерігати на рис. 3.30.

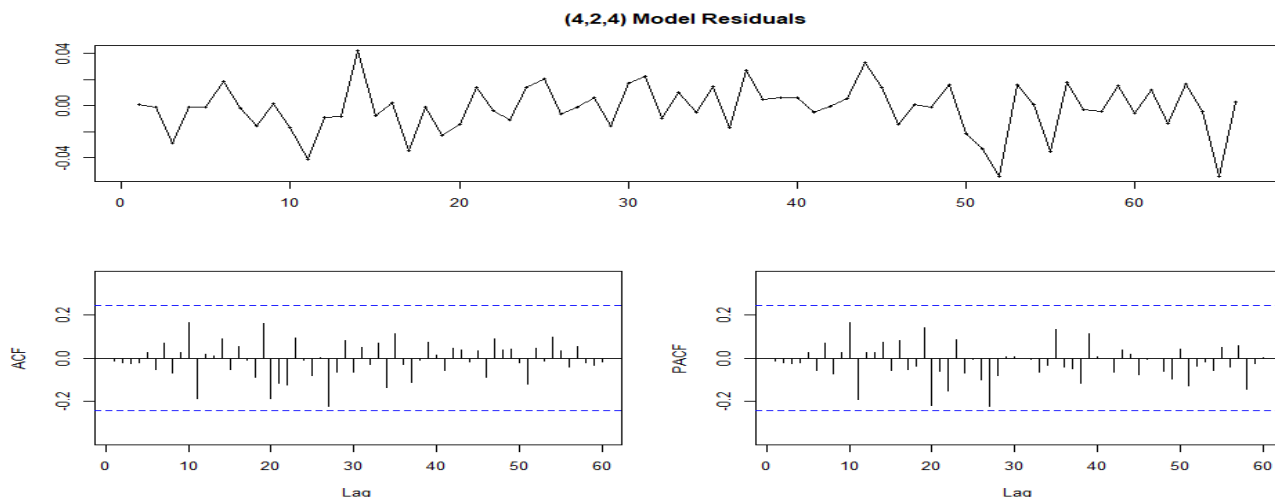


Рис. 3.30. Графіки залишків моделі ARIMA(4,2,4) валютної пари CHF/USD та наявності автокореляції чи часткової автокореляції між ними

Як бачимо, модель має високий порядок ковзної середньої та авторегресійної функції, причиною є наявність значної кількості коливань в часовому ряді, які модель намагається врахувати. Що і відобразилось на графіку моделі рис. 3.31. Ми можемо спостерігати, як модель намагалася врахувати в прогнозі присутні в тренувальній вибірці коливання, що їй частково і вдалося.

Попередні коливання надали змогу моделі визначити подальший рух часового ряду і надати якісний прогноз, ми можемо бачити на графіку, що фактичні дані з тестувальної вибірки майже збігаються з прогнозними значеннями.

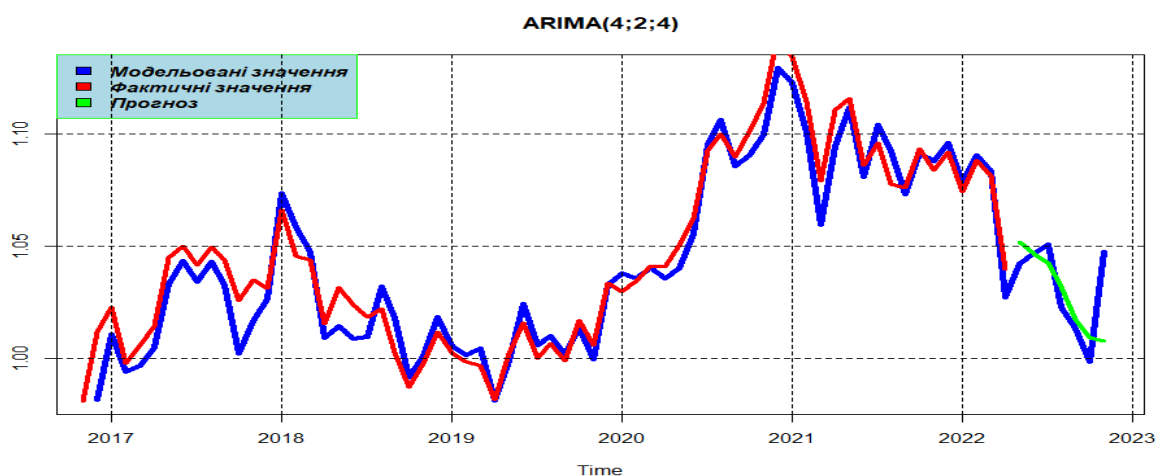


Рис. 3.31. Результати побудови ARIMA(4,2,4) моделі часового ряду валютної пари CHF/USD

Недоліком моделі є її складність, оскільки ми маємо по чотири порядки авторегресійної моделі та ковзної середньої. З параметрами моделі можна ознайомитись на рис. 3.32.

```
call:
arima(x = tdata, order = c(4, 2, 2))
Coefficients:
      ar1      ar2      ar3      ar4      ma1      ma2
0.1768 -0.3485 -0.1616 -0.2162 -1.3469 0.5208
s.e. 0.2881 0.1541 0.1598 0.1706 0.2830 0.2396
sigma^2 estimated as 0.0003643: log likelihood = 161.02, aic = -308.05
```

Рис. 3.32. Параметри моделі ARIMA(4,2,4) часового ряду CHF/USD

При прогнозуванні, всі вищенаведені параметри враховуються в одну лінійну модель, також на авторегресійну модель чинить вплив, ще і параметр оцінки різниці часового ряду. Тому зазвичай авторегресійні моделі високих порядків використовуються нечасто. Щодо характеристик оцінки моделі то вони наведені в таблиці 3.15

Таблиця 3.15

Характеристики моделі ARIMA(4,2,4) для валютної пари CHF/USD

Характеристика	Значення
R^2	0,93
MAPE	0,75%
MAE	0,007

Оскільки, при аналізі часового ряду валютної пари була виявлена сезонна складова, тому слід використати й SARIMA модель для прогнозування курсу валют CHF/USD. Так кращий результат продемонструвала модель вигляду SARIMA(3,1,2)X(0,1,3). Саме в моделі такого порядку автокореляція між залишками перебуває в дозволених межах, а тому ця модель може бути використана для прогнозування.

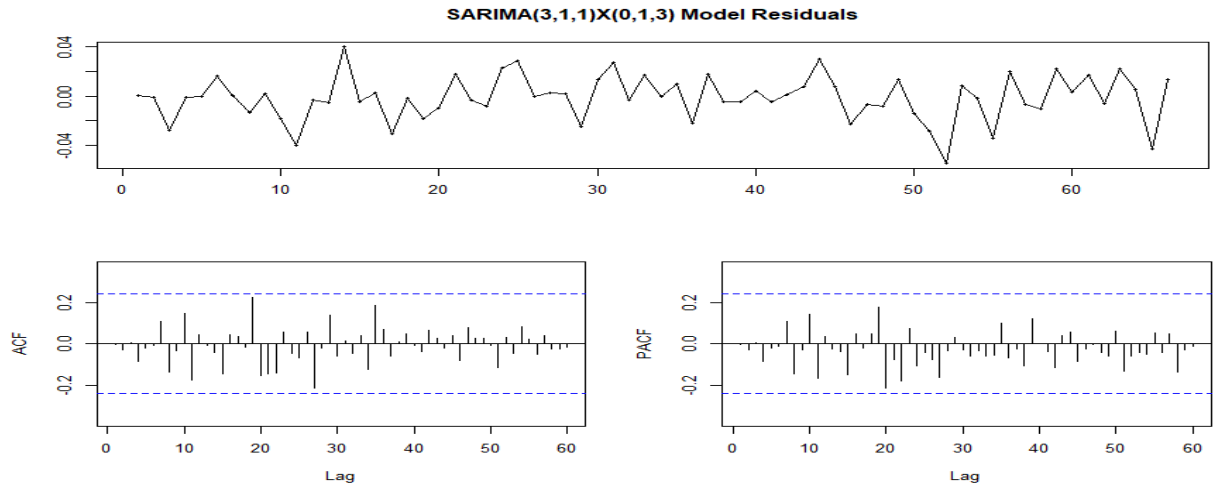


Рис. 3.33. Графіки залишків моделі SARIMA(3,1,2)X(0,1,3) валютної пари CHF/USD та наявності автокореляції чи часткової автокореляції між ними

При використанні моделей з меншими порядками в моделі присутня автокореляція або часткова автокореляція між залишками, що може значним чином спотворити прогноз. Щодо параметрів моделі, то вони наведені на рис. 3.34.

```

Call:
arima(x = tdata, order = c(3, 1, 2), seasonal = c(0, 1, 3))

Coefficients:
      ar1      ar2      ar3      ma1      ma2      sma1      sma2      sma3
 2.0120 -1.7563  0.5805 -1.8711  0.9324 -1.3768  0.7698  0.1358
s.e.  0.2498  0.3952  0.2492  0.1510  0.1436  0.3017  0.4765  0.2365

sigma^2 estimated as 0.0003422:  log likelihood = 161.55,  aic = -305.09

```

Рис. 3.34. Параметри моделі SARIMA(3,1,2)X(0,1,3) часового ряду CHF/USD

Як можемо бачити на рис. 3.34 в сезонній авторегресійній інтегрованій моделі присутня авторегресійна модель третього порядку AR(3), модель ковзної середньої першого порядку MA(2) та модель сезонної ковзної середньої третього порядку SMA(3). На рис. 3.35 наведені результати побудови моделі у вигляді графіку фактичних, модельованих та прогнозних значень. В цілому модель точно описує поведінку валютної пари. Щодо прогнозу, то як можемо спостерігати модель намагалась врахувати коливання, про що свідчить високі порядки як моделі ковзної середньої, так і моделі сезонної ковзної середньої.

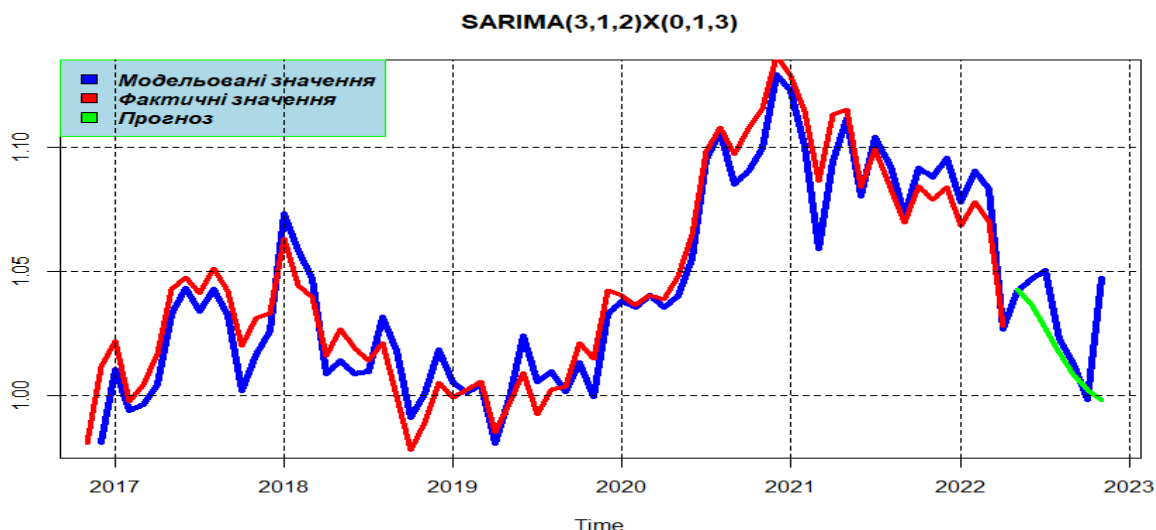


Рис. 3.35. Результати побудови моделі SARIMA(3,1,2)X(0,1,3) часового ряду валютної пари CHF/USD

Значні коливання, які припадають на прогнозований період вкрай складно прогнозувати в цілому, причому можлива навіть зміна тренду, що складно піддається прогнозуванню. Характеристики SARIMA(3,1,2)X(0,1,3) Наведені в таблиці 3.16.

Таблиця 3.16

Характеристики моделі SARIMA(3,1,2)X(0,1,3) для валютної пари

Характеристика	Значення
R^2	0,92
MAPE	0,87%
MAE	0,009

Як і у випадку з адаптивними моделями, можемо бачити, що як і адаптивні моделі, авторегресійні моделі пристосовується до даних і показує високі характеристики (високий коефіцієнт детермінації, та низькі показники помилки моделі), однією з причин цього є те, що як в основі адаптивних, так і частково в основі авторегресійних моделей лежить процес згладжування рівнів ряду.

Наступна валютна пара JPY/USD. Пропустили перший етап, а саме побудову початкової, авторегресійні моделі, він здебільшого необхідний для того, щоб визначити порядок моделі, і нечасто він здатен описати реальне економічне явище. Тобто це проміжний етап необхідний для подальшого процесу моделювання. Перейдемо відразу до етапу опису отриманої моделі. Так, в процесі моделювання нами була отримана модель вигляду ARIMA(1,2,3), причому на зростання порядку ковзної середньої вплинув саме тренд, який виник на початку 2021 року.

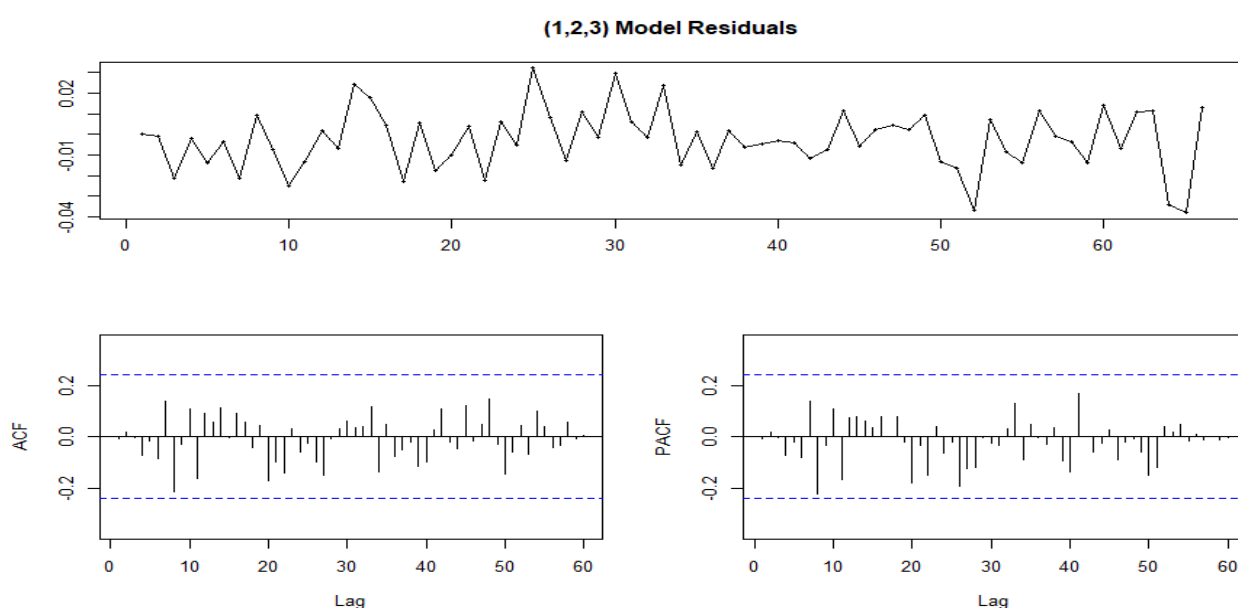


Рис. 3.36. Графіки залишків моделі ARIMA(1,2,3) валютної пари JPY/USD та наявності автокореляції чи часткової автокореляції між ними

На рис. 3.36 можемо спостерігати, що залишки моделі упродовж досліджуваного періоду коливається в межах $[-0,2;0,2]$, проте присутні зростання цього показника до 0,04, в кінці періоду, а саме приблизно на 53-54 лазі та 64-65 лазі, як не дивно, саме на цих лагах прослідковується стрімке падіння курсу валют японської єни щодо долара США. Щодо автокореляції та часткової автокореляції між залишками то вони знаходяться в межах норми, а тому модель може бути використана для здійснення прогнозу. На рис. 3.37 наведені параметри моделі.

```

Call:
arima(x = tdata, order = c(1, 2, 3))

Coefficients:
      ar1      ma1      ma2      ma3
 0.7190 -1.7786  0.6618  0.1733
s.e.  0.1444  0.1848  0.3295  0.1668

sigma^2 estimated as 0.0002215: log likelihood = 175.4, aic = -340.8

```

Рис. 3.37. Параметри моделі модель ARIMA (1,2,3) часового ряду JPY/USD

Як можемо спостерігати на рис. 3.38 ARIMA модель точно описала явище, відхилення від фактичних значень є незначними. Прогноз на наступні 6 місяців наближений до реальних значень у цей період. В цілому, на прикладі валютної пари JPY/USD, ARIMA модель продемонструвала доволі грані результати.

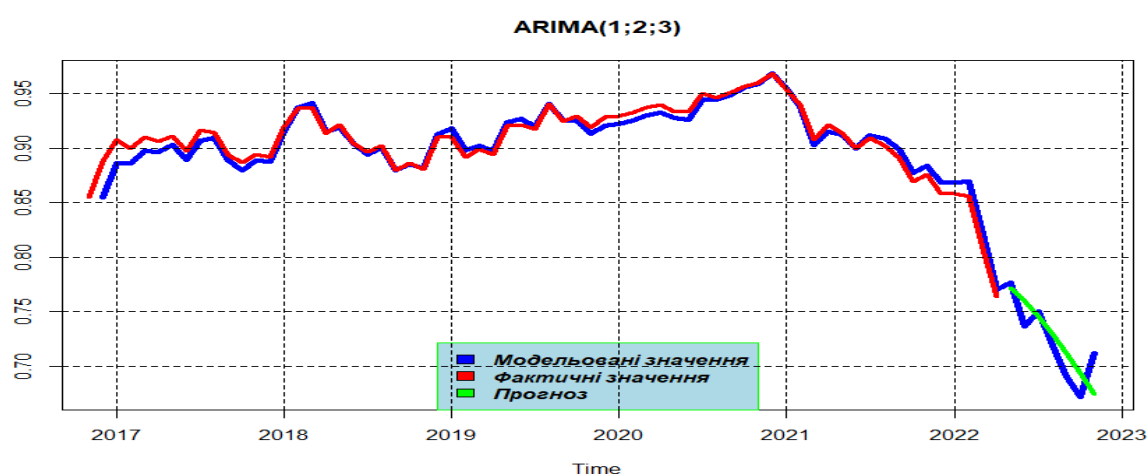


Рис. 3.38. Результати побудови ARIMA(1,2,3) моделі часового ряду валютної пари JPY/USD

В таблиці 3.17 приведені характеристики якості моделі. Примітним є низьке значення середньої абсолютної похибки, проте, в моделях, які здійснюють прогноз виключно на часових рядах ці характеристики використовуються виключно для порівняння моделей між собою.

Таблиця 3.17

Характеристики моделі ARIMA(1,2,3) для валютної пари JPY/USD

Характеристика	Значення
R^2	0,92
MAPE	0,63%
MAE	0,005

На етапі дослідження ряду на стаціонарність було встановлено, що в часовому ряді курсу валютної пари JPY/USD з початку 2021 року прослідковується чітка тенденція до падіння курсу валюти, також на цьому етапі була виявлена незначна сезонна складова, яка представлена у вигляді щорічних коливань, пік яких припадає на новорічні свята. Тому також слід реалізувати й SARIMA модель.

Так у процесі моделювання було визначено, що найкраще описує явище модель вигляду SARIMA(0,1,2)X(2,1,1). Параметри моделі наведені на рис. 3.39.

```
Call:
arima(x = tdata, order = c(0, 1, 2), seasonal = c(2, 1, 1))

Coefficients:
      ma1      ma2      sar1      sar2      sma1
 0.1909 -0.8086 -0.2741  0.5566 -0.8082
s.e.  0.2220  0.2201  0.2303  0.2243  0.2177

sigma^2 estimated as 0.000244:  log likelihood = 173.71,  aic = -335.43
```

Рис. 3.39. Модель SARIMA(0,1,2)X(2,1,1) часового ряду JPY/USD

Щодо автокореляції між залишками то вона для даної моделі в межах норми, як і у випадку з ARIMA моделлю присутнє зростання залишків на 64-65 лазі, сам там де присутній різке падіння курсу єни щодо долара США.

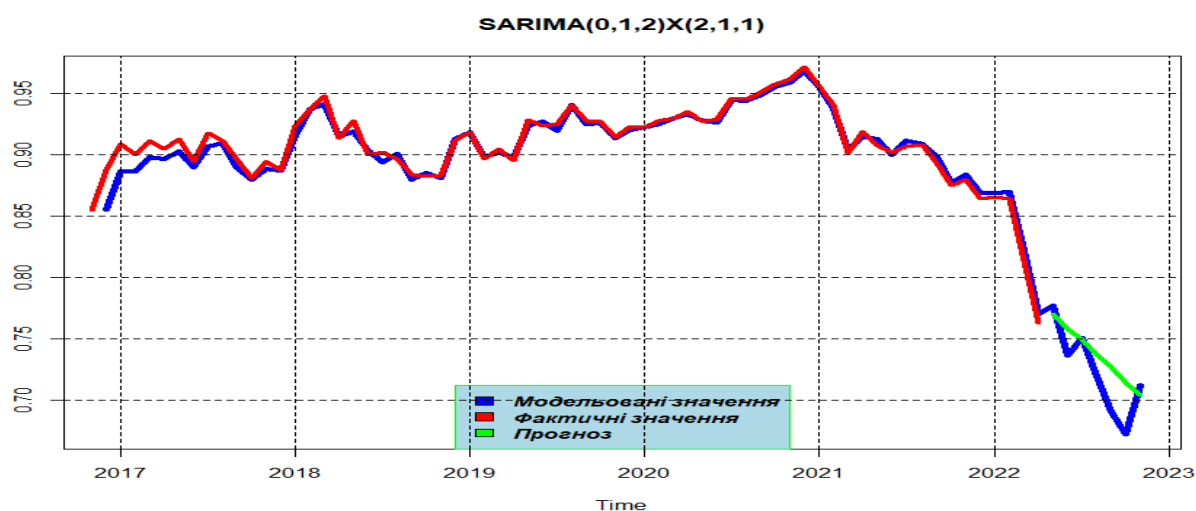


Рис. 3.40. Результати побудови SARIMA(0,1,2)X(2,1,1) моделі часового ряду валютної пари JPY/USD

Як бачимо з графіку як і у випадку ARIMA моделі SARIMA доволі точно описує вхідний часовий ряд. Щодо прогнозу, то як можемо спостерігати, що

модель не змогла спрогнозувати коливання валютного курсу, для цього потрібно збільшувати порядок ковзної середньої, що є невиправданим, оскільки значно ускладнить модель. Проте в цілому, прогноз наблизений до реальних значень. Про це свідчать і характеристики моделі SARIMA валютної пари JPY/USD наведені в таблиці 3.18.

Таблиця 3.18

Характеристики моделі SARIMA(0,1,2)X(2,1,1) для валютної пари
JPY/USD

Характеристика	Значення
R^2	0,96
MAPE	0,51%
MAE	0,004

І остання валютна пара GBP/USD. Так у процесі моделювання нами була отримана модель вигляду ARIMA(6,2,0) поміж усієї множини моделей, вона найкраще описує явище. Саме при таких параметрах моделі автокореляція та часткова автокореляція в моделі знаходиться в межах норми. Графік дослідження залишків на автокореляцію наведений на рис. 3.41.

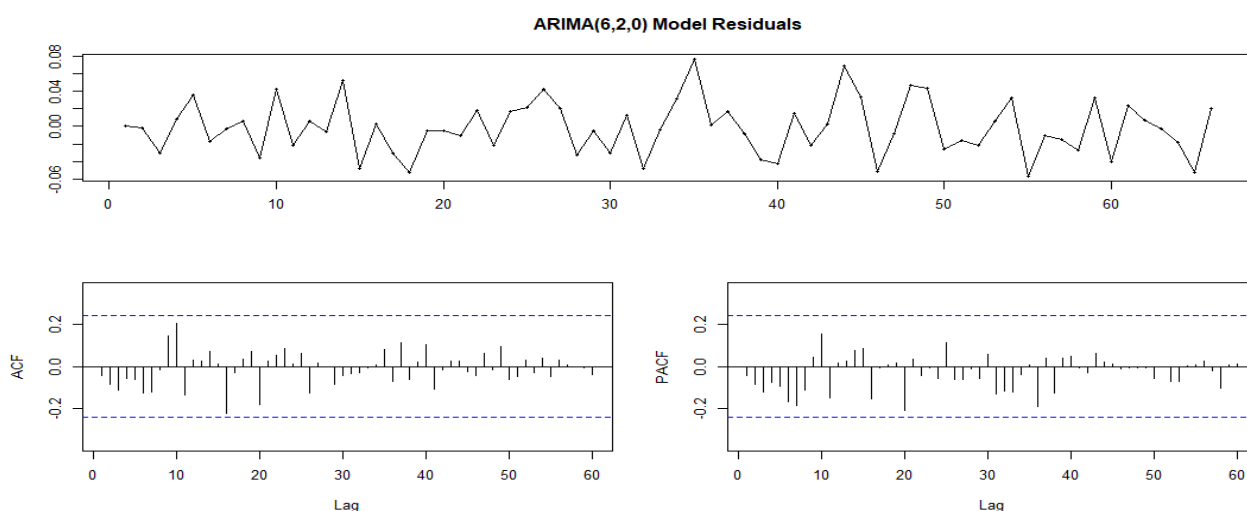


Рис. 3.41. Графіки залишків моделі ARIMA(6,2,0) валютної пари GBP/USD та наявності автокореляції чи часткової автокореляції між ними

Параметри моделі представлені на рис. 3.42. Як можемо бачити в модель ARIMA представлена авторегресійною моделлю 6 порядку AR(6), що дало змогу підлаштуватись моделі під наявні в явищі локальні точки екстремуму.

```
Call:
arima(x = tdata, order = c(6, 2, 0))

Coefficients:
      ar1      ar2      ar3      ar4      ar5      ar6
-0.9327 -0.6179 -0.4669 -0.4263 -0.4411 -0.2280
s.e.    0.1217  0.1597  0.1715  0.1699  0.1599  0.1236

sigma^2 estimated as 0.0009458: log likelihood = 131.32, aic = -248.64
>
```

Рис. 3.42. Параметри моделі модель ARIMA(6,2,0) часового ряду GBP/USD

Як і при дослідженні попередніх валютних пар модель ARIMA побудована на основі курсу GBP/USD демонструє здатність точно описати вхідний часовий ряд, що ми і можемо спостерігати на рис. 3.43. Модель дещо погано описує локальні точки екстремуму, тому і присутні значні відхилення в цих точках прогнозованих значень від реальних.

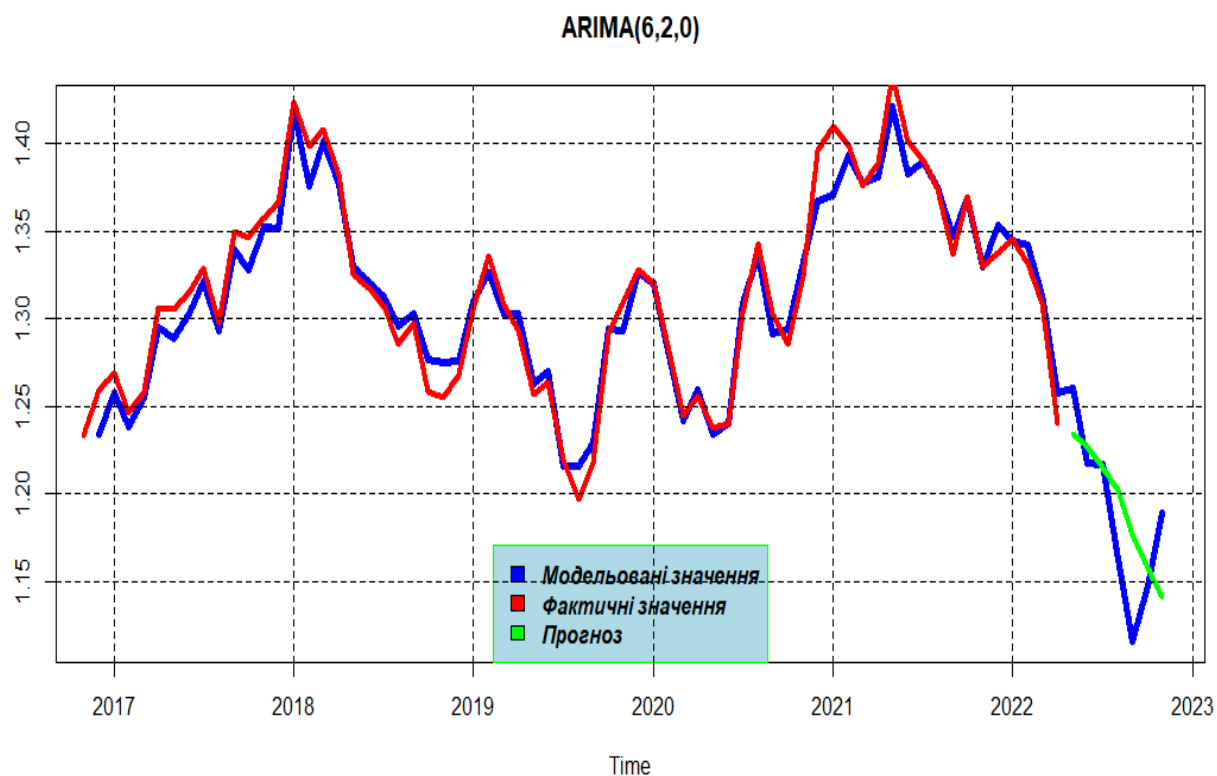


Рис. 3.43. Результати побудови ARIMA(6,2,0) моделі часового ряду валютної пари GBP/USD

Щодо прогнозу, то як можемо спостерігати на перших трьох періодах прогнозування модель демонструє високу точність, тобто фактичні значення із тренувальної вибірки майже ідентичні прогнозованим, проте зі зростанням періоду точність моделі падає, причиною цього є наявність стрімкого падіння, а потім зростання в кінці досліджуваного періоду, і саме ці коливання модель не здатна була спрогнозувати.

Таблиця 3.19

Характеристики моделі ARIMA(6,2,0) для валютної пари GBP/USD

Характеристика	Значення
R^2	0,94
MAPE	0,71%
MAE	0,009

Як і при побудові моделей попередніх валютних пар модель ARIMA валютної пари GBP/USD демонструє високі характеристики моделі (таблиця 3.19), проте деяке занепокоєння викликає високе значення MAE. Проте, для більш детальної оцінки побудованих моделей їх слід порівняти між собою.

Як і у випадку з попередніми валютними парами в часовому ряді GBP/USD була виявлена сезонна складова. Тому слід побудувати також і SARIMA модель. В процесі побудови було визначено, що модель вигляду SARIMA(5,1,0)X(1,1,0) демонструє найкращі результати, проте модель такого вигляду є ідентичною моделі ARIMA(6;2;0), причому модель SARIMA демонструє дещо гірші характеристики від моделі ARIMA по окремим параметрам. Причому спостерігається саме зростання середньої абсолютної похибки. А тому, потреба в детальному описі моделі SARIMA(5,1,0)X(1,1,0) для часового ряду валютної пари GBP/USD відсутня. Також ми можемо стверджувати, що модель ARIMA може бути виражена через модель SARIMA, при чому сума авторегресійних моделей, та ковзних середніх залишається однаковою, якщо такий поділ викликає покращення характеристик моделі, то це виправданий крок, якщо ж ні, то потреба в цьому відсутня.

Таблиця 3.20

Характеристики моделі SARIMA(5,1,0)X(1,1,0) для валютної пари
GBP/USD

Характеристика	Значення
R^2	0,96
MAPE	0,71%
MAE	0,01

Як можемо спостерігати як адаптивні методи, так і авторегресійні моделі доволі точно описують вхідний ряд, однією з причин цього є те, що в основі їх лежить ковзна середня, і обидва класи моделей зосереджені на згладжуванні рівнів ряду. Основним же недоліком обох класів моделей є складність підбору параметрів моделей, у випадку адаптивних моделей – це коефіцієнти згладжування, а у випадку авторегресійних моделей – це підбір порядків процесів AR і MA. В першому випадку нам допомагає процес оптимізації одного з характеристик моделі, в другому випадку нам допомагає визначити порядок процесів функція автокореляції та функція часткової автокореляції. Перед початком побудови моделей часові ряди слід дослідити на стаціонарність та провести їх декомпозицію, щоб визначити можливі складові ряду. Це значним чином спростить процес побудови моделей та підвищить точність отриманих прогнозів.

3.2. Побудова нейронних мереж для прогнозування обмінного курсу

Для реалізації побудови даного виду нейронної мережі буде використовуватись бібліотека до мови програмування R `nnfor`. Це доволі гнучка бібліотека, яка дозволяє на основі часового ряду побудувати прогноз, проте основним недоліком даної бібліотеки є те, що вона здатна приймати лише дані типу часового ряду з чітко фіксованим порядком дати. А більшість сучасних

даних можуть мати пропуски, нульові значення тощо. Існують інші варіації часових рядів в мові програмування R, які розв'язувати цю проблему, проте дана бібліотека роботу з ними не підтримує. Проте пропуски у даних при великій кількості спостережень не значним чином впливають на явище, якщо правильно визначити показник періоду під час перетворення числового ряду в часовий ряд.

Як уже зазначалось вище існують різні архітектури побудови нейронних мереж для прогнозування на основі часових рядів. Нами для цього було обрано MLP, ELM моделі. Обидві реалізовані у бібліотеці `nnfor` і мають доволі гнучкий інструментарій налаштування. Основним недоліком вищезазначеної бібліотеки є те, що вона вимагає значних об'ємів оперативної пам'яті та потужностей процесора комп'ютера для реалізації, і якщо мережі будуть обробляти великі об'єми даних, то для цього потрібні значні ресурси. Причому на швидкість побудови впливають не лише обсяг вибірки, але й задані параметри. Тому їх слід обережно обирати, і не загроможувати модель зайвими.

Перейдемо до побудови нейронних мереж для прогнозування валютної пари EUR/USD/ Перша нейронна мережа це MLP або просто багат шаровий перцептрон. Так на вхід при побудові моделі нам слід подати часовий ряд, кількість авторегресійних лагів в нашому випадку встановлено перевірку авторегресійних лагів від 1 до 24, далі якщо у ряді присутній тренд та сезонна складова, то слід задати параметр `difforder` зазвичай він дорівнює періоду сезонності, проте, можуть встановлюватись інші параметри, якщо задати це значення NULL, то підбір параметра буде відбуватись автоматично, також слід задати максимальну кількість вузлів прихованого шару, оскільки мережа може значно ускладнити власну структуру збільшивши їх кількість. Це основні параметри мережі, які необхідно задати перед початком побудови мережі.

Так для побудови MLP нами були задані такі параметри кількість лагів 1:12, параметр різниці рівнів часового ряду був заданий в межах від 1 до 6, максимальна кількість вузлів в прихованому шарі дорівнює 10, така максимальна кількість вузлів для MLP мережі є оптимальною, введення більшої

кількості лише значно ускладнить мережу та значно збільшить час її побудови. Результатом побудови мережі став графік цієї мережі рис. 3.44.

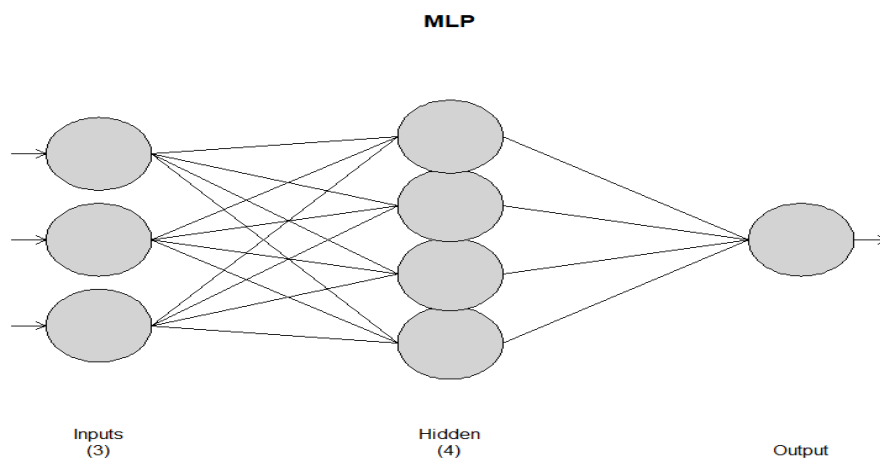


Рис. 3.44. Графік MLP нейронної мережі прогнозування курсу валют валютної пари EUR/USD

Як можемо бачити на графіку, було створено три вхідні вузли, прихований шар представлений 4 вузлами, та один вихідний вузол(що характерно нейронним мережам для задач прогнозування на основі часових рядів). Це доволі проста архітектура нейронної мережі.

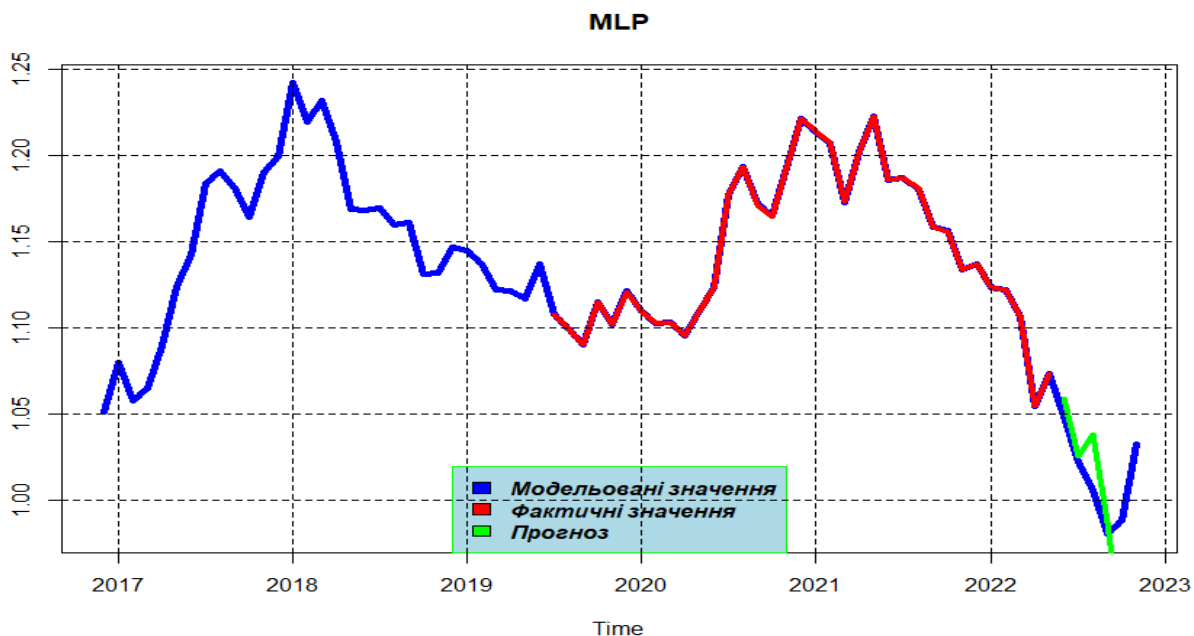


Рис. 3.45. Результати побудови MLP мережі прогнозування курсу валютної пари EUR/USD

На рис. 3.45 можемо бачити, що мережа доволі точно описала вхідний часовий ряд. Особливо це можна помітити на останніх спостереженнях, щодо прогнозу, то як можемо спостерігати при здійсненні прогнозу мережа намагалась врахувати минулі коливання особливо на останньому рівні ряду, що призвело, дещо до деформації прогнозу. Проте в цілому модель надалі доволі точний прогноз особливо в для перших двох періодів. Як видно з рис. 46 найбільший вплив на прогноз здійснило саме останнє спостереження. Характеристики оцінки точності мережі наведенні в таблиці 3.21.

Таблиця 3.21

Характеристики MLP мережі для валютної пари EUR/USD

Характеристика	Значення
R^2	0,99
MAPE	0,01%
MAE	0,001

Для побудови ELM кількість лагів визначатиметься автоматично, параметр різниця рядів від 1 до 3, кількість прихованих шарів 25. На рис. 3.46 наведений графік ELM мережі.

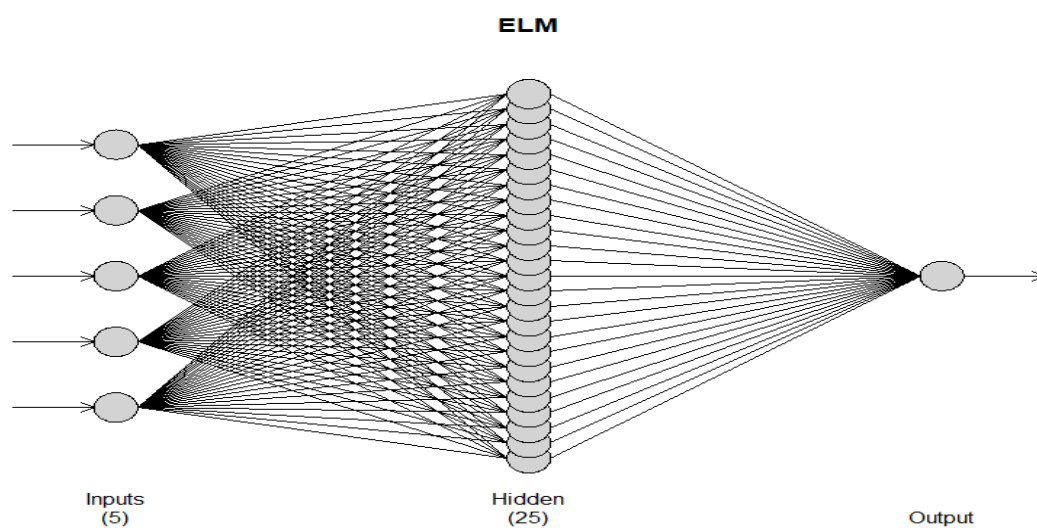


Рис. 3.46. Графік ELM нейронної мережі прогнозування курсу валют валютної пари EUR/USD

Як можемо бачити ELM мережа має набагато більше прихованих вузлів, проте у порівнянні з MLP мережею вона є набагато швидшою. І реалізація навіть 100 вузлів іде набагато швидше ніж 10 у MLP. Проте, через це мережа втрачає дещо точність моделі. Що ми можемо і побачити на рис. 3.47. Так можна збільшити кількість вузлів і цим покращити її, але це призведе до такого явища, як перенавчання мережі, необдумане збільшення кількості вузлів в результаті може призвести до деформації прогнозу, оскільки намагатиметься врахувати абсолютно усі коливання присутні в ній, що неодмінно відобразиться на прогнозі.

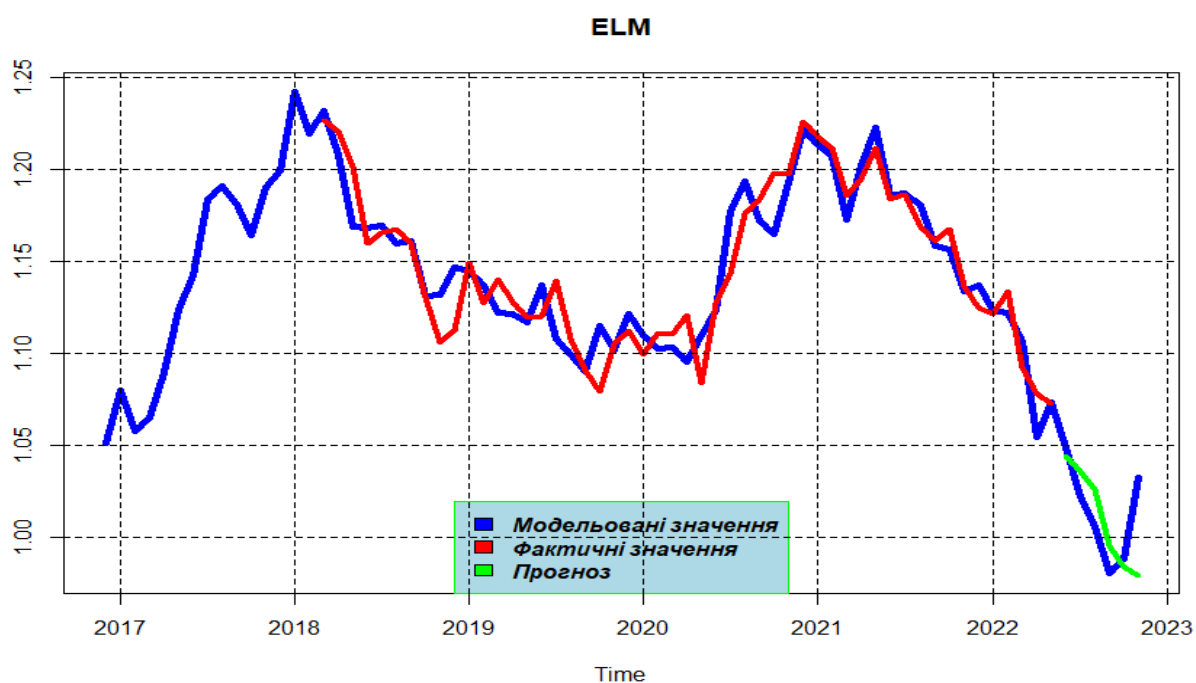


Рис. 3.47. Результати побудови ELM мережі прогнозування курсу валютної пари EUR/USD

Як можемо спостерігати на рис. 3.47 ELM мережа набагато гірше описує часовий ряд на відміну від MLP мережі. Також можемо бачити, що здійснений прогноз наближені до фактичних значень проте, останнє коливання рівнів ряду значним чином відобразилась на прогнозі. Тобто можемо дійти висновку, що ELM мережа доволі чутлива до коливань, і надмірне їх врахування може значно

спотворити прогноз. Характеристики ELM мережі валютної пари EUR/USD наведені в таблиці 3.22.

Таблиця 3.22

Характеристики ELM мережі для валютної пари EUR/USD

Характеристика	Значення
R^2	0,91
MAPE	1,04%
MAE	0.012

При побудові нейронної мережі для прогнозування курсу CHF/USD, був отриманий наступний вигляд мережі(рис. 3.48). Як бачимо, було створено 18 вхідних вузлів та 9 прихованих. Значна кількість вузлів пов'язана з тим, що в часовому ряді присутня значна кількість коливань, що спричинило значне ускладнення моделі.

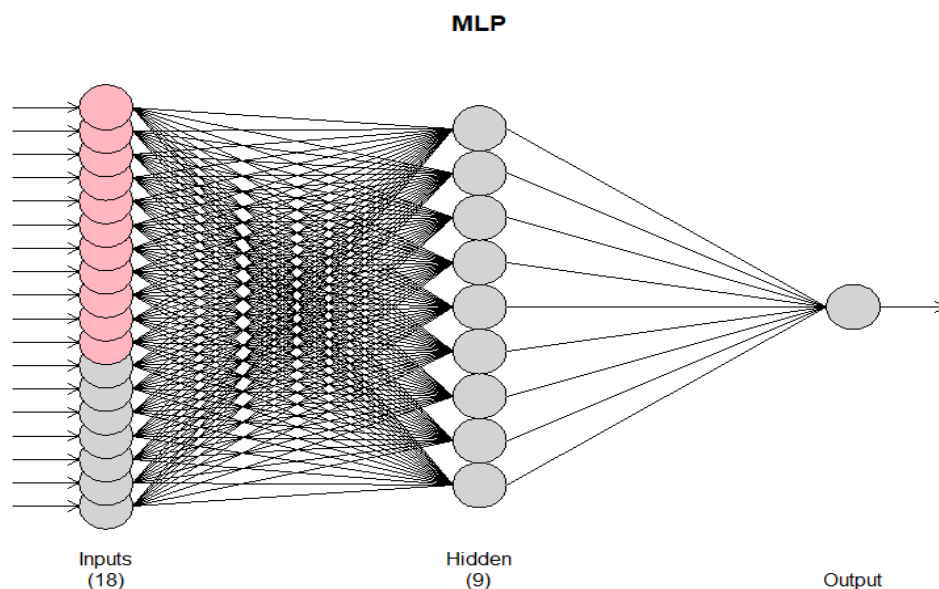


Рис. 3.48. Графік MLP нейронної мережі прогнозування курсу валют валютної пари CHF/USD

Як можемо бачити на рис. 3.49 MLP мережа доволі точно опису вхідний часовий ряд, тобто вона повністю пристосувалась до вхідних даних за

допомогою вагових коефіцієнтів. Щодо прогнозу, то як можемо бачити він наближений до фактичних значень.

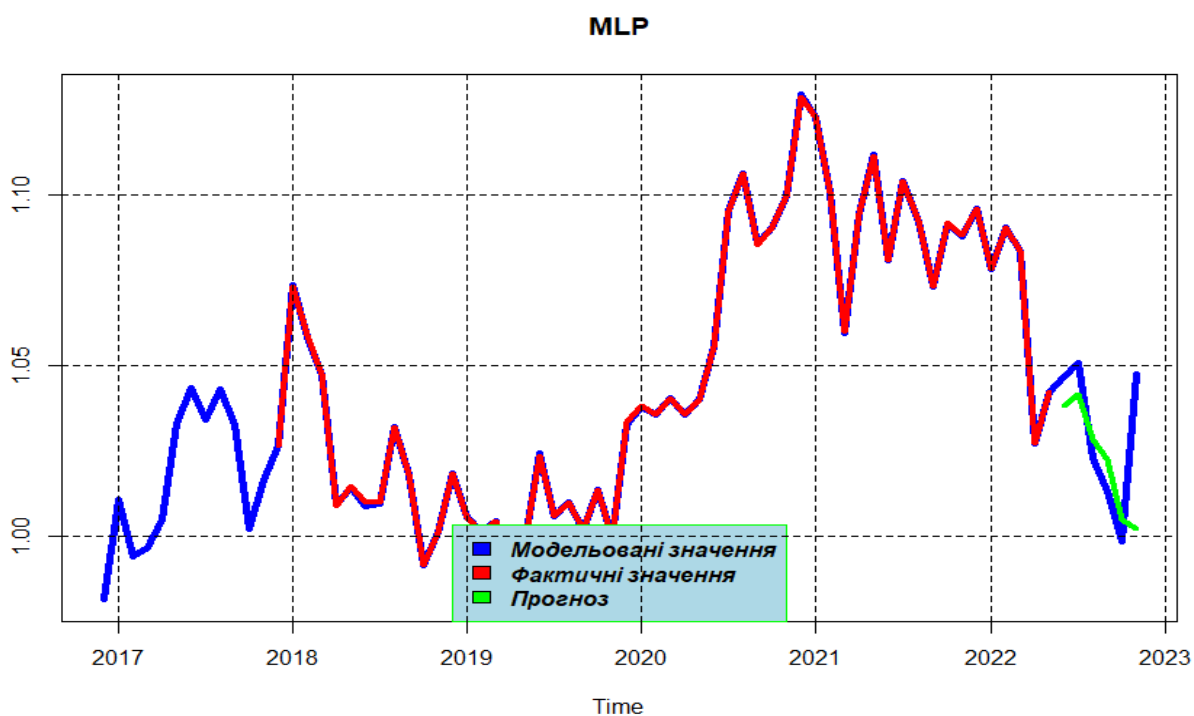


Рис. 3.49. Результати побудови MLP мережі прогнозування курсу валютної пари CHF/USD

В нейронних мереж є ще один недолік, при однакових параметрах, які ми подаємо на вхід функції побудови мови програмування R ми можемо отримати різні моделі. Так за декілька послідовних операцій у невеликій вибірці можна знайти уже побудовану раніше мережу, причиною цього є те, що при стандартних налаштуваннях функції побудови мережі, для пошуку оптимальної кількості вузлів прихованого шару, модель враховує лише 20% спостережень. Так це дозволяє інколи врахувати дійсно важливі коливання і викинути випадкові коливання і шум, проте, в більшості випадках це призводить до викривлення прогнозів, тому рекомендується задавати або кількість вузлів прихованого шару, що нечасто буває наперед відомо, або задати певний спосіб перевірки, проте це значно сповільнить реалізацію побудови мережі, оскільки така перевірка вимагає значних додаткових ресурсів. Ще одним способом уникнути такої ситуації, є збереження уже створеної моделі, а уже в

подальшому подавати його як параметр model до знову створюваних мереж, що значно прискорить процес побудови. В таблиці 3.23 наведена характеристика відповідності модельованих значень реальним для побудованої моделі на основі архітектури MLP для валютної пари CHF/USD.

Таблиця 3.23

Характеристики MLP мережі для валютної пари CHF/USD

Характеристика	Значення
R^2	0,99
MAPE	0,01%
MAE	0,001

Далі перейдемо до побудови мережі для прогнозування поведінки валютної пари CHF/USD на основі архітектури екстремального навчання так для побудови моделі були задані такі параметри як кількість вузлів прихованого шару 30(на відміну від стандартних 100) та параметр різниці часового ряду від 1 до 2. При таких параметрах модель утворила 18 вхідних вузлів(рис 3.50), причина цього така ж як і для мережі на основі архітектури MLP значна кількість локальних екстремумів.

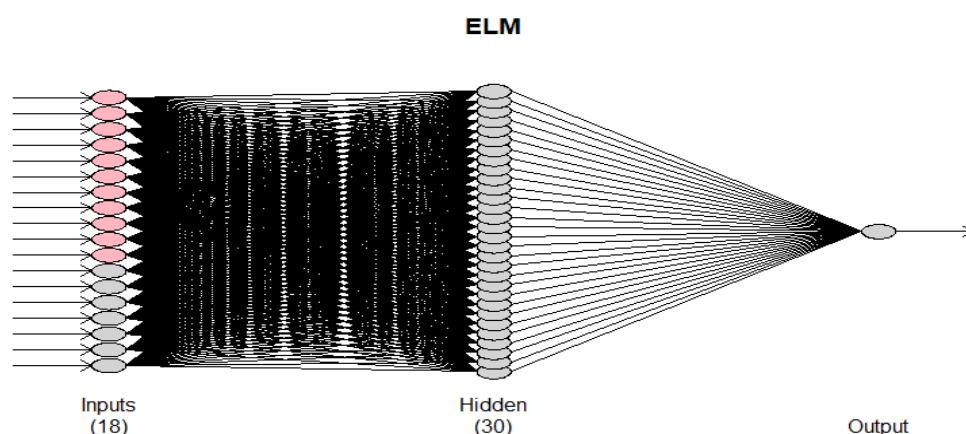


Рис. 3.50. Графік ELM нейронної мережі прогнозування курсу валют валютної пари CHF/USD

Мережа побудована на основі архітектури екстремального навчання намагається врахувати всі коливання присутні в ній, і екстраполювати це на прогноз, що ми й можемо спостерігати на рис. 3.51. Під впливом коливань останніх спостережень тренувальної вибірки прогноз дещо деформувався, проте, в цілому мережі вдалося спрогнозувати можливі коливання.

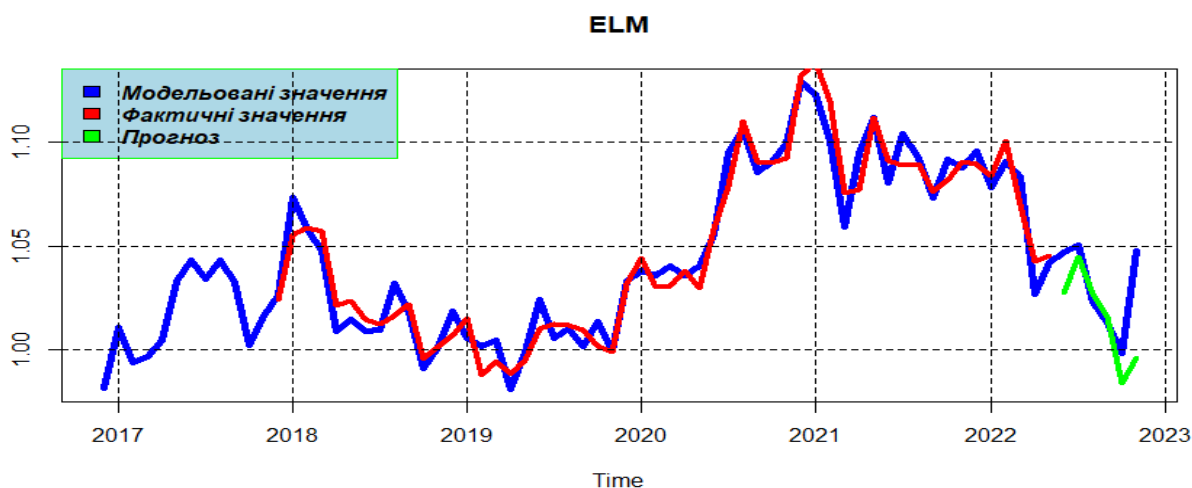


Рис. 3.51. Результати побудови ELM мережі прогнозування курсу валютної пари CHF/USD

Прогноз здійснений мережею наближений до реальних значень, щодо характеристик точності прогнозу мережі, то вони доволі високі, що ще раз підтверджує пристосовуваність нейронних мереж до фактичних спостережень та підтверджує правило про необхідність перевірки моделі не на тренувальній вибірці, а на тестувальній, що ми й робимо перевіряючи відповідність прогнозу реальним спостереженням.

Таблиця 3.24

Характеристики ELM мережі для валютної пари CHF/USD

Характеристика	Значення
R^2	0,95
MAPE	0,73%
MAE	0,007

Наступна валютна пара японська єна/долар США. Для побудови MLP моделі були задані такі параметри функції як кількість лагів від 1 до 24 та максимальна кількість вузлів прихованого шару 10. Решта параметрів визначаються у процесі побудови мережі або є стандартними для функції `mlp` бібліотеки `nnfor`. Як бачимо на рис. 3.52 нами була отримана мережа з 5 вхідними вузлами 3 вузлами прихованого шару й одним вихідним вузлом.

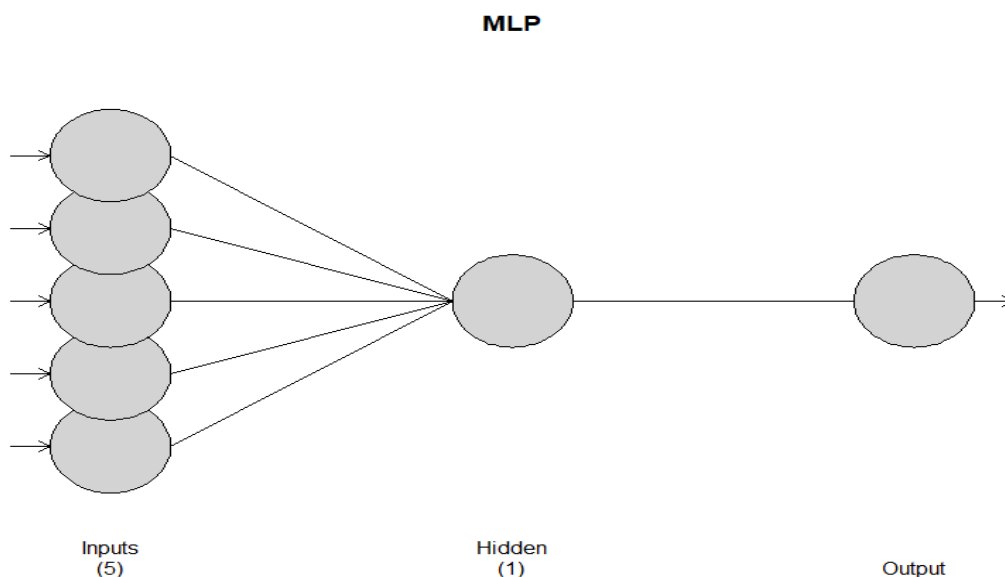


Рис. 3.52. Графік MLP нейронної мережі прогнозування курсу валют валютної пари JPY/USD

Далі перейдемо до оцінки результатів побудови MLP мережі валютної пари JPY/USD. На рис 3.53. Можемо бачити, що внаслідок присутності тренду, який виник на початку 2021 року, прогноз дещо змістився. Хоч це зміщення є і незначним, але воно погіршило прогноз і збільшило різницю між реальними значеннями і прогнозними. Хоч ми й намагаємося мінімізувати вплив тренду шляхом введення параметра різниці рівнів ряду, але тут теж слід бути обережним невірне визначення цього параметру призведе, до ще більшого викривлення.

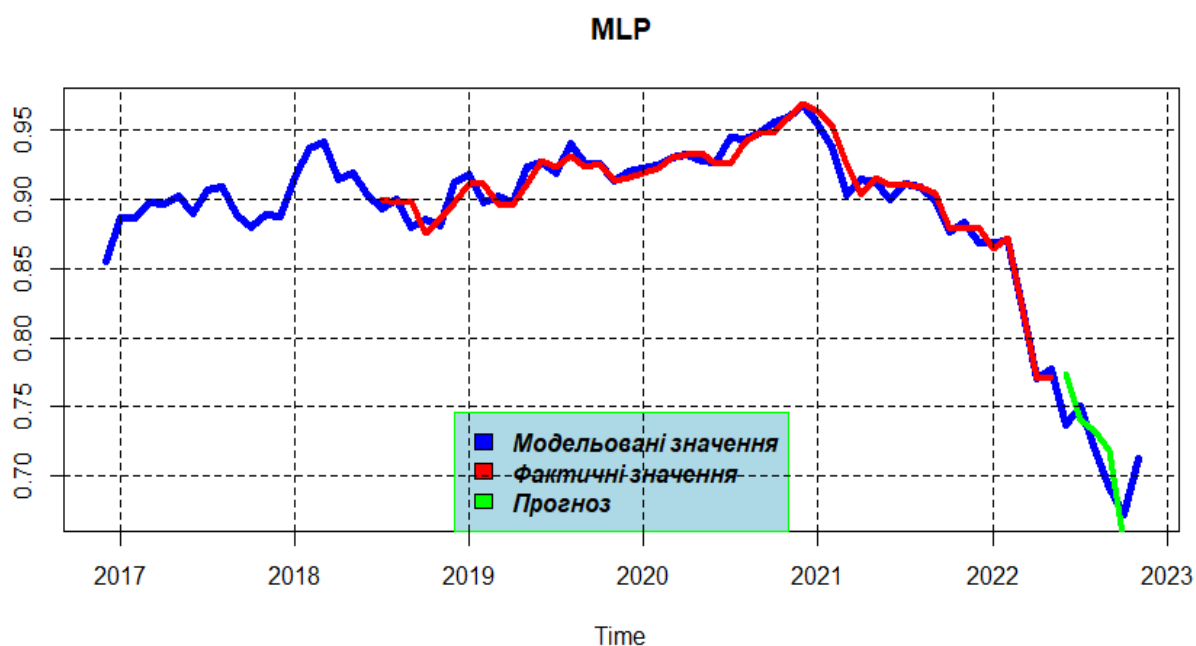


Рис. 3.53. Результати побудови MLP мережі прогнозування курсу валютної пари CHF/USD

На рахунок характеристик мережі побудованої на основі архітектури MLP то вони наведені в таблиці 3.25. Як можемо бачити вони нічим не відрізняються від своїх аналогів при побудові MLP мереж для прогнозування інших валютних пар. Тому далі перейдемо до побудови ELM мережі

Таблиця 3.25

Характеристики MLP мережі для валютної пари JPY/USD

Характеристика	Значення
R^2	0,99
MAPE	0,019%
MAE	0,0002

Для побудови ELM мережі нами були задані такі параметри як лаг від y до 24 та кількість вузлів прихованого шару $hd=20$. Структура мережі наведена на рис. 3.54. Так при побудові мережі було утворено 8 вхідних вузлів, 20 вузлів прихованого шару та один вихідний вузол.

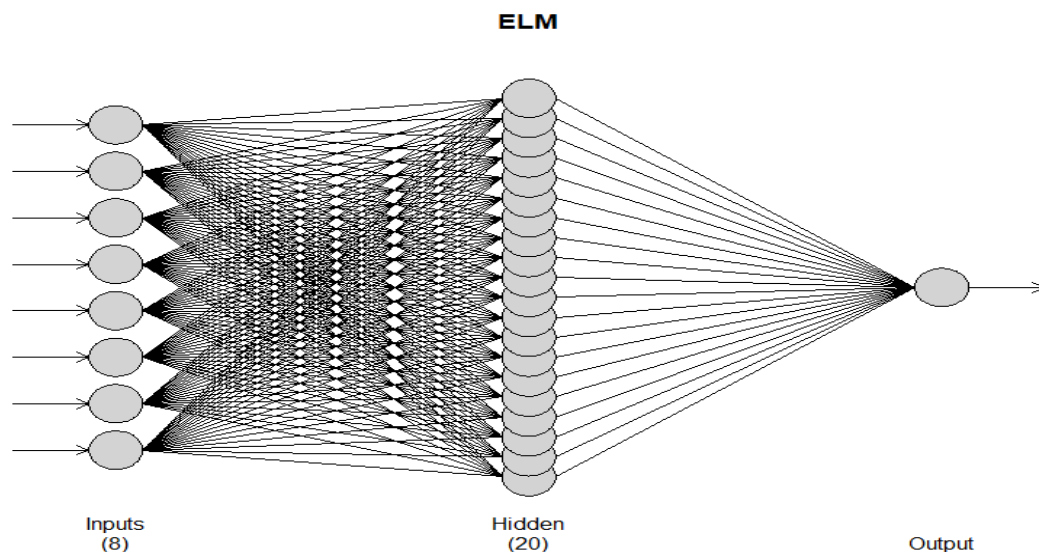


Рис. 3.54. Графік ELM нейронної мережі прогнозування курсу валют валютної пари JPY/USD

На рис. 3.55 наведені результати побудови ELM мереж для прогнозування поведінки валютної пари JPY/USD. мережа доволі якісно пристосовується до вхідного часового ряду. Проте, як і у випадку з прогнозом здійсненим MLP мережею ми можемо спостерігати дещо зміщеність прогнозу, що підтверджує зроблені висновки при оцінці MLP мережі.

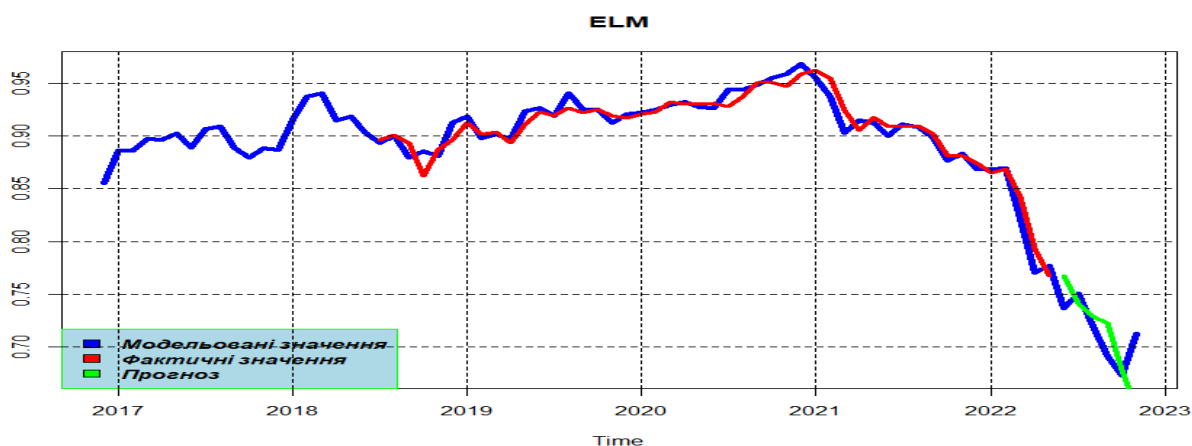


Рис. 3.55. Результати побудови ELM мережі прогнозування курсу валютної пари JPY/USD

Характеристики ELM моделі наведені в таблиці 3.26. Ці оцінки характеризують не здатність моделі до якісного прогнозу, у випадку нейронних

мереж, адаптивних методів прогнозування та авторегресійних методів, які здатні пристосовуватись до даних вони використовуються виключно для порівняння побудованих моделей і обрання кращої. На цьому наголошує значна кількість аналітиків. Причиною цього є той факт, що як і адаптивні моделі, так і авторегресійні моделі та нейронні мережі при підборі параметрів, намагається мінімізувати відхилення реальних значень від фактичних, а тому при використанні нижченаведених характеристик ми можемо визначити наскільки точно модель пристосувалась(описала) вхідний часовий ряд.

Таблиця 3.26

Характеристики MLP мережі для валютної пари JPY/USD

Характеристика	Значення
R^2	0,94
MAPE	0,75%
MAE	0,007

І остання валютна пара, це GBP/USD. Для побудови мережі були задані такі параметри як лаг від 1 до 24, та максимальна кількість вузлів прихованого шару $hd=10$. Структура побудованої мережі наведена на рис. 3.56.

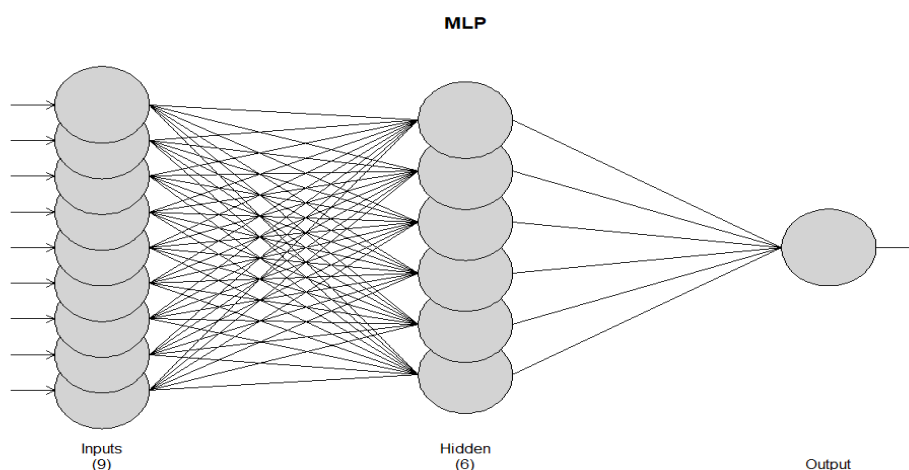


Рис. 3.56. Графік MLP нейронної мережі прогнозування курсу валют валютної пари GBP/USD

Як можемо бачити в процесі побудови було утворено 9 вхідних вузлів, 6 прихованих та один вихідний. В структурі мережі присутня значна кількість вхідних вузлів, що вказує на наявність значної кількості коливань. Це ми можемо бачити на рис. 3.57. У досліджуваному періоді наявна неодноразова зміна тренду, що вкрай негативно вплинуло на характеристики моделі та прогноз, який, як ми можемо бачити, дещо зміщений.

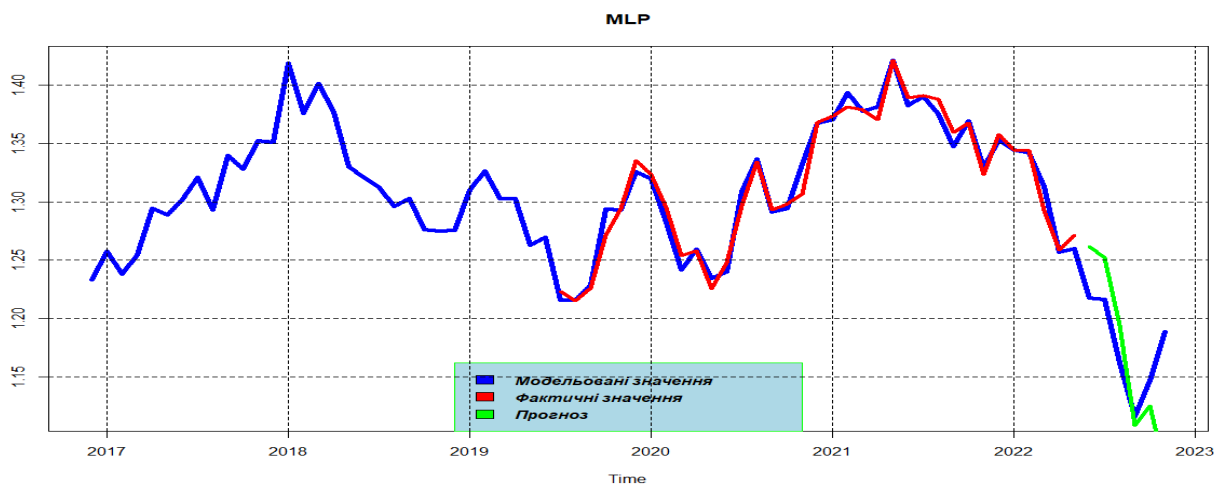


Рис. 3.57. Результати побудови ELM мережі прогнозування курсу валютної пари JPY/USD

Ще однією причиною того, що прогноз зміщений стало різке падіння курсу валюти в прогнозований період, проте мережа на основі попередніх коливань змогла спрогнозувати це падіння. В таблиці 3.27 наведені характеристики MLP мережі.

Таблиця 3.27

Характеристики MLP мережі для валютної пари GBP/USD

Характеристика	Значення
R^2	0,98
MAPE	0,52%
MAE	0,007

Далі перейдемо до побудови ELM мережі. На вхід були подані такі параметри лаг від 1 до 24, різниця рядів від 1 до 3, а кількість вузлів

прихованого шару 25. В результаті отримали мережу структура якої наведена на рис. 3.58.

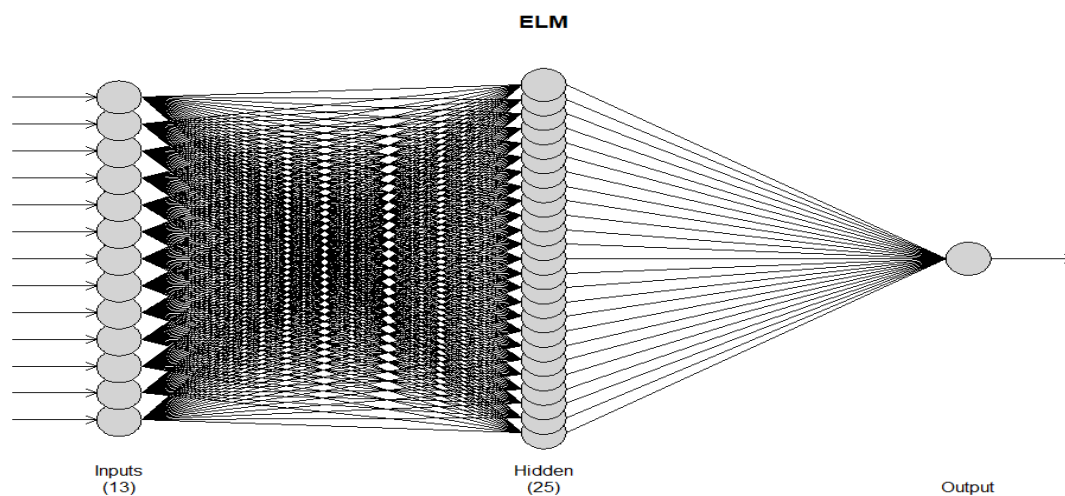


Рис. 3.58. Графік ELM нейронної мережі прогнозування курсу валют валютної пари JPY/USD

В мережі ELM побудованій для прогнозування курсу валют британського фунта щодо долара США присутні 13 вхідних вузлів, 25 вузлів прихованого шару та один вихідний. З результатами побудови мережі можна ознайомитись на рис 3.59.

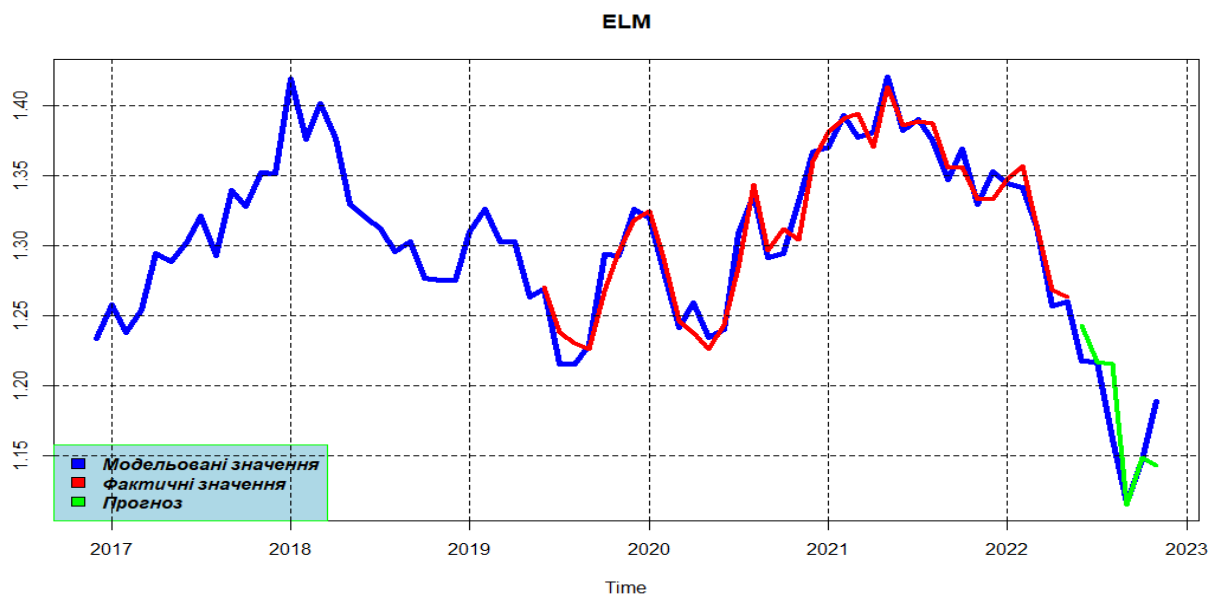


Рис. 3.59. Результати побудови ELM мережі прогнозування курсу валютної пари JPY/USD

На графіку результатів побудови можемо бачити, що прогнози зроблені мережею майже ідентичний фактичним значенням. Проте, можемо спостерігати, що мережі складно описувати ряди в яких наявна значна кількість коливань. Через це була і задана така кількість лагів, щоб коливання на початку ряду не вчинили вплив на прогноз. Характеристики мереж наведені в таблиці 3.28.

Таблиця 3.28

Характеристики ELM мережі для валютної пари GBP/USD

Характеристика	Значення
R^2	0,97
MAPE	0,76%
MAE	0,009

В цілому, нейронні мережі продемонстрували високу якість пристосованості до вхідного ряду, та можливість надати точний прогноз. Який відповідає реальним значенням. Вони здатні врахувати коливання присутні в ряді й відобразити їх на прогнозі. Проте, їм дещо складно вдається прогнозувати явище в яких присутній тренд. Неврахування його призводить до зміщеності прогнозів. А тому як і у випадку авторегресійних моделей, потрібно вводити оператор різниці рядів. Ведення кількості лагів, дозволяє підвищити характеристики мереж, проте, це означає, що частина перших спостережень у побудові мережі ігнорується. Також спостерігається пряма залежність між кількістю вузлів прихованого шару оцінками точності мережі, цей ефект яскраво нам демонструє один з основних недоліків нейронних мереж – здатність до перенавчання, так мережа точно опише вхідний часовий ряд, проте усі коливання присутні у ньому вона перенесе на прогноз, що в результаті значно його деформує.

3.3. Порівняльний аналіз побудованих прогнозних моделей курсу валют

Перейдемо до оцінки отриманих результатів, так оцінка буде здійснюватися на основі отриманих у процесі побудови характеристик точності. Спочатку здійснимо порівняння моделей одного класу тобто, порівняємо адаптивні моделі, далі авторегресійні моделі й наостанок нейронні мережі, після чого порівняння кращих представників класі між собою. Попередньо була підготовлена Таблиця 3.3 характеристиками моделей та здійснена оцінка їх. На рис. жовтим кольором позначені моделі, які продемонстрували найкращі результати, сріблястим ті, що посідають друге місце, та помаранчевим найгірші представники класу.

Таблиця 3.29

Порівняльний аналіз та оцінка точності адаптивних моделей

Модель	Характеристика/Валютна пара	R ²	MAPE	MAE
Брауна	EUR/USD	0,96	0,66	0,007
	CHF/USD	0,93	0,73	0,008
	JPY/USD	0,94	0,71	0,006
	GBP/USD	0,94	0,74	0,009
Хольта	EUR/USD	0,99	0,12	0,0014
	CHF/USD	0,99	0,024	0,003
	JPY/USD	0,99	0,0019	0,00017
	GBP/USD	0,99	0,01	0,00015
Хольта-Вінтерса	EUR/USD	0,95	0,72	0,008
	CHF/USD	0,97	0,51	0,0054
	JPY/USD	0,95	0,67	0,006
	GBP/USD	0,97	0,55	0,007

Як бачимо з таблиці 3. найкращі результати при прогнозуванні усіх валютних пар продемонструвала модель Хольта, друге місце посідає модель Хольта-Вінтерса та третє місце модель Брауна. Слід розуміти, що в сучасних умовах коли реалії стрімко змінюються просте експоненційне згладжування втрачає свою ефективність, для більшості сучасних явищ мало лінійного прогнозу розвитку. Щодо моделі Хольта-Вінтерса то вона більш розрахована на явища з яскраво вираженою сезонністю, і там демонструє найкращі результати, нами ж досліджувались явища в яких значну частину складає саме тренд, а тому відповідно модель Хольта і демонструє найкращі результати. Хоча в частині випадків, модель Хольта-Вінтерса надає кращі прогнози, які більш відповідають реальним значенням, хоча при цьому демонструє гірші результати оцінки точності.

Наступний клас моделей – це авторегресійні моделі. В таблиці 3.30 наведений порівняльний аналіз моделей ARIMA і SARIMA.

Таблиця 3.30

Порівняльний аналіз та оцінка точності авторегресійних моделей

Модель	Характеристика/Валютна пара	R ²	MAPE	MAE
ARIMA	EUR/USD	0,92	1	0,014
	CHF/USD	0,93	0,75	0,007
	JPY/USD	0,92	0,63	0,005
	GBP/USD	0,94	0,71	0,009
SARIMA	EUR/USD	0,96	0,64	0,007
	CHF/USD	0,92	0,87	0,009
	JPY/USD	0,96	0,51	0,004
	GBP/USD	0,96	0,91	0,01

Найкращі результати за більшістю валютних пар продемонструвала SARIMA модель, лише у валютній парі CHF/USD кращі результати

продемонструвала модель ARIMA, що може свідчити про те, що в обраних часових рядах присутня сезонна компонента, яка чинить відповідний вплив на прогноз. Проте, вона чітко виражена, а тому оціночні характеристики як ARIMA моделі, так і SARIMA доволі наближені один до одного.

І останній клас – це нейронні мережі. Їх оцінка наведена в таблиці 3.31. Як можемо бачити в таблиці 3.30 беззаперечним лідером виступає MLP мережа, проте її буде складно реалізувати на великій вибірці, на відміну від ELM мережі, яка доволі швидко будує мережі у порівнянні з MLP. Також існують ситуації коли швидкість прогнозу є більш визначальним фактором ніж його точність.

Таблиця 3.30

Порівняльний аналіз та оцінка точності нейронних мереж

Модель	Характеристика/Валютна пара	R ²	MAPE	MAE
MLP	EUR/USD	0,99	0,01	0,001
	CHF/USD	0,99	0,1	0,001
	JPY/USD	0,99	0,019	0,002
	GBP/USD	0,98	0,52	0,007
ELM	EUR/USD	0,94	1,04	0,012
	CHF/USD	0,95	0,73	0,007
	JPY/USD	0,94	0,75	0,007
	GBP/USD	0,97	0,76	0,009

Проте, ми порівнюємо моделі з точки зору точності, а тому MLP мережа є кращим варіантом для прогнозування курсу валют серед обраних нейронних мереж. Тепер перейдемо до порівняння кращих представників у різних класах моделей.

Таблиця 3.31

Порівняльний аналіз та оцінка точності моделі Хольта, MLP мережі,
ARIMA та SARIMA моделі

Хольта	EUR/USD	0,99	0,12	0,001
	CHF/USD	0,99	0,024	0,003
	JPY/USD	0,99	0,0019	0,0001
	GBP/USD	0,99	0,01	0,00015
MLP	EUR/USD	0,99	0,01	0,001
	CHF/USD	0,99	0,1	0,001
	JPY/USD	0,99	0,019	0,002
	GBP/USD	0,98	0,52	0,007
SARIMA	JPY/USD	0,96	0,51	0,004
	GBP/USD	0,96	0,91	0,01
	EUR/USD	0,96	0,64	0,007
ARIMA	CHF/USD	0,93	0,75	0,007

Як можемо бачити, найкращі результати демонструють модель Хольта та MLP мережа, за різними валютними парами, так MLP мережа є кращою для моделювання і прогнозування курсів валют євро та швейцарського франка щодо долара США. А модель Хольта для японської єни та британського фунта. У порівнянні з цими моделями авторегресійні моделі демонструють дещо гірші результати.

Але також слід оцінювати та відповідність прогнозованих значень фактичним із тестувальної вибірки. Як ми можемо бачити на графіках результатів побудови, для прогнозування окремих валютних пар, то в цілому найкращий прогноз роблять нейронні мережі та авторегресійні моделі, оскільки як перші, так і другі здатні врахувати у прогнозі можливі коливання, і більш якісно реагують на стрімку зміну явищ, водночас адаптивні моделі не здатні швидко відреагувати на цю зміну, що є одним із їх недоліків. А тому адаптивні

моделі ефективні виключно в короткостроковому прогнозуванні(2-3 періоди прогнозування). А тому при прогнозуванні на основі часових рядів, не завжди слід покладатись виключно на оціночні значення здатності моделей точно описати вхідний часовий ряд, а перевіряти прогнози уже на відповідності їх реальним значенням.

Також на основі проведеного дослідження можемо стверджувати, що кожна валютна пара потребує окремих методів для прогнозування, тобто різні валютні пари з точки зору моделювання слід розглядати як окремі явища, і підбирати методи оцінки та здійснення прогнозу окремо для кожної з них, навіть якщо вони демонструють подібну поведінку у часі.

ВИСНОВКИ

Під час нашого дослідження було виконано ряд завдань. Спочатку ми описали поняття валюти, валютного ринку, валютних операцій та способи формування цін на валютному ринку. Так було визначено, що формування валютного курсу це складний процес на, який впливають різні фактори. В загальному, курс валют формується під впливом попиту і пропозиції на, які чинять вплив десятки факторів. Проте, вчені виділяють у своїх дослідження від 5 до 12. І щодо загальної їх кількості думки різняться. Але існують фактори вплив яких незаперечний, а тому вони включені у більшість досліджень. Проте, також було визначено, що вони здійснюють комплексний вплив на формування курсу валют, а ізольований розгляд одного із факторів дозволяє оцінити лише направленість, тобто вказати зросте вартість валюти чи опуститься. Тобто дозволяє оцінити направленість впливу і зрозуміти куди буде рухатись курс, що вкрай важливо для учасників валютного ринку.

Щодо структури ринку, то було визначено, що валютний ринок має доволі розгалужену інфраструктуру. Він представлений як на локальному (національні валютні ринки) рівні так і світовому(світовий валютний ринок). Щоденно на ньому різними суб'єктами валютних відносин укладається значна кількість угод, загальна вартість яких перевищує 6,6 трильйона доларів США. Основна мета усіх учасників це отримання прибутку, хеджування валютних ризиків, забезпечення власної діяльності. Причому, перше є основним, оскільки значна кількість операцій представлена саме у вигляді спекулятивних операцій на валютному ринку. Проте, першочерговим завданням ринку є саме забезпечення міжнародної торгівлі валютою. Також було охарактеризовано основних учасників валютного ринку та інструментарій взаємодії останніх з ним. Так до основних учасників ринку було віднесено державу, банки, організації та фізичні особи та представників інфраструктури ринку: біржі, різного роду фонди, спілки, брокерські компанії тощо. Щодо взаємодії учасників ринку то вони чітко регламентуються законодавством, а саме постановами НБУ щодо валютного

ринку та його регулювання, та законом України «Про валюту в валютні операції» Також було проаналізувати основні підходи до прогнозування обмінних курсів, так на валютному ринку використовуються два види аналізу: технічний та фундаментальний. Проте, без знання економіко-математичного інструментарію ефективність їх використання невисока.

У процесі дослідження також був здійснений опис використання адаптивних, авторегресійних методів та моделей та нейронних мереж. Так було визначено, що адаптивні методи та моделі часто використовуються у прогнозуванні тенденції розвитку різних явищ і процесів на попередніх значень рівнів ряду. Основна їх перевага – це простота та швидкість реалізації. Пошук відбувається за чітким алгоритмом, а основна складність полягає у пошуку оптимальних значень коефіцієнтів згладжування

Авторегресійні моделі завдяки лінійній природі досить прості у реалізації, а тому часто використовуються для прогнозування у різних галузях економіки. Так було визначено, що на платформі Kaggle, більшість аналітиків для прогнозування курсу валют використовують саме авторегресійні моделі. Основним же недоліком цих моделей є необхідність у великій кількості спостережень.

Щодо нейронних мереж то це один з найперспективніших методів. З кожним роком все більше зростає частка використання нейронних мереж у дослідженнях, це пов'язано з постійним зростанням обсягу даних та необхідністю миттєвої реакції на надходження нових даних.

У процесі побудови адаптивних та авторегресійних моделей було визначено вони доволі точно описують вхідний ряд, однією з причин цього є те, що в основі їх лежить ковзна середня, і обидва класи моделей зосереджені на згладжуванні рівнів ряду. Основним же недоліком обох класів моделей є складність підбору параметрів моделей, у випадку адаптивних моделей – це коефіцієнти згладжування, а у випадку авторегресійних моделей – це підбір порядків процесів AR і MA. В першому випадку нам допомагає процес

оптимізації одного з характеристик моделі, в другому випадку нам допомагає дослідження функцій автокореляції та часткової автокореляції. Перед початком побудови моделей часові ряди слід дослідити на стаціонарність та провести їх декомпозицію, щоб визначити можливі складові ряду. Це значним чином спростить процес побудови моделей та підвищить точність отриманих прогнозів.

Щодо нейронних мереж, то у процесі їх побудови вони продемонстрували високу якість пристосованості до вхідного ряду, та можливість надати точний прогноз, який відповідає реальним значенням. Вони здатні врахувати коливання присутні в ряді та відобразити їх на прогнозі. Проте, їм дещо складно вдається спрогнозувати явище в яких присутній тренд. Неврахування його призводить до зміщеності прогнозів. А тому, як і у випадку авторегресійних моделей, потрібно вводити оператор різниці рядів. Ведення кількості лагів, дозволяє підвищити характеристики мереж, проте це означає, що частина перших спостережень у побудові мережі ігнорується. Також спостерігається пряма залежність між кількістю вузлів прихованого шару оцінками точності мережі, цей ефект яскраво нам демонструє один з основних недоліків нейронних мереж – здатність до перенавчання, так мережа точно опише вхідний часовий ряд, проте усі коливання присутні у ньому вона перенесе на прогноз, що в результаті значно його деформує.

Також нами був проведений порівняльний аналіз використовуваних у дослідженні методів і моделей. Так найкращі результати продемонстрували модель Хольта та MLP мережа, за різними валютними парами, так MLP мережа є кращою для моделювання і прогнозування курсів валют євро та швейцарського франка щодо долара США. А модель Хольта для японської єни та британського фунта

Але також було зроблена оцінка відповідності прогнозованих значень фактичним із тестувальної вибірки. Як ми можемо бачити на графіках результатів побудови для прогнозування окремих валютних пар, то в цілому

найкращий прогноз роблять нейронні мережі та авторегресійні моделі, оскільки як перші, так і другі здатні врахувати у прогнозі можливі коливання, і більш якісно реагують на стрімку зміну явищ, водночас адаптивні моделі не здатні швидко відреагувати на цю зміну, що є одним із їх недоліків. А тому адаптивні моделі ефективні виключно в короткостроковому прогнозуванні (2-3 періоди прогнозування). Ще один недолік виражений у тому, що на кінцевий прогноз значним чином впливає останнє спостереження і якщо в досліджуваному часовому ряді на останньому спостереженні відбувається коливання, то це призведе до зміщення прогнозів. А тому при прогнозуванні на основі часових рядів назавжди слід покладатись виключно на оціночні значення здатності моделей точно описати вхідний часовий ряд, а перевіряти прогнози уже на відповідності їх реальним значенням. Саме тому при побудові моделей, вхідний часовий ряд часто поділяється на тестувальну та тренувальну вибірки. На основі другої відбувається побудова моделі, а на основі першої здійснюється оцінка відповідності прогнозу реальним значенням.

Також на основі проведеного дослідження можемо стверджувати, що кожна валютна пара потребує окремих методів для прогнозування, тобто різні валютні пари з точки зору моделювання слід розглядати як окремі явища, і підбирати методи оцінки та здійснення прогнозу окремо для кожної з них, навіть якщо вони демонструють подібну поведінку у часі.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ТА ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Al-Gounmein, R. S., & Ismail, M. T. (2020). Forecasting the exchange rate of the Jordanian Dinar versus the US dollar using a Box-Jenkins seasonal ARIMA Model. *International Journal of Mathematics and Computer Science*, vol. 15(1), pp. 27-40
2. Amat, C., Tomasz, M., & Gilles, S. (2018). Fundamentals and exchange rate forecast ability with machine learning methods. *Journal of International Money Finance*, vol. 88, pp. 1-24
3. Adhikari, R., and R. K. Agrawal. (2014). A Combination of Artificial Neural Network and Random Walk Models for Financial Time Series Forecasting. *Neural Computing & Applications*, vol. 24 (6), pp. 1441–9
4. Beckmann, J., and R. Schüssler. (2016). Forecasting Exchange Rates under Parameter and Model Uncertainty. *Journal of International Money and Finance*, vol. 60 (February), pp. 267–88
5. Chen, Y., and G. Zhang. (2013). Exchange Rates Determination Based on Genetic Algorithms Using Mendel's Principles: Investigation and Estimation under Uncertainty. *Information Fusion*, vol. 14 (3), pp. 327–33
6. Сергієнко О. А., Татар М. С. Моделі прогнозування валютних курсів в системі управління конкурентоспроможністю підприємства. *Проблеми економіки*. 2013. № 2. С. 268–278
7. О. І. Барановський. Валютний ринок // *Енциклопедія Сучасної України* : енциклопедія [електронна версія] / ред.: І. М. Дзюба
8. Hudson D. foreign exchange market | economics. *Encyclopedia Britannica*. URL: <https://www.britannica.com/topic/foreign-exchange-market> (дата звернення: 7.11.2022).
9. Божидарнік Н.В. Валютні операції [текст] підручник/ Н. В. Божидарнік, Т. В. Божидарнік - К.: «Центр учбової літератури», 2013. - 698 с

10. Гроші та кредит : підручник./ М. І. Савлук, А. М. Мороз, І. М. Лазепко та ін. За ред. докт. екон. наук., проф. М. І. Савлука. 6-те вид. Київ : КНЕУ, 2011. 589 с.
11. О. М. Мозговий, Т. Є. Оболенська, Т. В. Мусієць: Навч. посіб. — К.: КНЕУ, 2005. — 557 с.
12. Zolotovaliutni rezervy Ukrainy (2009-2022). Stavky, indeksy, taryfy. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/finance/assets/> (Дата звернення: 03.11.2022).
13. Hogwarts Legacy on Steam. Steam. URL: https://store.steampowered.com/app/990080/Hogwarts_Legacy/ (Дата звернення: 03.11.2022).
14. ACCESSWIRE. Fair Forex & The Forex Library: Making the Most of the Forex Boom. Yahoo Finance - Stock Market Live, Quotes, Business & Finance News. URL: https://finance.yahoo.com/news/fair-forex-forex-library-making-184500405.html?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xlLmNvbS8&guce_referrer_sig=AQAAADouEFrHYx1-sdmXGA5AMsGKT16R0ipsR7VI GqJEz_3mXDm36H4SXwFhu3eJSfE_aQFkghTWEJ2NA_1O-eQmpdDnUy6R0 QldfybK9XugEtdrsLhn9ldJsuqYoKCygBiet5jmUct6LaHGTRQ-R8XmvlwG2vak dtYVDf7jMOjtFoLq (дата звернення: 6.11.2022).
15. Журавка Ф.О. Ж 91 Валютно-курсова політика Національного банку України в умовах трансформаційної економіки: Монографія. – Суми: ТОВ “КВК “Ділові перспективи””; УАБС НБУ, 2007. – 70 с.
16. Бакуменко Т. В. Валютний курс і фундаментальні фактори його формування. Проблеми і перспективи розвитку банківської системи України : зб. наук. праць. Суми : УАБС НБУ, 2004. Т. 9. С. 344–352.
17. Williams G. Modeling real exchange rate behavior : a cross-country study / G. Williams A. Parikh // Applied Financial Economics. – 1998. – Vol. 8 – P. 578.
18. Akter, R. Factors that Determine and Influences Foreign Exchange Rates. Preprints 2021, 2021060240 (doi: 10.20944/preprints202106.0240.v1).

19. Малащук Д. АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ФОРМУВАННЯ ВАЛЮТНОГО КУРСУ. Зовнішня торгівля: економіка, фінанси, право. 2010. № 6. С. 83–86.
20. Підручник / Кол. авт.: А. М. Мороз, М. Ф. Пуховкіна, М. І. Савлук та ін.; За ред. д-ра екон. наук, проф. А. М. Мороза і канд. екон. наук, доц. М. Ф. Пуховкіної. — К.: КНЕУ, 2005. — 556 с.
21. Державний борг України (2009-2022). Ставки, індекси, тарифи. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/finance/debtgov/> (дата звернення: 6.11.2022).
22. Про валюту і валютні операції : Закон України від 21.06.2018 р. № 2473-VIII : станом на 1 серп. 2022 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2473-19#Text> (дата звернення: 5.11.2022).
23. Про затвердження Положення про структуру валютного ринку України, умови та порядок торгівлі іноземною валютою та банківськими металами на валютному ринку України : Постанова Нац. банку України від 02.01.2019 р. № 1 : станом на 16 лип. 2022 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0001500-19#Text> (дата звернення: 5.11.2022).
24. Про затвердження Положення про здійснення операцій із валютними цінностями : Положення Нац. банку України від 02.01.2019 р. № 2 : станом на 16 лип. 2022 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0002500-19#Text> (дата звернення: 05.11.2022).
25. Про затвердження Положення про транскордонне переміщення валютних цінностей : Постанова Нац. банку України від 02.01.2019 р. № 3. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0003500-19#Text> (дата звернення: 05.11.2022).
26. Про затвердження Положення про перелік заходів захисту, порядок та критерії їх запровадження, подовження та дострокового припинення : Постанова Нац. банку України від 02.01.2019 р. № 4. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0004500-19#Text> (дата звернення: 05.11.2022).

27. Про затвердження Положення про заходи захисту та визначення порядку здійснення окремих операцій в іноземній валюті : Постанова Нац. банку України від 02.01.2019 р. № 5 : станом на 16 лип. 2022 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0005500-19#Text> (дата звернення: 06.11.2022).
28. Про затвердження Положення про порядок надання банками Національному банку України інформації щодо договорів, які передбачають виконання резидентами боргових зобов'язань перед нерезидентами-кредиторами за залученими резидентами кредитами, позиками : Постанова Нац. банку України від 02.01.2019 р. № 6 : станом на 30 черв. 2021 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0006500-19#Text> (дата звернення: 06.11.2022).
29. Про затвердження Інструкції про порядок валютного нагляду банків за дотриманням резидентами граничних строків розрахунків за операціями з експорту та імпорту товарів : Постанова Нац. банку України від 02.01.2019 р. № 7 : станом на 14 лип. 2022 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0007500-19#Text> (дата звернення: 06.11.2022).
30. Про затвердження Положення про порядок здійснення уповноваженими установами аналізу та перевірки документів (інформації) про валютні операції : Постанова Нац. банку України від 02.01.2019 р. № 8 : станом на 1 лип. 2021 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0008500-19#Text> (дата звернення: 06.11.2022).
31. Про внесення змін до Положення про встановлення офіційного курсу гривні до іноземних валют та розрахунку довідкового значення курсу гривні до долара США й облікової ціни банківських металів : Постанова Нац. банку України від 07.10.2020 р. № 140. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0140500-20#Text> (дата звернення: 06.11.2022).

32. Melnyk O., Novoseletsky O. ECONOMIC AND MATHEMATICAL TOOLS FOR PREDICTING THE CURRENCY EXCHANGE RATE. Scientific opinion: Economics and Management. 2022. URL: <https://doi.org/10.32836/2521-666x/2022-78-24> (дата звернення: 05.11.2022).
33. Семяновський В.М. Методи соціально-економічного прогнозування: Навч. посіб. – К.: Бізнес Медіа Консалтинг, - 2011. – 300 с.
34. Kaggle. Kaggle: Your Machine Learning and Data Science Community. URL: <https://www.kaggle.com/> (дата звернення: 08.11.2022).
35. Measuring the Economic Contribution of Cultural Industries : A review and assessment of current methodological approaches. (2009 UNESCO Framework for Cultural Statistics Handbook; 1). UNESCO Institute for Statistics, 2012. URL: <https://doi.org/10.15220/978-92-9189-118-4-en> (date of access: 05.11.2022).
36. Box G E P & Jenkins G M. Time series analysis: forecasting and control. San Francisco, CA: Holden-Day. (1970) 1976. 575 p.
37. Scott G. Box-Jenkins Model: Definition, Uses, Timeframes, and Forecasting. Investopedia. URL: <https://www.investopedia.com/terms/b/box-jenkins-model.asp> (дата звернення: 08.11.2022).
38. Basu, S., Mukherjee, A., & Klivansky, S. (1996, March). Time series models for internet traffic. In Proceedings of IEEE INFOCOM'96. Conference on Computer Communications (Vol. 2, pp. 611-620). IEEE.
39. Hill T., Marquez L., O'Connor M., Remus W. Artificial neural network models for forecasting and decision making// International Journal of Forecasting. 1994. Vol.10. P.5-15.
40. Pontoh R.S., Z S, Hidayat Y., Aldella R., Jiwani N.M., Sukono Covid-19 modelling in South Korea using a time series approach. Int. J. Adv. Sci. Technol. 2020;29(7):1620– 1632
41. Jump up to: a b c Huang, Guang-Bin; Hongming Zhou; Xiaojian Ding; and Rui Zhang (2012). "Extreme Learning Machine for Regression and Multiclass

Classification" (PDF). IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part B: Cybernetics. 42 (2): 513–529.

42. Augmented dickey-fuller test in R | r-bloggers. R-bloggers. URL: <https://www.r-bloggers.com/2022/06/augmented-dickey-fuller-test-in-r/> (date of access: 26.11.2022).

43. Hyndman, R.J., & Athanasopoulos, G. (2021) Forecasting: principles and practice, 3rd edition, OTexts: Melbourne, Australia

44. Forecast package - RDocumentation. Home - RDocumentation. URL: <https://www.rdocumentation.org/packages/forecast/versions/8.14> (date of access: 07.11.2022).

ДОДАТКИ

Додаток 1. Скрипт коду реалізації адаптивних, авторегресійних методів та моделей, та побудови нейронних мереж в середовищі R.

```

library(tseries)
library(forecast)
2 library(ggplot2)
3 library(MLmetrics)
4 library(readr)
5 library(fpp2)
6 library(TTR)
7 library(dplyr)
8 library(dynlm)
9 library(nnfor)
10 library(bayesforecast)
11
12 #модуль завантаження даних
13 eurUSD <- read.csv("C:/Users/PC/Documents/MLP/EUR.csv", sep = ",")
14 CHFUSD <- read.csv("C:/Users/PC/Documents/MLP/CHF.csv", sep = ",")
15 JPYUSD <- read.csv("C:/Users/PC/Documents/MLP/JPY.csv", sep = ",")
16 GBPUSD <- read.csv("C:/Users/PC/Documents/MLP/GBP.csv", sep = ",")
17 out<-eurUSD[,2]# замінити eurUSD обраною валютною парою завантаженою в середовище на попередньому
18 етапі
19 out<-rev(out)
20 output<-ts(out,frequency = 12,start = c(2016,12))
21 plot(output)
22 acf(output)
23 head.matrix(output)
24 adf.test(output)
25 head(output)
26 i<-length(out)
27 h<-7
28 z<-h-1
29 o<-i-z
30 tdata<-output[1:o]
31 tsdata<-ts(tdata, frequency = 12, start =c(2016,12))
32 print(tsdata)
33
34 decompose_candyts <- decompose(output,"additive")
35 autoplot(decompose_candyts)

```

```

36
37 #Адаптивні моделі
38 Holt_method<-function(){
39 #Початкові значення та параметри моделі задаються для кожної валютної пари окремо Lh<-tdata[1]
40 Th<-0
41 ah<-0.714142632175214
42 bh<-0.429245039228058
43 Yh<-Lh+Th
44 Fch<-0
45 Lh[2]<-ah*tdata[2]+(1-ah)*(Lh[1]-Th[1])
46 Th[2]<-bh*(Lh[2]-Lh[1])+(1-bh)*Th[1]
47 Yh[2]<-Lh[1]+Th[1]
48
49 for (n in 3:length(tdata)) {
50 Lh[n]<-ah*tdata[n]+(1-ah)*(Lh[n-1]-Th[n-1])
51 Th[n]<-bh*(Lh[n]-Lh[n-1])+(1-bh)*Th[n-1]
52 Yh[n-1]<-Lh[n-1]+Th[n-1]
53 }
54 for (n in 1:h) {
55 Fch[n]<-Lh[length(tdata)]+Th[length(tdata)]*n
56 }
57 FCh<-ts(Fch,frequency = 12,start = c(2022,5,1))
58 YH<-ts(Yh,frequency = 12,start = c(2016,12,1))
59 print(YH)
60 plot(output, lwd=5,
61 ylab="",
62 type="l",
63 col="blue")
64 lines(YH, col="red",lwd=4)
65 lines(FCh, col="green",lwd=4)
66 legend("bottom",box.col="green",text.font=4, bg='lightblue',
67 c("Фактичні значення","Модельовані значення","Прогноз"),
68 fill=c("blue","red","green"))
69 grid(nx = NULL, ny = NULL,
70 lty = 3, # Grid line type
71 col = "black", # Grid line color
72 lwd = 0.5) # Grid line width
73
74 residual<-tdata-Yh
75 residual[length(tdata)]<-tdata[length(tdata)]-FCh[1]
76 print(residual)

```

```

77 RRS<-sum((residual)^2)
78 TSS<-sum((tdata-mean(tdata))^2)
79 R2<-1-RRS/TSS
80 MAPE<-mean(abs(residual/tdata*100))
81 MAE<-mean(abs(residual))
82 }
83 Holt_method()
84
85 Brain_method<-function (){
86 #Метод Брауна
87 # Початкові значення та параметри моделі задаються для кожної валютної пари окремо
88 A1<-tdata[1]
89 A2<-tdata[1]
90 a1<-tdata[1]
91 b1<-((tdata[1]-tdata[2])+(tdata[3]-tdata[4]))/2
92 a<-0.453618789037269
93 AS<-tdata[1]*a+(1-a)*A1
94 AS[2]<-tdata[2]*a+(1-a)*AS[1]
95 AT<-AS[1]*a+(1-a)*A2
96 AT[2]<-AS[2]*a+(1-a)*AT[1]
97 for(n in 3:length(tdata)){
98 AS[n]<-tdata[n]*a+(1-a)*AS[n-1]
99 AT[n]<-AS[n]*a+(1-a)*AT[n-1]}
100 for(n in 2:length(tdata)+1){
101 a1[2:n]<-2*AS-AT
102 b1[2:n]<-a/(1-a)*(AS-AT)}
103 print(b1)
104 F<-a1+b1
105 Fc<-0
106 for(n in 1:h)
107 {
108 Fc[n]<-a1[length(a1)]+b1[length(b1)]*n
109 }
110 FCh<-ts(Fc,frequency = 12,start = c(2022,5,1))
111 YH<-ts(F,frequency = 12,start = c(2016,11,1))
112 plot(output, lwd=5,
113 ylab="",
114 type="l",
115 col="blue")
116 lines(YH, col="red",lwd=4)
117 lines(FCh, col="green",lwd=4)

```

```

118 legend("bottom",box.col="green",text.font=4, bg='lightblue',
119 c("Фактичні значення","Модельовані значення","Прогноз"),
120 fill=c("blue","red","green"))
121 grid(nx = NULL, ny = NULL,
122 lty = 3, # Grid line type
123 col = "black", # Grid line color
124 lwd = 0.5) # Grid line width
125
126 residual<-0
127 for (n in 2:length(tdata)) {
128 residual[n-1]<-tdata[n-1]-F[n]
129 }
130 residual[length(tdata)]<-tdata[length(tdata)]-FCh[1]
131 RRS<-sum((residual)^2)
132 TSS<-sum((tdata-mean(tdata))^2)
133 R2<-1-RRS/TSS
134 MAPE<-mean(abs(residual/tdata*100))
135 MAE<-mean(abs(residual))
136 }
137 Brain_method()
138
139 HoltWinters_method<-function(){
140 #Початкові значення та параметри моделі задаються для кожної валютної пари окремо
141 Lt<-tdata[1]
142 Tt<-0
143 St<-1
144 qa<-0.564409474
145 qb<-0.149183867791388
146 qs<-0.15
147 qss<-1
148 St[2:24]<-1
149 Y<-tdata[1]
150
151 Lt[2]<-(qa*tdata[2]/St[1])+(1-qa)*(Lt[1]+Tt[1])
152 Tt[2]<-qb*(Lt[2]-Lt[1])+(1-qb)*Tt[1]
153 Y[2]<-Lt[1]+Tt[1]
154 for (n in 3:length(St)) {
155 Lt[n]<-(qa*tdata[n]/qss)+(1-qa)*(Lt[n-1]+Tt[n-1])
156 Tt[n]<-qb*(Lt[n]-Lt[n-1])+(1-qb)*Tt[n-1]
157 Y[n-1]<-Lt[n-1]+Tt[n-1]
158 }

```

```

159 for (n in 13:24) {
160   St[n]<-qs*(tdata[n]/Lt[n])+(1-qs)*qss
161   Y[n-1]<-Lt[n-1]+Tt[n-1]
162 }
163 for (n in 25:length(tdata)) {
164
165   Lt[n]<-(qa*tdata[n]/St[(n-12)])+(1-qa)*(Lt[(n-1)]+Tt[(n-1)])
166   Tt[n]<-qb*(Lt[n]-Lt[(n-1)])+(1-qb)*Tt[(n-1)]
167   St[n]<-qs*(tdata[n]/Lt[n])+(1-qs)*St[(n-12)]
168   Y[n-1]<-(Lt[n-1]+Tt[n-1])*St[n-12]
169 }
170 FHc<-0
171
172 for (n in 1:h) {
173   FHc[n]<-(Lt[length(Lt)]+Tt[length(St)]*n)*St[length(St)-12+n-1]
174 }
175
176 print(FHc)
177 FC<-ts(FHc,frequency = 12,start = c(2022,5,1))
178 Fy<-ts(Y,frequency = 12,start = c(2016,12,1))
179 print(Y)
180
181 plot(output, lwd=5,
182   ylab="",
183   type="l",
184   col="blue")
185 lines(Fy, col="red",lwd=4)
186 lines(FC, col="green",lwd=4)
187 legend("bottom",box.col="green",text.font=4, bg='lightblue',
188   c("Фактичні значення","Модельовані значення","Прогноз"),
189   fill=c("blue","red","green"))
190 grid(nx = NULL, ny = NULL,
191   lty = 3, # Grid line type
192   col = "black", # Grid line color
193   lwd = 0.5) # Grid line width
194 residual<-tdata-Y
195 residual[length(tdata)]<-tdata[length(tdata)]-FHc[1]
196 RRS<-sum((residual)^2)
197 TSS<-sum((tdata-mean(tdata))^2)
198 R2<-1-RRS/TSS
199 MAPE<-mean(abs(residual/tdata*100))

```

```

200 MAE<-mean(abs(residual))
201 }
202 HoltWinters_method()
203
204 #Авторегресійні моделі
205
206 ARIMA_model<-function(){
207 auto_1 = auto.arima(tdata, p=2, d=2, trace=TRUE )
208 auto_1
209
210 tsdisplay(residuals(auto_1), lag.max = 60, main = '(1,0,0) Model Residuals')
211 Amodel = arima(tdata, order = c(2,2,2))
212 tsdisplay(residuals(Amodel), lag.max = 60, main = '(2,2,2) Model Residuals')
213
214 i_tsforecasts<-forecast(Amodel, h)
215 print(i_tsforecasts)
216 plot(i_tsforecasts)
217 Box.test(Amodel$residuals, lag = 14, fitdf = 2, type = 'Ljung-Box')
218 for (n in 1:length(tdata)) {
219 residual[n]<-tdata[n]-i_tsforecasts$fitted[n+1]
220 }
221 residual[length(tdata)]<-tdata[length(tdata)]-i_tsforecasts$mean[1]
222 RRS<-sum((residual)^2)
223 TSS<-sum((tdata-mean(tdata))^2)
224 R2<-1-RRS/TSS
225 MAPE<-mean(abs(residual/tdata*100))
226 MAE<-mean(abs(residual))
227 RMSE<-sqrt(mean(RRS))
228
229 r<-ts(i_tsforecasts$fitted, frequency = 12, start = c(2016,11))
230 fc<-ts(i_tsforecasts$mean, frequency = 12, start = c(2022,5))
231
232 plot(output, lwd=5, main = "ARIMA(2;2;2)",
233 ylab="",
234 type="l",
235 col="blue")+
236 lines(r, col="red",lwd=4)
237 lines(fc, col="green", lwd=4)
238 legend("bottom",box.col="green",text.font=4, bg='lightblue',
239 c("Модельовані значення", "Фактичні значення", "Прогноз"),
240 fill=c("blue", "red", "green"))

```



```

241 grid(nx = NULL, ny = NULL,
242 lty = 2,
243 col = "black",
244 lwd = 0.5)
245 }
246 ARIMA_model()
247
248 SARIMA_model<-function(){
249
250 Amodel = arima(tdata, order = c(0,1,2), seasonal = c(0,1,1))
251 Amodel
252 tsdisplay(residuals(Amodel), lag.max = 60, main = 'SARIMA(0,1,2)X(0,1,1) Model Residuals')
253
254 i_tsforecasts<-forecast(Amodel, h)
255 print(i_tsforecasts)
256 plot(i_tsforecasts)
257 residual<-0
258 for (n in 1:length(tdata)) {
259 residual[n]<-tdata[n]-i_tsforecasts$fitted[n+1]
260 }
261 residual[length(tdata)]<-tdata[length(tdata)]-i_tsforecasts$mean[1]
262 RRS<-sum((residual)^2)
263 TSS<-sum((tdata-mean(tdata))^2)
264 R2<-1-RRS/TSS
265 MAPE<-mean(abs(residual/tdata*100))
266 MAE<-mean(abs(residual))
267 RMSE<-sqrt(mean(RRS))
268
269 r<-ts(i_tsforecasts$fitted, frequency = 12, start = c(2016,11))
270 fc<-ts(i_tsforecasts$mean, frequency = 12, start = c(2022,5))
271
272 plot(output, lwd=5, main = "SRIMA(0;1;2)X(0,1,1)",
273 ylab="",
274 type="l",
275 col="blue")+
276 lines(r, col="red",lwd=4)
277 lines(fc, col="green", lwd=4)
278 legend("bottom",box.col="green",text.font=4, bg='lightblue',
279 c("Модельовані значення","Фактичні значення", "Прогноз"),
280 fill=c("blue", "red", "green"))
281 grid(nx = NULL, ny = NULL,

```

```

282 lty = 2,
283 col = "black",
284 lwd = 0.5)
285 }
286 SARIMA_model()
287
288 #Нейронні мережі
289 MLP<-function(){
290 fit1 <- mlp(tpdata, difforder=c(1,6), hd.auto.type="valid",hd.max=10)
291 print(fit1)
292 plot(fit1)
293 fit1 <- mlp.thief(tpdata, lags=1:24, difforder=c(1,6), hd.auto.type="cv",hd.max=10)
294 MLP <- forecast(fit1,h=6)
295 print(MLP)
296 plot(MLP)
297 residual<- as.numeric(fit1$residuals)
298 RRS<-sum((residual)^2)
299 TSS<-sum((tpdata-mean(tpdata))^2)
300 R2<-1-RRS/TSS
301 MAPE<-mean(abs(residual/tpdata*100))
302 MAE<-mean(abs(residual))
303 RMSE<-sqrt(mean(RRS))
304
305 plot(output, lwd=5, main = "MLP",
306 ylab="",
307 type="l",
308 col="blue")+
309 lines(r, col="red",lwd=4)
310 lines(fc, col="green", lwd=4)
311 legend("bottom",box.col="green",text.font=4, bg='lightblue',
312 c("Модельовані значення","Фактичні значення", "Прогноз"),
313 fill=c("blue","red", "green"))
314 grid(nx = NULL, ny = NULL,
315 lty = 2,
316 col = "black",
317 lwd = 0.5)
318
319 }
320 MLP()
321
322 ELM<-function(){

```

```

323 fit3 <- elm(tdata, type="lm",difforder=(1:3), hd=25)
324 print(fit3)
325 plot(fit3)
326 EML <- forecast(fit3,h=6)
327 print(EML)
328 plot(EML)
329 residual<- as.numeric(EML$residuals)
330 RRS<-sum((residual)^2)
331 TSS<-sum((tdata-mean(tdata))^2)
332 R2<-1-RRS/TSS
333 MAPE<-mean(abs(residual/tdata*100))
334 MAE<-mean(abs(residual))
335 RMSE<-sqrt(mean(RRS))
336 r<-EML$fitted
337 fc<-EML$mean
338 print(r)
339 plot(output, lwd=5, main = "ELM",
340 ylab="",
341 type="l",
342 col="blue")+
343 lines(r, col="red",lwd=4)
344 lines(fc, col="green", lwd=4)
345 legend("bottom",box.col="green",text.font=4, bg='lightblue',
346 c("Модельовані значення","Фактичні значення", "Прогноз"),
347 fill=c("blue","red", "green"))
348 grid(nx = NULL, ny = NULL,
349 lty = 2,
350 col = "black",
351 lwd = 0.5)
352 }
353 ELM()
354
355
356
357
358
359

```