

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ЕКОНОМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ЕКОНОМІЧНОЇ КІБЕРНЕТИКИ**

**Кваліфікаційна робота
магістра**

на тему **Аналіз та прогнозування показників динаміки інвестиційних
інструментів на фінансових ринках**

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.0518-ек
спеціальності 051 Економіка
(код і назва спеціальності)

освітньої програми Економічна кібернетика
(код і назва освітньої програми)

Д.О. Басова
(ініціали та прізвище)

Керівник д. е. н., проф. Максишко Н.К.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент д.ф.-м.н., проф. Козін І.В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2020

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет _____

Кафедра _____

Рівень вищої освіти _____

Освітня програма _____
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____
(підпис)

« ____ » _____ 20 ____ року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТЦІ

Басовій Дар'ї Олександрівни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи Аналіз та прогнозування показників динаміки інвестиційних інструментів на фінансових ринках

керівник роботи д. е. н., проф. Максишко Наталія Костянтинівна
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від « ____ » _____ 20 ____ року № _____

2 Строк подання студентом роботи _____

3 Вихідні дані до роботи _____

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) _____

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра містить три розділи, 79 с., 55 рис., 18 табл., 9 формул, 4 додатки, 49 джерела.

Об'єкт дослідження – динаміка інвестиційних інструментів на фінансових ринках.

Предмет дослідження – математичні методи аналізу та моделі прогнозування динаміки інвестиційних інструментів на фінансових ринках.

Мета роботи – удосконалення та застосування методології аналізу та прогнозування показників динаміки інвестиційних інструментів.

Методи дослідження – порівняльний, статистичний аналіз, комплексний фрактальний аналіз, прогнозування на базі нейронної мережі (реалізовано в програмному продукті Deductor), гібридної моделі однорідної структури та експоненційного згладжування (реалізовано в пакеті STATISTICA).

У роботі досліджено сутність фінансового ринку, його структуру, функції та суб'єкти. Проаналізовано обрані інвестиційні інструменти, які належать до фінансових ринків: ринку дорогоцінних металів (золото), валютного ринку Forex (курс валютної пари EUR/USD) та новітнього ринку криптовалют (Біткоїн). Розглянуто основні показники динаміки для оцінки привабливості інвестиційних інструментів, а саме: ціна, прибутковість, строк обігу, волатильність, ліквідність, ризикованість. Сформована та удосконалена за рахунок застосування комплексного фрактального аналізу та іншого інструментарію методологія аналізу та прогнозування показників динаміки інвестиційних інструментів. Проведено статистичний та комплексний фрактальний аналіз часових рядів за період з січня 2012 р. по листопад 2019 р. На основі проведеного аналізу побудовано прогнозні моделі. Прогнозування здійснено на базі нейронної мережі, гібридної моделі однорідної структури та експоненційного згладжування.

ФІНАНСОВИЙ РИНОК, ІНВЕСТИЦІЙНІ ІНСТРУМЕНТИ, ЗОЛОТО,
КУРС ВАЛЮТНОЇ ПАРИ EUR/USD, БІТКОЇН, ЧАСОВИЙ РЯД

SUMMARY

Master's qualification work consists of three sections, 79 p., 55 figures, 18 tables, 9 formulas, 4 annexes, 49 sources.

Obligation – the dynamics of investment instruments in financial markets.

Subject matter – mathematical methods of analysis and models for forecasting the dynamics of investment instruments in financial markets.

Meta robots – improvement and application of methodology for analyzing and forecasting the dynamics of investment instruments.

Methodology – comparative, statistical analysis, complex fractal analysis, neural network prediction (implemented in Deductor software), hybrid model of homogeneous structure and exponential smoothing (implemented in STATISTICA package).

The essence of the financial market, its structure, functions and entities. is explored in this paper. Selected investment instruments related to the financial markets are analyzed: the precious metals market (gold), the Forex currency market (the currency pair EUR/USD) and the newest cryptocurrency market (Bitcoin). The basic dynamics indicators for estimation of attractiveness of investment instruments are considered, namely: price, profitability, maturity, volatility, liquidity, riskiness. The methodology of analysis and forecasting of the dynamics of investment instruments has been formed and improved through the use of complex fractal analysis and other tools. Statistical and complex fractal analysis of time series for the period from January 2012 to November 2019 was performed. Based on the analysis built predictive models. The prediction is based on a neural network, a hybrid model of homogeneous structure and exponential smoothing.

FINANCIAL MARKET, INVESTMENT INSTRUMENTS, GOLD, THE CURRENCY PAIR EUR/USD, BITCOIN, TIME SERIES

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАК

МОС – модель однорідної структури

ЧР – часовий ряд

ШНМ – штучна нейронна мережа

ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ	
РЕФЕРАТ	
SUMMARY	
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАК	
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 ФІНАНСОВІ ІНСТРУМЕНТИ ЯК ВАГОМА СКЛАДОВА СФЕРИ ІНВЕСТУВАННЯ ПОНЯТЬ.....	11
1.1 Загальна характеристика фінансового ринку: сутність, функції, структура та суб'єкти.....	11
1.2 Огляд обраних інвестиційних інструментів на фінансових ринках.....	16
1.3 Огляд показників динаміки для оцінки привабливості інвестиційних інструментів.....	25
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ АНАЛІЗУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ДИНАМІКИ НА ФІНАНСОВИХ РИНКАХ.....	29
2.1 Огляд існуючих концепцій фінансових ринків з урахуванням особливостей динаміки.....	29
2.2 Удосконалення методології аналізу динаміки інвестиційних інструментів на фінансових ринках.....	31
2.3 Методологія прогнозування динаміки інвестиційних інструментів на фінансових ринках.....	38
РОЗДІЛ 3 ЗАСТОСУВАННЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ МЕТОДОЛОГІЇ АНАЛІЗУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ДИНАМІКИ ІНВЕСТИЦІЙНИХ ІНСТРУМЕНТІВ НА ФІНАНСОВИХ РИНКАХ	53
3.1 Аналіз динаміки обраних інвестиційних інструментів.....	53
3.2 Прогнозування з використанням нейронних мереж.....	63
3.3 Прогнозування на основі гібридної моделі однорідної структури (МОС) та експоненційного згладжування.....	70
ВИСНОВКИ.....	77
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	80
ДОДАТОК А Вхідні дані для дослідження	85
ДОДАТОК Б Нечітка множина глибини пам'яті часових рядів.....	87
ДОДАТОК В Прогноз ціни золота з грудня 2018 р. по листопад 2019 р. на базі нейронної мережі з варіюванням кількості вхідних нейронів.....	89
ДОДАТОК Г Прогноз курсу валютної пари EUR/USD з грудня 2018 р. по листопад 2019 р. на базі нейронної мережі з варіюванням кількості вхідних нейронів	92

ВСТУП

На сьогоднішній день жодна сфера суспільства не може обійтись без прогнозів як основного засобу погляду у майбутнє. Це стосується і галузі інвестування. Для інвестора є важливим примноження власного капіталу. Для цього необхідно розуміти ринковий механізм та динаміку, що панує у поточний момент стосовно певного інвестиційного інструменту. Для прийняття вірного та обґрунтованого рішення щодо інвестування використовують різні методи прогнозування. Отже, розробка прогнозу зменшує невизначеність та дозволяє прийняти раціональне управлінське рішення.

Проблематиці функціонування інвестиційних ринків і дослідженню їх особливостей присвячено праці як зарубіжних, так і вітчизняних вчених [1]. Серед зарубіжних варто виділити нобелівських лауреатів Дж. Акерлофа, Д. Канемана, Ю. Фаме, П. Хансена, Р. Шіллера. Також вагомий внесок було зроблено Б. Мандельбротом, А. Тверскі, Е. Петерсом та ін.

Що стосується вітчизняної наукової думки, то варто відзначити роботи О. Абакуменко, О. Барановського, О. Вовчак, О. Грабчук, М. Єрмошенка, С. Козьменка, О. Колодізева, В. Корнеєва, Г. Кравчук, С. Науменкової, В. Опаріна, Б. Пшика, І. Рекуненка, О. Сохацької, І. Школьник та ін.

Питанням аналізу та прогнозування цін на інвестиційних ринках присвячено праці як закордонних вчених (Б. Вільямса, Д. Вайлдера, Г. Гріфіоена, Р. Галера, Б. Грехема, Д. Додда, Д. Мерфі, Д. Сорнетте), так і вітчизняних, зокрема, Н. Максишко, В. Біленко, О. Васильєвої, В. Перепелиці, В. Соловйова, С. Чеверди та інших.

Попри таку велику кількість наукових праць, присвячених дослідженню інвестиційних ринків та прогнозуванню цін на них, невирішеними остаточно залишаються ряд теоретичних та практичних аспектів. Таким чином, незавершеність формування цілісного уявлення щодо прогнозування цін на інвестиційних ринках на основі біржової інформації

обумовили актуальність дослідження, його теоретичну і практичну значущість.

Для дослідження було обрано три інвестиційні інструменти, які належать до фінансових ринків: ринку дорогоцінних металів, валютного ринку Forex та новітнього ринку криптовалют.

Найяскравішим представником ринку дорогоцінних металів, без сумніву, є золото. Золото завжди приваблювало інвесторів і було, мабуть, одним із перших інструментів інвестування. Крім того, незважаючи на те, що на сьогоднішній час існує безліч альтернативних варіантів інвестування, ринок золота і нині залишається актуальним і привабливим.

Валютний ринок Forex є найбільшим світовим фінансовим ринком, який в разі більший за фондовий. Найбільш популярною валютною парою ринку є пара EUR/USD.

Також у наш час гучно заявив про себе такий фінансовий феномен як криптовалюта. Наразі немає спільної думки щодо майбутнього криптовалют, але шалена популярність та потенційна інвестиційна привабливість спонукає до детального вивчення та аналізу цього фінансового інструменту. Однією з найвідоміших криптовалют є Bitcoin.

Об'єктом дослідження є динаміка інвестиційних інструментів на фінансових ринках.

Предмет дослідження – математичні методи аналізу та моделі прогнозування динаміки інвестиційних інструментів на фінансових ринках.

Метою даної роботи є удосконалення та застосування методології аналізу та прогнозування показників динаміки інвестиційних інструментів.

Було вирішено наступні завдання:

- досліджено сутність понять фінансовий ринок (структура, функції, основні учасники) та інвестиційні інструменти;
- проаналізовано обрані інвестиційні інструменти, які належать до фінансових ринків;
- удосконалена та застосована методологія аналізу та прогнозування

показників динаміки інвестиційних інструментів;

– побудовано прогноз для обраних інвестиційних інструментів з оцінкою його точності.

Методи дослідження – порівняльний, статистичний аналіз, комплексний фрактальний аналіз, прогнозування на базі нейронної мережі (реалізовано в програмному продукті Deductor), гібридної моделі однорідної структури (МОС) та експоненційного згладжування (реалізовано в пакеті STATISTICA).

Наукова новизна роботи полягає в удосконаленні методології аналізу та прогнозування показників динаміки інвестиційних інструментів на фінансових ринках та побудові прогнозів на базі запропонованих моделей.

Апробація результатів:

– взяла участь у XI, XII та XIII Міжнародній науково-практичній конференції «Управління соціально-економічним розвитком регіонів та держави», які проходили у м. Запоріжжі (13-14 квітня 2017 р., 26-27 квітня 2018 р., 18-19 квітня 2019 р.);

– взяла участь в роботі Міжнародної науково-практичної конференції «Прогнозування соціально-економічних процесів» (м. Мелітополь, 2019 р.);

– взяла участь у XII та XIV Міжнародній науково-практичній конференції «Виклики та перспективи розвитку нової економіки на світовому, державному та регіональному рівнях», які проходили у м. Запоріжжі (26-27 жовтня 2017 р., 07-08 листопада 2019 р.);

– взяла участь та отримала Диплом переможця I ступеня у Всеукраїнському конкурсі студентських наукових робіт зі спеціалізації «Економічна кібернетика» 2017/2018 н. р.

РОЗДІЛ 1

ФІНАНСОВІ ІНСТРУМЕНТИ ЯК ВАГОМА СКЛАДОВА СФЕРИ ІНВЕСТИВАННЯ

1.1 Загальна характеристика фінансового ринку: сутність, функції, структура та суб'єкти

Серед наукових досліджень домінують три основні підходи трактування категорії «фінансовий ринок»: як ринок – «відображає попит та пропозицію фінансових ресурсів, тобто грошей, валюти, акцій, облігацій та інших цінних паперів» [2]; система відносин – «сукупність економічних відносин з приводу купівлі-продажу специфічних товарів» [3]; сукупність інститутів – «це мережа спеціальних інститутів, що забезпечує взаємодію попиту і пропозиції на гроші, їхнє взаємне врівноваження» [4].

Сутність та роль фінансового ринку в економіці держави найбільш повно розкривається завдяки його загальним і специфічним функціям [5]. Загальні функції фінансового ринку – це основні завдання, що характерні йому як і будь-якому іншому ринку (рис. 1.1) [5].

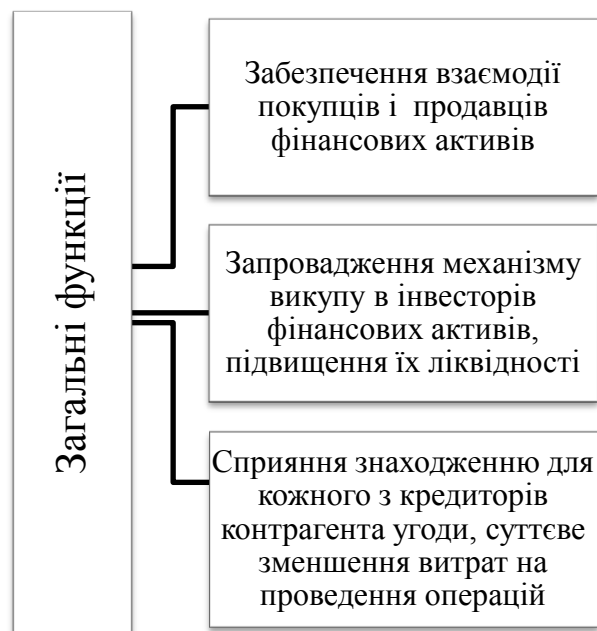


Рисунок 1.1 – Загальні функції фінансового ринку

Специфічні функції фінансового ринку характеризують його розвиток як окремої особливої сфери ринкових відносин (рис. 1.2) [5].

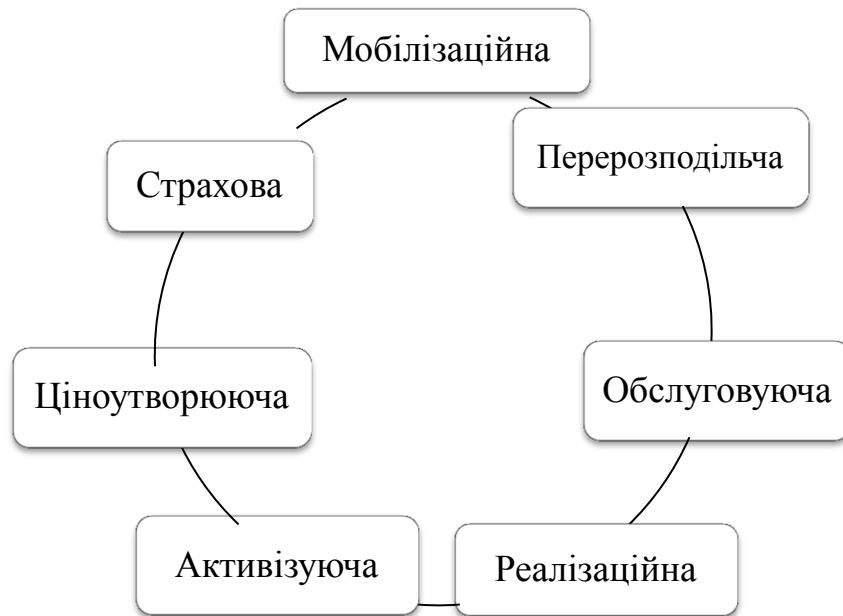


Рисунок 1.2 – Специфічні функції фінансового ринку

Фінансовий ринок має доволі розгалужену інфраструктуру. Відповідно до цього виділяють низку ознак, за якими його можна класифікувати. Сегментація фінансового ринку представлена в табл. 1.1 [2, 5].

Таблиця 1.1 – Сегментація фінансового ринку

Ознака	Класифікація	Короткий опис
1. За періодом обертання фінансових активів	а) ринок грошей	Здійснюються операції купівлі-продажу фінансових ресурсів на короткий строк. Фінансові активи є найліквіднішими, їм притаманний найменший рівень ризику, а система формування цін на них є доволі простою.
	б) ринок капіталів	Здійснюються операції купівлі-продажу фінансових інструментів на тривалий строк. Вони, як правило, менш ліквідні, їм притаманний високий рівень ризику і досить високий рівень доходності.
2. За видами фінансових активів	а) кредитний ринок	Об'єктом купівлі-продажу є вільні кредитні ресурси, обіг яких здійснюється на умовах повернення, строковості, платності та забезпеченості.

Продовження таблиці 1.1

Ознака	Класифікація	Короткий опис
	б) ринок цінних паперів (фондовий ринок)	Об'єктом купівлі-продажу є усі види цінних паперів, емітованих підприємствами, різними фінансовими інститутами, державою.
	в) ринок деривативів	Здійснюється торгівля похідними фінансовими інструментами з метою перерозподілу ризиків.
	г) валютний ринок	Об'єктом купівлі-продажу є іноземна валюта та фінансові інструменти, що обслуговують операції з нею.
	д) ринок дорогоцінних металів	Об'єктом купівлі-продажу є дорогоцінні метали (золото, срібло, платина тощо).
	е) ринок фінансових послуг	Об'єктом відносин є фінансові послуги, що надаються юридичним і фізичним особам.
	є) ринок нерухомості	Сфера вкладення капіталу в об'єкти нерухомості з метою отримання прибутку або ж придбання нерухомості в особисту власність.
3. За умовами обігу фінансових інструментів	а) первинний ринок	Ринок перших та повторних емісій цінних паперів, на якому здійснюється їх початкове розміщення серед інвесторів.
	б) вторинний ринок	Встановлення реальної ринкової ціни окремих цінних паперів, яка відображає всю наявну інформацію про фінансовий стан емітентів і умови емісії.
4. За організаційними формами функціонування	а) організований (біржовий) ринок	Торгівля ф'ючерсними та опціонними контрактами, яка здійснюється на фондових, валютних і строкових біржах.
	б) неорганізований (позабіржовий) ринок	Здійснюється купівля-продаж фінансових інструментів і послуг, угоди за якими не реєструються.
5. За швидкістю реалізації угод	а) ринок з негайною реалізацією	Реалізація угод, на якому угоди здійснюються за короткий термін.
	б) ринок з реалізацією угод у майбутньому	Предметом обігу є фондові, валютні, товарні деривативи (похідні цінні папери).
6. За регіональною ознакою	а) місцевий	Представлений операціями комерційних банків, страхових компаній, неорганізованих торговців цінними паперами з їх контрагентами – місцевими суб'єктами господарювання і населенням.
	б) регіональний	Функціонує в межах області (регіону) і, поряд з місцевими неорганізованими ринками, включає систему регіональних фондових і валютних бірж.
	в) національний	Включає всю систему фінансових ринків держави, їх видів і організаційних форм.
	г) світовий (міжнародний)	Складова світової фінансової системи, в яку інтегровані національні фінансові ринки держав з відкритою економікою.

Основними суб'єктами операцій на фінансовому ринку за формою їх участі є (рис. 1.3) [5]:

– домашні господарства – можуть виступати у ролі інвестора (на ринку цінних паперів), позичальника (на кредитному ринку), покупця та продавця іноземної валюти на валютному ринку, покупця послуг на ринку фінансових послуг. Вони інвестують тимчасово вільні заощадження у фінансові активи, купують цінні папери або позичають ресурси, отримуючи кредити на придбання житла, техніки та інших необхідних речей, придбають золото, нерухомість, укладають угоди накопичувального страхування тощо;

– фірми, підприємства, корпорації, організації – належать до інститутів позафінансової сфери. На фінансовому ринку вони емітують і розміщують власні фінансові ресурси, або беруть у користування кошти на визначених умовах для розширення діяльності. Для цих суб'єктів ринку основними інструментами виступають кредити, позики, облігації та акції;

– фінансові інститути – супроводжують потік коштів від власників фінансових ресурсів до позичальників. До них належать: національний банк, комерційні банки, валютні та фондові біржі, позабіржові торговельні системи, розрахунково-клірингові організації, депозитарії, інвестиційні фонди, фінансові компанії, лізингові організації, пенсійні та страхові фонди, інвестиційні керуючі, реєстратори, інші фінансові інституції, які відповідно до чинного законодавства можуть здійснювати операції на фінансовому ринку;

– держава – на фінансовому ринку функціонує в особі центральних та місцевих органів влади та управління, Національного банку. Держава постійно розміщує на зовнішньому та внутрішньому ринках свої боргові зобов'язання: надаючи кредити, здійснює фінансову підтримку суб'єктів господарювання, регулює фінансовий ринок. Свій регуляторний вплив на діяльність ринку держава здійснює шляхом установлення облікової ставки, обсягів грошової маси, регулювання валютного курсу та ін.;

– іноземні учасники (міжнародні організації, іноземні уряди, транснаціональні компанії, фінансові інститути, юридичні та фізичні особи, що не є резидентами України).

За функціями, що суб'єкти виконують на фінансовому ринку (рис. 1.3) [5], на кожному сегменті виділяють конкретних (прямих) учасників. Так, на кредитному ринку – це кредитори і позичальники; на ринку цінних паперів – емітенти та інвестори; на валютному ринку – продавці та покупці валюти; на страховому ринку – страховики, страхувальники і застраховані особи. Водночас, на усіх сегментах ринку присутні фінансові посередники, організації, що обслуговують ринок, державні органи регулювання і контролю тощо.

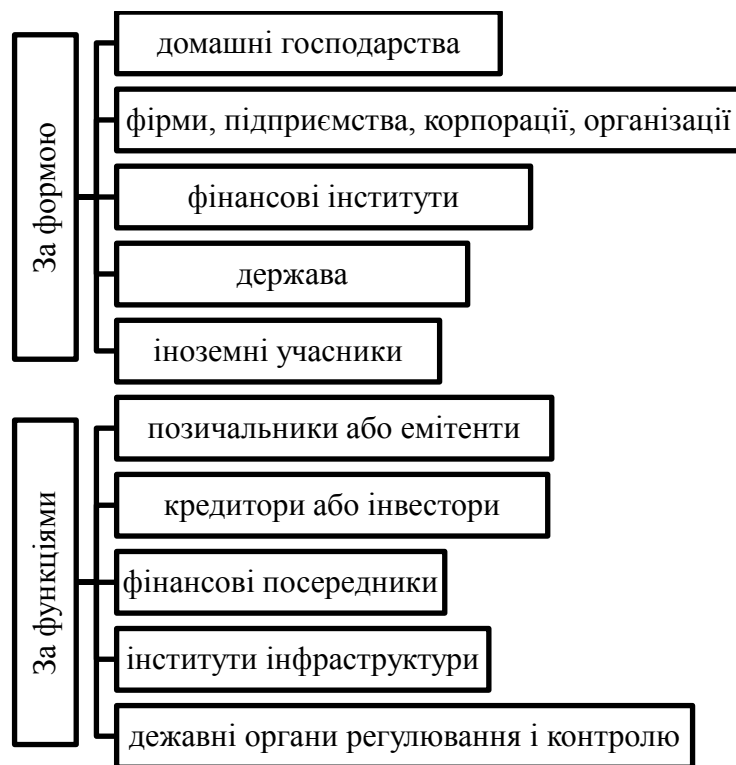


Рисунок 1.3 – Класифікація суб'єктів фінансового ринку

До основних суб'єктів більшості сегментів фінансового ринку відносять [2, 5]:

а) емітенти – це юридичні особи, які від свого імені випускають цінні папери та зобов'язуються виконувати обов'язки, що випливають з умов їх

випуску (це переважно держава, комерційні підприємства чи організації, фінансові інститути тощо);

б) інвестори – це особи, які вкладають свої кошти в діяльність інших суб'єктів ринку, купуючи певні фінансові активи, з метою отримання доходу. Залежно від ознак їх поділяють на індивідуальні, інституціональні, стратегічні, портфельні, вітчизняні та іноземні інвестори;

в) фінансові посередники – найбільш представлена група фінансових інститутів, яка об'єднує банківську систему, небанківські та контрактні фінансові інститути, інвестиційно-кредитні фінансові інститути, які акумулюють кошти індивідуальних інвесторів і використовують їх для інвестування або кредитування, також надають посередницькі послуги у процесі здійснення операцій з цінними паперами та іншими фінансовими інструментами;

г) інститути інфраструктури – створюють необхідні передумови для функціонування ринку, тобто організують торгівлю фінансовими інструментами. До них належать біржі та позабіржові торговельні системи, депозитарії, клірингові установи, реєстраторів, зберігачів тощо.

Узгодження інтересів всіх суб'єктів фінансового ринку досягається шляхом встановлення необхідних обмежень і заборон в їх взаємовідносинах, а також непрямым втручанням з боку держави в їхню діяльність. Таким чином, фінансовий ринок – це сукупність економічних відносин, пов'язаних з розподілом фінансових ресурсів, купівлею-продажем тимчасово вільних грошових коштів та інших фінансових інструментів.

1.2 Огляд обраних інвестиційних інструментів на фінансових ринках

Для дослідження було обрано три інвестиційні інструменти, які належать до фінансових ринків: ринку дорогоцінних металів, валютного ринку Forex та новітнього ринку криптовалют. Розглянемо сутність та особливості цих інструментів.

Одним з інвестиційних інструментів на ринку дорогоцінних металів є золото. Цей об'єкт є одним із перших інструментів інвестування та й на сьогодні залишається актуальним і привабливим.

Необхідно зазначити, що в даній роботі золото аналізується як товар на біржі, а не як фізичний об'єкт у вигляді злитків, виробів або лому. Золото на біржі втрачає свою матеріальну сутність: сучасні біржі дозволяють купувати чи продавати дорогоцінні метали без процедури їх фактичного приймання-передачі. Біржове золото повністю підпадає під визначення фінансового інструменту: фінансовий інструмент (financial instrument) – будь-який контракт, результатом якого є створення фінансового активу одного суб'єкта господарювання і фінансового зобов'язання або інструменту власного капіталу іншого суб'єкта господарювання [6].

Тому інвестицію на біржі дорогоцінних металів можна класифікувати як фінансову, ліквідність золота приймають за абсолютну, а накладні витрати на доставку, оцінювання та інше прирівнюють до нуля. Припускається, що інвестор може у будь-який операційний час продати чи купити золото, а обсяг цієї операції суттєво не вплине на поточну ціну.

Ціна на золото мало залежить від спекуляцій, примх урядів. Це стабільний актив, попит на який активно росте з кожним роком. Таким чином, золото є одним із простих інструментів інвестування, але здебільшого для довгострокових горизонтів. Щоб ним скористатися, потрібно мати елементарні знання в цій сфері.

Більш детальну характеристику ринку золота як сегменту інвестиційного ринку представлено у табл. 1.2., що сформована на основі [7].

Розглянемо топ-10 країн світу з найбільшим золотим запасом станом на січень 2019 рік (рис. 1.4) [8]. На першому місці знаходяться США. Офіційний запас золота – 8133,46 тонн. Частка дорогоцінного металу в золотовалютних резервах країни – 74,8%.

Таблиця 1.2 – Характеристика ринку золота

Ознаки	Характеристики
Сутність ринку	Ринки золота – це спеціальні центри торгівлі золотом, де здійснюється його регулярна купівля-продаж за ринковими цінами з метою промислово-побутового споживання, приватної тезаврації, інвестицій, страхування ризику, спекуляції, придбання необхідної валюти для міжнародних розрахунків.
структура учасників	<ul style="list-style-type: none"> – золотодобувні компанії (важлива категорія учасників ринку, так як вони постачають на ринок основну кількість золота); – промислові споживачі (до цієї групи входять підприємства промислової сфери, ювелірного виробництва, а також афінажні підприємства); – біржі (наявність на ринку біржі в ролі посередника дозволяє брати участь в торгах практично необмеженої кількості продавців та покупців); – інвестори; – центральні банки (їх роль на ринку дорогоцінних металів багатогранна. З одного боку, вони є найбільшими продавцями і покупцями золота, а з іншого – в їх функції входить встановлення правил торгівлі золотом на ринках); – професійні дилери та посередники (відіграють важливу роль на ринку, тому що велика частина дорогоцінного металу спочатку зосереджується в їх руках). <p>Отже, в ролі продавців на ринку золота виступають золотодобувні компанії, центральні банки та приватні власники. Покупцями є промисловці, ювеліри, інвестори, спекулянти, а також центральні банки.</p>
Фактори впливу зміни ціни	<ul style="list-style-type: none"> – вартість видобутку золота (сучасні тенденції показують зростання витрат на видобування цього дорогоцінного металу); – зміни курсів валют, фондових індексів, цін на нафту (найбільший вплив справляють такі валюти як долар США та швейцарський франк); – коливання цін на інші дорогоцінні метали (срібло, платина, паладій); – зміни у законодавстві, що стосуються введення або зняття обмежень на укладення угод з дорогоцінними металами; – економічні коливання у міжнародній економіці; – попит на золото в окремих галузях промисловості (ювелірна галузь, стоматологія); – інвестиційний клімат у суспільстві.

Далі йде Німеччина (3369,7 тонн і 70,1%). У 2017 році їй вдалося повернути свої золоті запаси на мільярди доларів з Франції і США, за допомогою чого Центральний банк Німеччини намагається повернути довіру громадськості.

На третій позиції розмістилася Італія (2451,84 тонн і 66,3%). Щоправда, майбутнє золотого резерву перебуває під питанням у зв'язку зі зростанням популярності політичної партії Рух п'яти зірок, для якої характерні популізм

і євроскептицизм. Раніше Рим запропонував передати офіційне право власності на золоті запаси громадськості. Наразі це право належить Банку Італії.

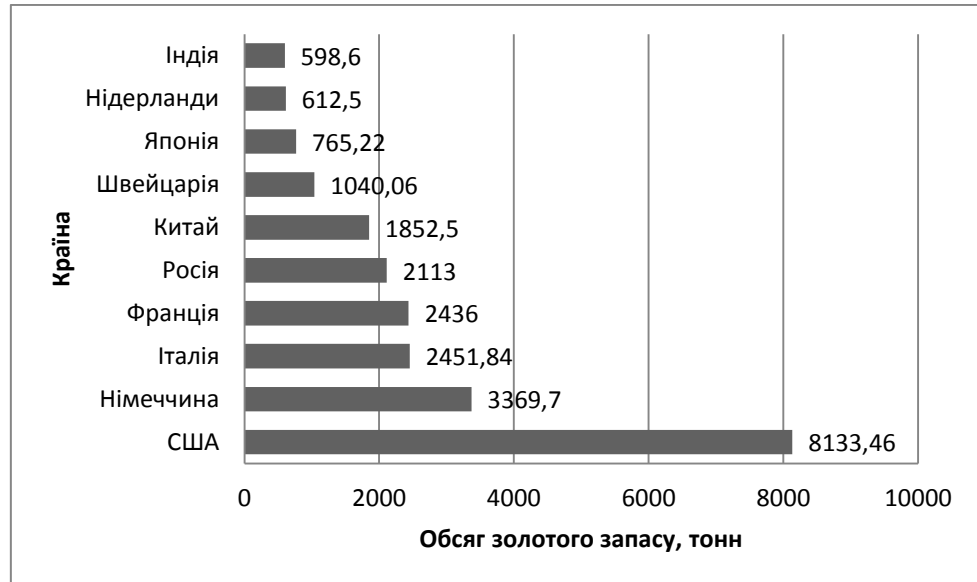


Рисунок 1.4 – Топ-10 країн з найбільшим золотим запасом

Четверте місце посідає Франція (2436 тонн і 60,2%). У 2018 році Банк Франції розпочав працювати над поліпшенням стану своїх золотих резервів, що допоможе країні домогтися нових успіхів у сфері міжнародної торгівлі.

Замикає п'ятірку Росія (2113 тонн і 18,5%). Тут уряд також закуповує золото, оскільки прагне зменшити залежність від американських активів, і за останні десять років збільшив запаси в чотири рази.

Розглянемо структуру світового попиту на золото протягом двох останніх років за аналогічний період (рис. 1.5) [9].

Світовий попит на золото у III кварталі 2019 року становить 1107,8 тонн. Порівняно з аналогічним періодом у 2018 році відбулось збільшення на 28,7 тонн (або на 2,65%).

Ліва частина припадає на ювелірну галузь (460,9 тонн). Однак спостерігається зменшення порівняно з аналогічним періодом на 15,6%. Це пов'язано зі зміною ціни на золото, оскільки в деяких періодах вона досягає

рекордно-високих показників, а також занепокоєнням споживачів щодо світової економіки.

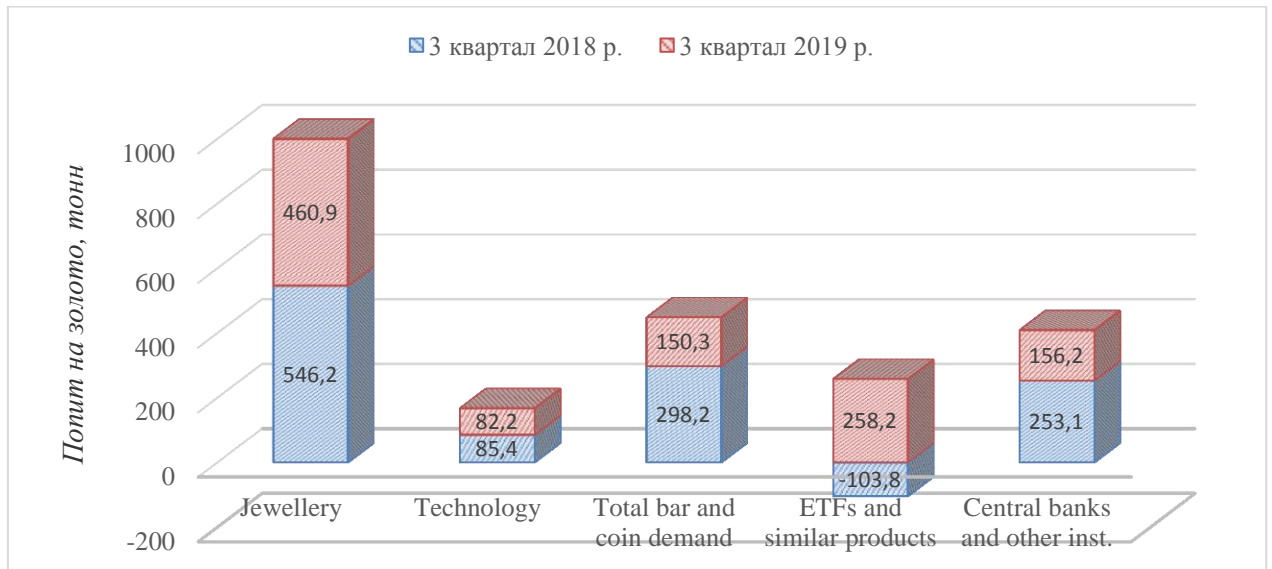


Рисунок 1.5 – Структура світового попиту на золото, тонн

Аналогічно, зниження попиту на злитки та монети (-49,6%) у III кварталі 2019 року було зумовлене насамперед ціною золота: роздрібні інвестори скористалися можливістю зафіксувати прибуток, а не робити нові покупки. Попит на золото у сфері технологій також впав на 3,74%, оскільки економічні проблеми залишились, але зароджена інфраструктура допомогла уповільнити спад у важливому секторі електроніки.

Непередбачуваність подій у світі в цілому стимулює інвесторів конвертувати свої кошти саме у золото, що призводить до коливань його курсу та волатильності ринку у короткостроковій перспективі. Аналогічні процеси мали місце і на українському ринку, оскільки Україна має історичний досвід стрімкої девальвації національної валюти у 2008 році і відповідного зростання попиту на банківські метали.

Основною функцією Національного банку України є забезпечення накопичення та зберігання золотовалютних резервів та здійснення операцій з ними та банківськими металами. Згідно Закону України [10] «Про державне регулювання видобутку, виробництва і використання дорогоцінних металів і

дорогоцінного каміння та контроль за операціями з ними» дорогоцінні метали – золото, срібло, платина і метали платинової групи (паладій, іридій, родій, осмій, рутеній) у будь-якому вигляді та стані (сировина, сплави, напівфабрикати, промислові продукти, хімічні сполуки, вироби, відходи, брухт тощо).

Золотовалютні резерви (ЗВР) – зовнішні високоліквідні активи, що знаходяться під наглядом держави (Національного банку України та уряду України). Золотовалютний резерв НБУ складається з наступних активів: монетарне золото, спеціальні права запозичення МВФ (СПЗ), резервна позиція в МВФ, іноземна валюта у вигляді валюти та депозитів, цінні папери. Структуру золотовалютних резервів НБУ за даними МВФ за жовтень 2019 р. наведено на рис. 1.6 [11].

Згідно рис. 1.6, значна частина золотовалютних резервів України припадає на цінні папери (81,69% або 17485,36 млн. дол. США), а найменша – на спеціальні права запозичення МВФ (лише 0,45% або 95,25 млн. дол. США).

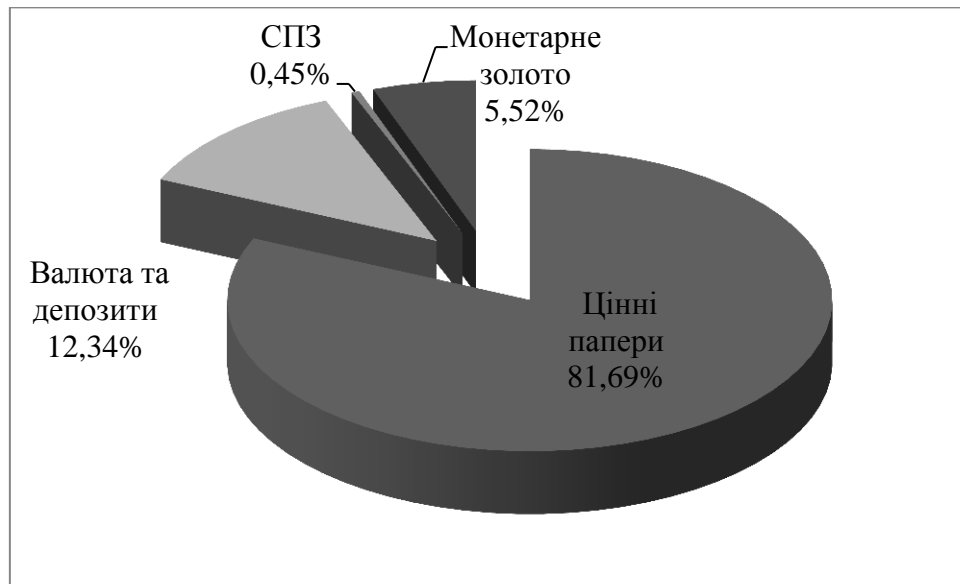


Рисунок 1.6 – Золотовалютні резерви України на 31 жовтня 2019 р., %

Розмір золотовалютних резервів України з 2012 року до 2019 року виглядає наступним чином (табл. 1.3) [11].

Таблиця 1.3 – Розмір золотовалютних резервів України протягом 2012-2019 рр.

Дата на 31 січня	Розмір золотовалютного резерву, млн. дол. США	Приріст (до попереднього року)	
			%
2012	31 364,11	-3215,89	-9,29
2013	24 651,96	-6712,15	-21,4
2014	17 805,59	-6846,37	-27,77
2015	6 419,66	-11385,93	-63,94
2016	13 441,59	+7021,93	+109,38
2017	15 444,98	+2003,39	+14,90
2018	18 580,34	+3135,36	+20,30
2019	20 819,71	+2239,37	+12,05

Розмір золотовалютних резервів України станом на 31 січня 2019 року становить 20819,71 млн. дол. США та демонструє зростання у порівнянні із попереднім періодом.

Валютний ринок – ринок, на якому гроші однієї країни використовують для купівлі валюти іншої країни. Сучасний валютний ринок – система стійких економічних і організаційних відносин між учасниками міжнародних розрахунків у тому числі і з приводу здійснення інвестицій, які вимагають обміну і використання різних іноземних валют. При цьому, використовується поняття «валютний курс» – вираз ціни грошової одиниці однієї країни в грошових одиницях іншої. Фіксація валютного курсу здійснюється або відповідно до золотого паритету, або за міжнародною угодою.

Сутність та особливості валютного ринку представлено у табл. 1.4, що сформована на основі [12].

Нестабільна економічна ситуація в країнах призводить до того, що курси валют постійно змінюються, причому, деякі з них злітають так стрімко, що економічна аналітика потребує застосування нетривіальних методів. Проте, якщо вдало скористатися різницею курсів, можна доволі непогано заробити.

Таблиця 1.4 – Характеристика валютного ринку

Ознаки	Характеристики
Сутність ринку	Валютний ринок – це сукупність спеціальних інститутів та механізмів, які у взаємодії забезпечують можливість вільно продавати-купувати національну та іноземну валюту на основі попиту та пропозиції.
Об'єкт валютного ринку	валютні цінності, іноземні – для резидентів, коли вони купують чи продають їх за національну валюту, та національні – для нерезидентів, коли вони купують чи продають ці цінності за іноземну валюту.
Суб'єкти валютного ринку	<ul style="list-style-type: none"> – підприємці, які купують і продають валюту для забезпечення своєї комерційної діяльності (імпортери, експортери); – інвестори, які вкладають свій чи позичений капітал у валютні цінності з метою одержання процентного доходу; – спекулянти, які постійно купують-продають валюту задля одержання доходу від різниці в її курсі. Ними можуть бути юридичні та фізичні особи; – хеджери, які здійснюють операції на валютному ринку для захисту від несприятливої зміни валютного курсу; – посередники: банки, брокерські контори, біржі тощо.
Чинники зміни валютного курсу	<p>а) курсоутворюючі чинники:</p> <ul style="list-style-type: none"> – стан платіжного балансу країни; – обсяги ВВП, який виробляється в країні; – внутрішня і зовнішня пропозиція грошей; – процентні ставки в країнах, валюти яких порівнюються; – співвідношення внутрішніх цін країни з зовнішніми. <p>б) регулюючі чинники:</p> <ul style="list-style-type: none"> – заходи прямого державного регулювання (фіскально-бюджетна політика, квотування та ліцензування, грошово-кредитна політика, регулювання цін, інтервенційна політика, розподіл валюти тощо); – структурні чинники. <p>в) чинники кризового характеру:</p> <ul style="list-style-type: none"> – дефіцит державного бюджету; – неконтрольована емісія та інфляція; – штучне і надмірне регулювання цін; – висока монополізація виробництва.

Провідні валюти світової економіки, які формують перспективні спарені поєднання, називають «мажорними». Основним показником будь-якої валютної пари є волатильність, що відображає рівень коливань котирування за конкретні проміжки часу. Тому кожен тандем характеризується відповідно до загальної інтенсивністю злетів і падінь вартості. Найбільш популярні валютні пари на сьогоднішній день наведено в табл. 1.5 [13].

Таблиця 1.5 – Популярні валютні пари світу

Валютна пара	Короткий опис
EUR/USD (євро/американський долар)	Найбільш використовуваний тандем, який характеризується високою стабільністю котирувальних співвідношень. Багато заробити на цій парі без серйозних вкладень навряд чи вийде, зате висока передбачуваність з наявністю великого обсягу інформації про країни Європейського Союзу і США істотно знижує ризики.
– USD/CHF(американський долар/швейцарський франк) – USD/JPY (американський долар/японська ієна)	Характеризуються невеликою волатильністю.
EUR/GBP (євро/британський фунт стерлінгів)	Хороший вибір для початківців трейдерів, що відрізняється відсутністю різких ривків в котируваннях.
– GBP/JPY (британський фунт стерлінгів/японська ієна) – GBP/USD (британський фунт стерлінгів/американський долар)	Вельми рухливі валютні пари, активно використовуються професійними трейдерами для агресивної стратегії торгів.

Іншим об'єктом торгівлі на новому для світу фінансовому ринку є криптовалюта – різновид цифрової валюти, створення і контроль за якою базуються на криптографічних методах. Функціонування даних систем засновано на таких технологіях як блокчейн, спрямований ациклічний граф, консенсусний реєстр (ledger) та ін. Термін «криптовалюта» закріпився після публікації статті про систему біткойнів «Crypto currency» (Криптографічна валюта), опублікованій в 2011 році в журналі Forbes [14].

Однією з найвідоміших криптовалют є Bitcoin. У різних країнах ставлення до Біткоїн значно відрізняється. У багатьох країнах статус досі не визначено або він змінюється. В окремих країнах операції з Біткоїн офіційно дозволені. Зазвичай вони розглядаються як товар або інвестиційний актив і для оподаткування підпорядковані відповідному законодавству. 22 жовтня 2015 року Європейський суд ухвалив, що операції обміну Біткоїн на валюти звільняються від ПДВ.

Ринок криптовалют є одним з наймолодіших інвестиційних ринків. Його історія налічує лише одне десятиліття. Але незважаючи на таку

«молодість», цей ринок на сьогоднішній день є надзвичайно популярним і не залишає байдужим інвестора, спонукає до більш детального вивчення та аналізу цього фінансового інструменту.

Більш детальна характеристика (сутність, структура учасників та фактори впливу) фінансового ринку криптовалют (зокрема, Біткоїну) представлено в табл. 1.6 [15].

Таблиця 1.6 – Характеристика ринку криптовалют (Біткоїн)

Ознаки	Характеристики
Сутність	децентралізована платіжна мережа, що діє за принципом «рівний-рівному» та обслуговується її учасниками за відсутності центрального органу управління чи посередників.
Структура учасників	Основними учасниками Біткоїн є такі підприємства, як ресторани, агенства нерухомості, юридичні фірми, а також популярні онлайн-послуги, такі як Namecheap, Overstock.com та Reddit.
Фактори, впливу	– попит; – пропозиція; – рівень інфляції.

Щодо економічної суті і юридичного статусу криптовалюти точаться дискусії. Залежно від країни криптовалюта розглядаються як платіжний засіб, специфічний товар, може мати обмеження в обороті (наприклад, заборона операцій з ними для банківських установ).

1.3 Огляд показників динаміки для оцінки привабливості інвестиційних інструментів

Важливим напрямом дослідження фінансового ринку є визначення його особливостей з точки зору фінансових (інвестиційних) інструментів, що виступають товаром на ньому. Фінансові інструменти представляють собою контракти, які документально підтверджують права вимоги або участі, містять безумовне або умовне право на отримання доходу у майбутньому [16].

Існують різні класифікації інвестиційних інструментів, але більшість вчених поділяють їх на реальні та фінансові.

Реальні інвестиції охоплюють [17]:

- а) ринок прямих капітальних вкладень (будівництво, розширення, реконструкція, технічне переозброєння тощо);
- б) ринок приватизованих об'єктів;
- в) ринок нерухомості (іпотечний ринок);
- г) ринок об'єктів тезаврації (антикваріат, предмети мистецтва, вироби з дорогоцінних металів, коштовності тощо);
- д) ринок інших об'єктів реальних інвестицій.

Ринок інструментів фінансового інвестування складається з:

- а) валютного ринку;
- б) ринку цінних паперів;
- в) ринку кредитних ресурсів;
- г) інших фінансових інструментів.

Зауважимо, що перевагою інструментів фінансового інвестування, на відміну від сектору реального інвестування, є те, що вони більш придатні до узагальнення, порівняння та класифікації. Ринки ж реального інвестування потребують дуже вузької спеціалізації інвестора (наприклад, буди знавцем у галузі мистецтв, антикваріату, нерухомості чи досконально володіти знаннями в конкретній сфері підприємництва).

Також існує інша класифікація, згідно з якою фінансові інструменти поділяються на основні та похідні (рис. 1.7) [16].

Інвестиційна привабливість – це перспектива розвитку та можливість залучення додаткових коштів. Основні показники динаміки для оцінки привабливості інвестиційних інструментів наведено на рис. 1.8.



Рисунок 1.8 – Показники динаміки для оцінки привабливості інвестиційних інструментів

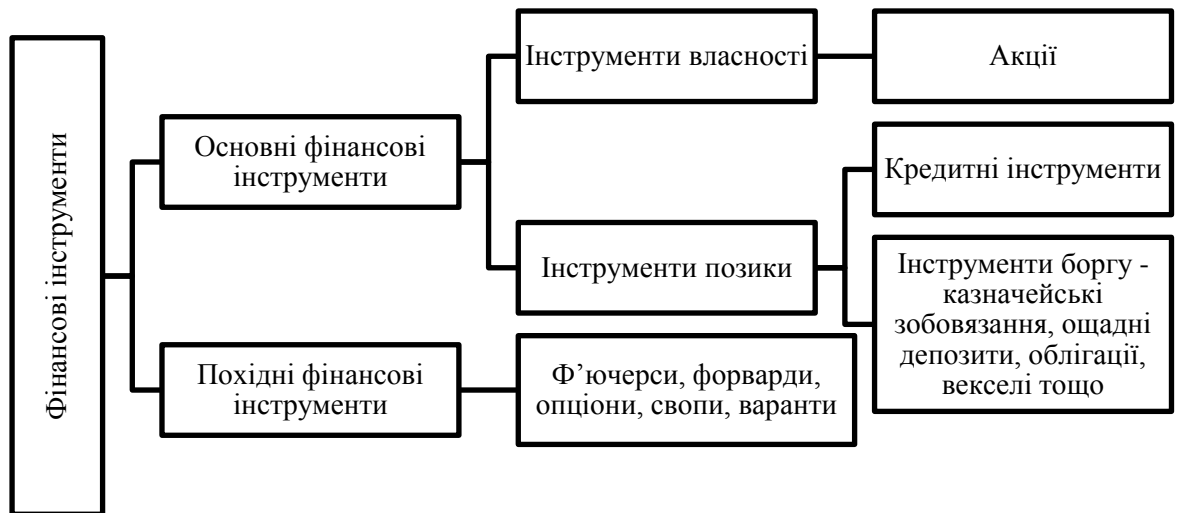


Рисунок 1.7 – Види фінансових інструментів

До основних характеристик для оцінки привабливості фінансових інструментів належать ціна, прибутковість, строк обігу, волатильність, ліквідність, ризикованість [16]. Розглянемо кожен з них. Ціна є грошовим вираженням вартості товару, в нашому випадку – фінансових інструментів.

Прибутковість фінансового інструменту визначається шляхом співставлення витрат на придбання інструменту з доходом, який він генерує (процентними, дивідендними виплатами, а також сумами, отриманими від погашення чи перепродажу фінансового інструменту іншим учасникам ринку).

Строком обігу фінансового інструменту називають відрізок часу від його появи на фінансовому ринку до кінцевого платежу або вимоги ліквідації (погашення). Залежно від строку обігу фінансові інструменти поділяють на строкові та безстрокові. Фінансові інструменти, що мають обмежений строк обігу, називають строковими фінансовими інструментами. Серед них виділяють короткострокові (зі строком обігу до 1 року) та довгострокові (зі строком обігу понад 1 рік).

Волатильність – це показник, що характеризує тенденцію ринкової ціни або доходу, що змінюються в часі. Ліквідністю фінансового інструменту називають можливість швидкого перетворення його на готівку без значних

втрат. За рівнем ліквідності майже всі фінансові інструменти відносяться до високоліквідних (табл. 1.6) [16].

Таблиця 1.6 – Ліквідність фінансових інструментів за витратами часу на їх реалізацію

Об'єкти інвестування	Строки трансформації в грошову форму
Абсолютно ліквідні	7 днів
Високоліквідні	від 8 до 30 днів
Середньоліквідні	від 1 до 3 місяців
Низьколіквідні	понад 3 місяці

Ризикованість фінансового інструменту відображає невизначеність, пов'язану з величиною та часом отримання доходу за даним інструментом у майбутньому. Ризик інвестування в конкретний фінансовий інструмент визначається сумою ризику ліквідності, ризику неплатежу, інфляційного ризику та ризику, пов'язаного зі строком обігу цього фінансового інструменту.

Таким чином, у розділі 1 було досліджено сутність основних категорій роботи: фінансовий ринок та інвестиційні інструменти. Проаналізовано обрані інвестиційні інструменти, які належать до фінансових ринків: ринку дорогоцінних металів (золото), валютного ринку Forex (курс валютної пари EUR/USD) та новітнього ринку криптовалют (Біткоїн). Розглянуто основні показники динаміки для оцінки привабливості інвестиційних інструментів.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ АНАЛІЗУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ДИНАМІКИ НА ФІНАНСОВИХ РИНКАХ

2.1 Огляд існуючих концепцій фінансових ринків з урахуванням особливостей динаміки

Розглянувши теоретичні концепції аналізу та прогнозування фінансових ринків було схематично показано шлях еволюції в часі та процес їх формування (рис. 2.1).

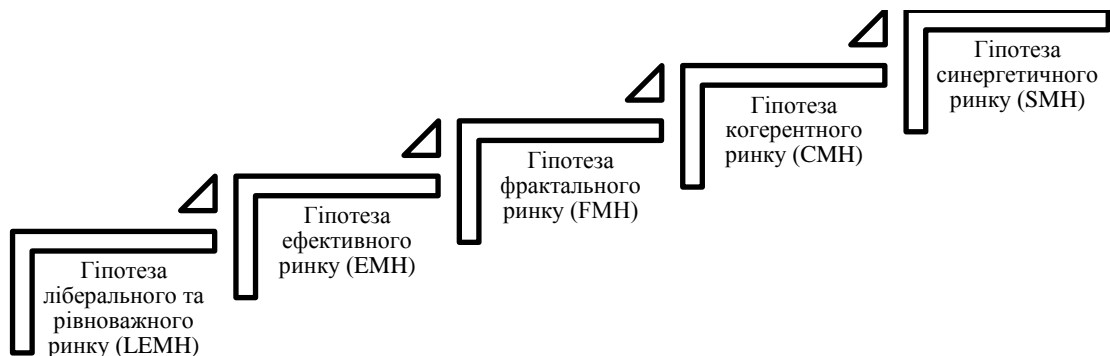


Рисунок 2.1 – Концепції фінансових ринків з урахуванням особливостей динаміки

Класична теорія ринку (Ф. Кене, А. Сміт, О. Курно та ін.) базувалася на гіпотезі ліберального та рівноважного ринку (LEMH). В результаті неспроможності пояснити реальні процеси вона проіснувала нетривалий період. На зміну їй висунуто гіпотезу ефективного ринку (EMH), елементи якої було сформульовано вже на початку ХХ ст. (Л. Башельє, П. Кутнером, А. Коулсом та ін.) [18]. В основу цієї концепції покладено припущення про раціональність учасників і подання ділової активності на ринках як «випадкового блукання» («справедливої» ціни). Ця концепція представляла лінійну парадигму, але змінила існуючий на той час детермінізм в описі ринків на стохастичність та обґрунтовувала використання імовірнісних

розрахунків, стимулювала розробку статистичного інструментарію аналізу. Проте вже у сімдесяті роки ХХ ст. було виявлено, що статистичні залежності на ринках не підпорядковуються закону нормального розподілу Гаусса, а моделювання традиційними методами призводить до значних похибок.

Тому з 1990 р. сформувалася гіпотеза фрактального ринку (ФМН) (Б. Мандельброт, А. Херст, Е. Петерс та ін.), в якій обґрунтовується твердження, що ринки кінця ХХ ст. є фрактальними. Ця гіпотеза більш адекватно відображає процеси, що відбуваються на фінансових ринках: для інвестора важливим є не ефективність ринку, і навіть не «справедлива» ціна, а ліквідність ринку (сама можливість купити або продати товар). Якщо інвестор хоче продати актив, то він готовий продати його за ціною, що не дорівнює «справедливій» [18]. ФМН надає особливого значення впливу інформації та інвестиційних горизонтів у поведінці інвесторів. Застосування методів нелінійної динаміки до питань вивчення фінансових ринків з погляду ФМН здійснювалося Б. Мандельбротом, Б. Лебероном, А. Броком, Д. Сорнетте, Е. Петерсом, М. Дубовіковим, Г. Малинецьким, Н. Максишко, В. Перепелицею [19], А. Потаповим, Л. Сергєєвою, В. Соловйовим, Н. Старченко та ін.

Проте майже в цей час, у 1991 році Т. Веґе була запропонована інша концепція – гіпотеза когерентного ринку (СМН), в якій статистична динамічна модель поєднується з гіпотезою фрактальності. Основне положення гіпотези когерентного ринку [18] – функція щільності ймовірності ринку визначається груповими настройками та фундаментальним зміщенням. Ця гіпотеза стверджує [20], що реальні процеси на ринках – це результат співвідношення нелінійного зв'язку зовнішнього середовища з внутрішньої організацією та дії групової свідомості. При цьому ці співвідношення динамічні, нелінійні і мають якісні переходи. Тому, як правило, ринок знаходиться в одному зі своїх чотирьох станів: випадкове блукання, нестійкий перехід, хаос, когерентність. Проблемаам дослідження властивостей та прогнозування ринків на основі застосування СМН

присвячено наукові роботи Л. Яновського [21], Д. Філатова, Н. Максишко [22], С. Чеверди [23], В. Шаповалової [24].

У роботах [20, 25] пропонується гіпотеза синергетичного ринку (SMH), яка має за мету об'єднати гіпотези класичного, ефективного, когерентного та фрактального ринків в систему несуперечливих тверджень за рахунок встановлення меж, обмежень і допущень для кожної з них. Тому для побудови базової моделі SMH використовуються: феноменологічна теорія фазових переходів (для пояснення нестійкості статистичних систем), положення теорії великих та складних систем, теорія біфуркацій, катастроф, теорія самоорганізації (І. Пригожина) та теорія синергетики (Г. Хакена).

Прийняття будь-якого теоретичного базису для розробки методології аналізу, моделювання та прогнозування ринкових процесів потребує глибокого дослідження конкретного ринку з метою виявлення передумов застосування відповідного інструментарію.

2.2 Удосконалення методології аналізу динаміки інвестиційних інструментів на фінансових ринках

Метою даної роботи є удосконалення методології аналізу та прогнозування показників динаміки інвестиційних інструментів. Інформаційною базою для дослідження є часові (або динамічні) ряди цін.

Динамічні ряди [26, с. 345] – ряди чисел, що характеризують зміну величини суспільного (або економічного) явища в часі, тобто часові ряди (ЧР). За [27], ЧР – це впорядкована послідовність значень економічного показника, сформована в результаті спостережень за економічною системою в деякі фіксовані моменти часу.

Провідні спеціалісти в галузі економіки й менеджменту визначають умови, у яких зараз розвивається бізнес, як «епоха турбулентності» [28]. Цей стан породжує кризи в економіці і спричинює потребу в розробці й

застосуванні нових інструментів аналізу й прогнозування економічної динаміки.

До характеристики економічної динаміки існують різні підходи, які, як правило, обумовлені її природою, тобто природою ряду динаміки, що розглядається. Як відомо [29], часовий ряд може мати стохастичну природу, детерміновану або поєднувати риси їх обох (рис. 2.2). У такому випадку йдеться про детермінований хаос або фрактальну природу ряду динаміки.

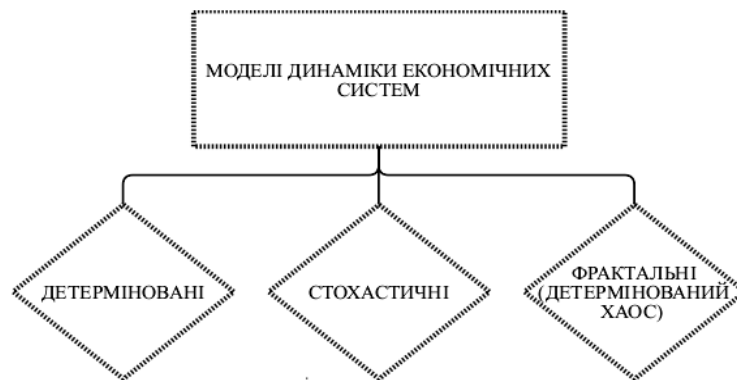


Рисунок 2.2 – Моделі динаміки економічних систем

У кожному з цих випадків може йтися про відповідні характеристики динаміки (рис. 2.3). Системним характеристикам економічної динаміки з точки зору статистичного підходу присвячена достатньо велика кількість джерел, зокрема [30-32]. Для виявлення фрактальної природи ряду динаміки та визначення його системних характеристик розроблено фрактальний аналіз, зокрема [18, 33-36].

У цій роботі будемо застосовувати як статистичний, так і фрактальний підхід. Розглянемо сутність основних етапів визначення природи ряду економічної динаміки.

Етап 1 – візуалізація ряду динаміки, дослідження трендів та формулювання гіпотез щодо характеру його поведінки.

Етап 2 – попередній статистичний аналіз, що складається з оцінки основних числових характеристик ряду [30, 31].

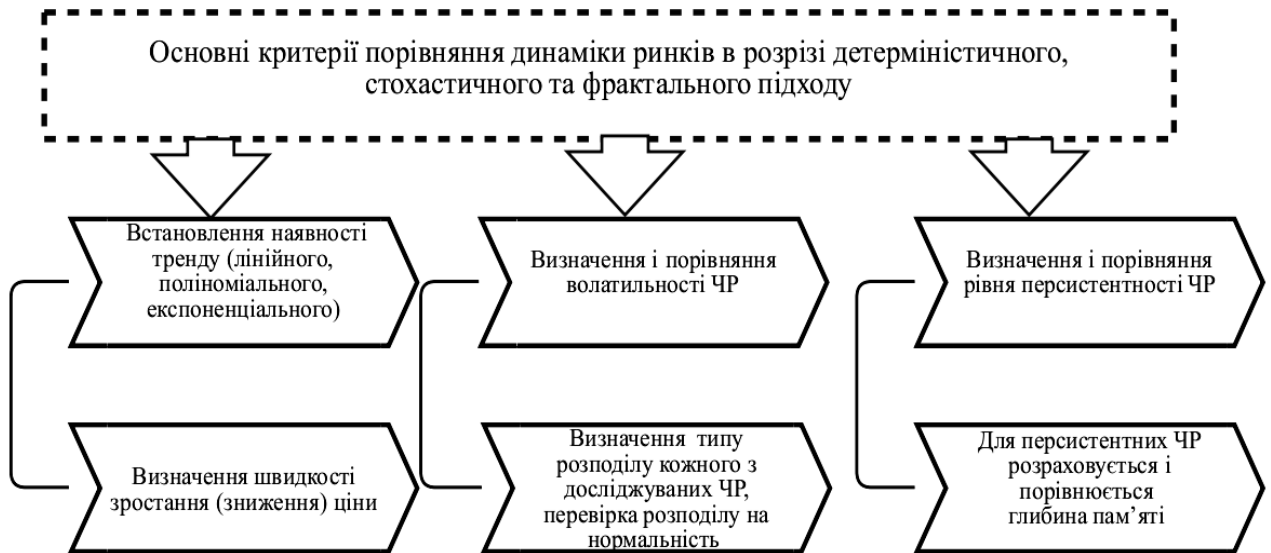


Рисунок 2.3 – Основні характеристики порівняння динаміки ринків в розрізі трьох основних підходів

Описова статистика – це набір основних статистичних показників емпіричної вибірки значень кількісної ознаки. Стандарти методи їх розрахунку розроблені, виходячи із припущення, що розподіл є нормальним. Для розрахунків використовуються різноманітний інструментарій, зокрема, Microsoft Office Excel, програмний пакет STATISTICA та ін. Основними завданнями описової статистики є визначення центру, ширини, симетрії й протяжності розподілу. Наведемо зміст основних статистичних характеристик [32].

Центр статистичного розподілу характеризують його середнє значення, медіана та мода. Медіаною називається значення, що розділяє вибірку на дві рівні за об'ємом частини. Модой називається значення, яке має у вибірці найбільшу частоту, тобто найчастіше зустрічається в розподілі.

Як показники ширини розподілу використовують показники варіації. Всі показники варіації поділяються на дві групи: абсолютні та відносні. До абсолютних відносяться розмах варіації, середнє лінійне відхилення, дисперсія, середнє квадратичне відхилення. Дисперсія характеризує ступінь відхилення елементів сукупності від середнього в одиницях вимірювання

відповідної ознаки. Основною перевагою дисперсії є те, що дисперсія суми статистично незалежних вибірок є сумою їх дисперсій незалежно від законів розподілу складових вибірок. Для того, щоб отримати стандартне відхилення вибірки береться квадратний корінь з дисперсії.

Друга група показників розраховується як відношення абсолютних показників варіації до середньої арифметичної (або медіани). Відносними показниками варіації є коефіцієнт осциляції, варіації, відносне лінійне відхилення та ін. Кожний з названих показників має певні аналітичні переваги при вирішенні тих чи інших статистичних задач.

Асиметрією називають міру відхилення симетричного розподілу стосовно максимальної ординати. Для будь-якого симетричного розподілу вона дорівнює нулю. Від'ємні значення відповідають розширенню лівої гілки щільності розподілу, а додатні – її правої гілки. Як кількісну оцінку ступеня відхилення емпіричної кривої розподілу від теоретичної застосовують коефіцієнт ексцесу. Його також називають вибіркоvim коефіцієнтом гостроверхості, але насправді він характеризує не гостроверхість, а протяжність розподілу. Нормальному розподілу відповідає нульове значення показника ексцесу. Від'ємні значення свідчать про більш полого, а додатні – більш гостру вершину максимуму розподілу.

Етап 3 – аналіз щодо діагностики детермінованого хаосу, що складається з проведення тесту на дрейфуючий атрактор, графічного тесту Гілмора, побудови псевдофазового простору, визначення показника Херста, застосування модифікованого методу фрактального аналізу – послідовного R/S -аналізу та обчислення глибини пам'яті [33].

Підетап 1 – застосування для дослідження ряду динаміки методу нормованого розмаху Херста [24] (позначимо його A_1), визначення показника Херста та перевірка його значущості на базі тесту на перемішування. Якщо ЧР X властива довготривала пам'ять, то деяка кількість початкових точок отриманої із застосуванням методу A_1 R/S -траєкторії [18] даного ЧР утворять чітко виражений лінійний тренд. При деякому значенні $k = k_0$ R/S -

траєкторія досить різко змінює свій нахил, тобто в точці (x_{k_0}, y_{k_0}) траєкторія одержує значний за абсолютною величиною від'ємний приріст $\delta_k = y_{k+1} - y_k$ – має місце зрив із тренда і повернення до колишнього тренда не відбувається. При цьому вважається, що в точці k_0 ефект “довготривалої пам'яті про початок розглянутого ЧР” дисипатує. Тобто в даному випадку зрив із тренда демонструє втрату пам'яті про початкові умови, а також сигналізує (можливо з лагом, тобто з деяким запізненням) про вичерпання циклу або квазіциклу, що міститься в початковому відрізку цього ЧР. За [18] дотримуємося твердження, що після закінчення довжини циклу (квазіциклу) втрачається пам'ять про початкові умови, тобто втрачається довготривала корельованість наступних спостережень стосовно початкового. Але, як відомо [22, 37], етап 1 забезпечує отримання лише усередненої характеристики властивості інерційності (трендостійкості) для ЧР у цілому і не враховує мінливий характер динаміки відповідного показника.

Область значень показника Херста H – це інтервал $(0,1)$. Значення $H \in [0;0,5)$ відповідає антиперсистентному або ергодичному ЧР. Такий ЧР характеризується мінливістю. Значення $H = 0,5$ вказує на випадковий ЧР. Події випадкові та некорельовані. Сучасне не впливає на майбутнє. Якщо $H \in (0,5;1]$, то розглянутий ЧР є персистентним або трендостійким і характеризується ефектом довгострокової пам'яті. Події більш корельовані, чим ближче значення H до одиниці.

Підетап 2 – застосування модифікованого методу фрактального аналізу – методу A_2 – послідовного R/S -аналізу. Суть методу A_2 полягає в побудові і послідовному нарощуванні H -траєкторії й R/S -траєкторії [22, 37] даного ЧР (що й визначило його назву) за обчислювальною схемою, що відрізняє його від методу A_1 . Перевага методу A_2 перед A_1 полягає в його здатності врахувати мінливий характер динаміки, виявити множину циклів (квазіциклів), які характерні для ЧР, що досліджується, а також забезпечити обчислення нижньої оцінки глибини пам'яті (про початок цього ЧР).

Відмінністю умов застосування методу A_2 від відомого методу A_1 є відсутність суттєвих обмежень на довжину ЧР.

Підетап 3 – обчислення чисельних характеристик інерційності (трендостійкості) ряду динаміки: глибини пам'яті та характеристик квазіциклічності на основі методу A_3 [22, 37]. Особливість результату застосування методу A_3 полягає в тому, що одержана оцінка представляється у вигляді нечіткої множини.

Нечітке поняття «глибина пам'яті ЧР» визначається у такий спосіб [33, 37]. Об'єктна змінна – характеристика пам'яті ЧР. Припустимі лінгвістичні значення: «глибина пам'яті ЧР» ($L(X)$), «не є глибиною пам'яті ЧР» ($\bar{L}(X)$).

Множина базових значень – $N = \{l_i, i = 1, 2, \dots\}$ – множина натуральних чисел. Значення функції належності $\mu_L(l_i) = \mu(l_i)$ визначає ступінь належності натурального числа l_i («глибини l_i ») нечіткій множині $L(X)$, що відповідає поняттю «глибина пам'яті ЧР X ». Функція $\mu_L(l_i)$ відображає базове значення l_i та нечітке значення $L(X)$ в інтервал $[0;1]$. Таким чином, будемо визначати поняття «глибина пам'яті ЧР X » у вигляді нечіткої множини (НМ) $L(X) = \{(l_i, \mu_L(l_i)); l_i \in N\}$, $\mu_L : N \rightarrow [0;1]$.

Носієм нечіткої множини $L(X)$ є множина натуральних чисел, функція належності яких $\mu_L(l_i) > 0$, яку позначають $\text{supp} L(X)$ (support): $\text{supp} L(X) = L^0 = \{l_i \in N, i = 1, 2, \dots : \mu_L(l_i) > 0\}$. Зауважимо, що нечітка множина $L(Z)$ є дискретною множиною. Обчислювальна схема методу A_3 одержання нечіткої оцінки – нечіткої множини «глибини пам'яті ЧР у цілому» являє собою ітераційну процедуру виявлення точки втрати пам'яті часового ряду для множини вкладених відрізків ряду $X = X^0 \supset X^1 \supset \dots \supset X^r \supset X^{n-3}$, що складають сімейство $S(X)$ [22, 37].

Нечітка множина «глибини пам'яті для ЧР X у цілому», (позначимо її через $L(X)$) формується шляхом попарного об'єднання в пари елементів $l \in L^0$ та відповідного йому значення $\mu(l)$ функції належності, тобто:

$$L(X) = \{ (l, \mu(l)), l \in L^0 \}.$$

Узагальнена схема методології аналізу даної роботи представлена на рис. 2.4.

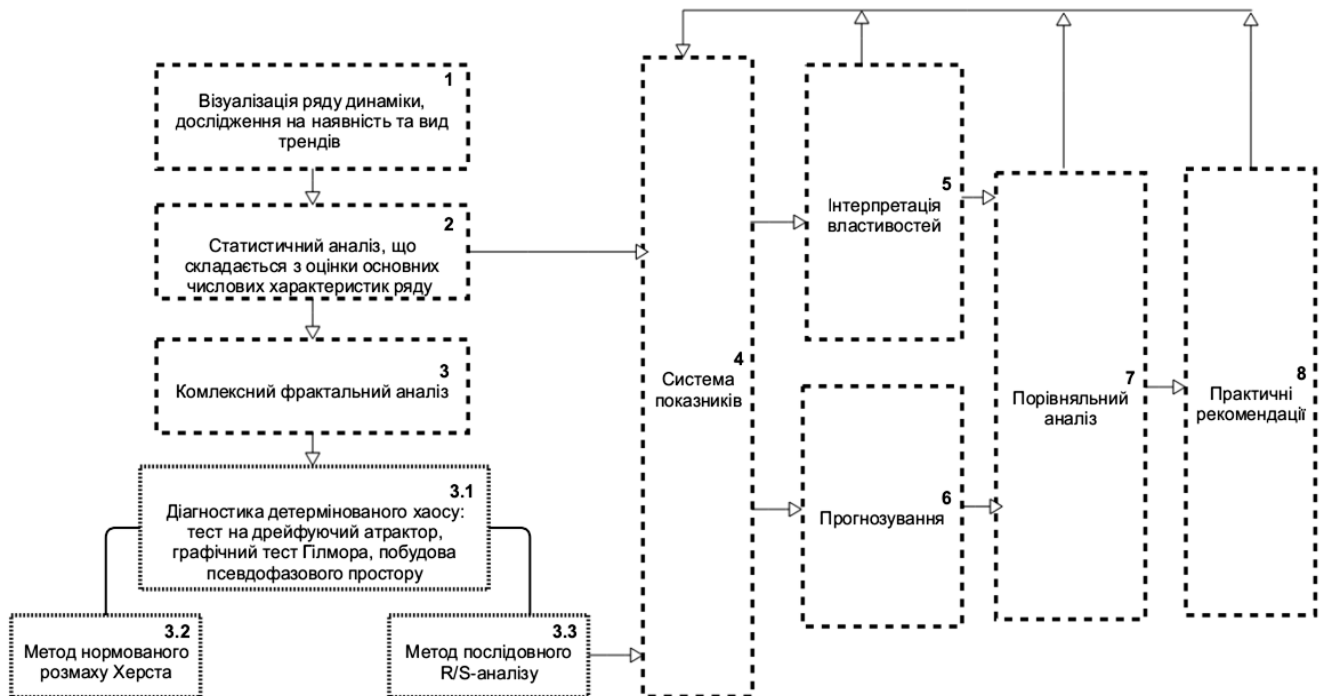


Рисунок 2.4 – Схема методології аналізу роботи

Наведені вище характеристики ЧР (статистичні та фрактальні) можуть бути використано при порівнянні динаміки цін як у розрізі об'єктів-носіїв (просторове порівняння), так і в часовому розрізі порівняння змін характеру динаміки на різних часових інтервалах, при визначенні характеру «відгуку» на дії середовища (зовнішні та внутрішні впливи) тощо.

2.3 Методологія прогнозування динаміки інвестиційних інструментів на фінансових ринках

Прогнозування – це розробка прогнозу як ймовірного судження про стан якого-небудь явища в майбутньому.

Соціально-економічне прогнозування ґрунтується на ряді принципів, розглянемо найважливіші з них [38] .

Принцип системності прогнозування означає, що господарство розглядається, з одного боку як єдиний об'єкт, а з іншого - як сукупність самостійних об'єктів або напрямків прогнозування.

Принцип єдності політики та економіки означає, що при розгляді питань розвитку економіки, складанні прогнозів і програм слід виходити з сукупності економічних інтересів всіх суб'єктів господарювання і в той же враховувати загальнодержавні питання (стійкість фінансової системи, забезпечення цілісності країни, її обороноздатності тощо).

Принцип наукової обґрунтованості означає, що в економічному прогнозуванні всіх рівнів необхідно враховувати вимоги об'єктивних економічних та інших законів розвитку суспільства, використовувати науковий інструментарій, досягнення вітчизняного і зарубіжного досвіду формування прогнозів.

Принцип адекватності (відповідності) прогнозу об'єктивним закономірностям характеризує не тільки процес виявлення, але і оцінку стійких тенденцій і взаємозв'язків в розвитку народного господарства та створення теоретичного аналога реальних економічних процесів з їх повною і точною імітацією.

Принцип варіантності прогнозування пов'язаний з можливістю розвитку народного господарства і його окремих ланок за різними траєкторіями, при різних взаємозв'язках і структурних співвідношеннях.

Принцип цілеспрямованості припускає активний характер прогнозування, оскільки зміст прогнозу не зводиться тільки до

передбачення, а включає і цілі, які належить досягти в економіці шляхом активних дій органів державної влади і управління.

Етапи прогнозування наведено на рис. 2.5 [38].

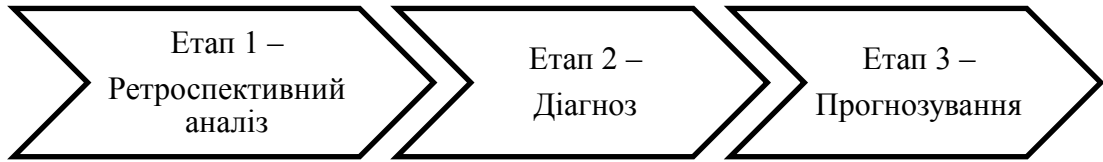


Рисунок 2.5 – Етапи прогнозування

Розглянемо кожен з етапів прогнозування окремо. Етап 1 – етап прогнозування, на якому досліджується історія розвитку об'єкту прогнозування для отримання його систематизованого опису. На цій стадії відбувається збір, зберігання і обробка інформації, джерел, необхідних для прогнозування, оптимізація як складу джерел, так і методів вимірювання і представлення ретроспективної інформації, остаточне формування структури і складу характеристик об'єкту прогнозування.

Етап 2 – етап прогнозування, на якому досліджується систематизований опис об'єкту прогнозування з метою виявлення тенденції його розвитку та вибору моделей і методів прогнозування. На цій стадії здійснюється не тільки вибір моделі, але і адекватного методу прогнозування.

На Етапі 3 за даними діагнозу розробляються прогнози розвитку об'єкту прогнозування в майбутньому, оцінюється достовірність, точність або обґрунтованість прогнозу (верифікація), а також реалізація мети прогнозу шляхом об'єднання конкретних прогнозів на основі принципів прогнозування (синтез).

Методи прогнозування – це сукупність заходів та способів мислення, що дозволяють на основі аналізу ретроспективних даних, екзогенних та ендогенних зв'язків об'єкта прогнозування зробити висновок з певною ймовірністю відносно майбутнього його розвитку.

Типологія прогнозів будується залежно від різних критеріїв і ознак (табл. 2.1) [38].

Таблиця 2.1 – Типологія прогнозів

Ознака	Короткий опис
масштаб прогнозування	<ul style="list-style-type: none"> – макроекономічний прогноз; – структурний (міжгалузевий і міжрегіональний) прогноз; – прогнози розвитку народногосподарських комплексів (енергетичного, інвестиційного, аграрно-промислового тощо); – прогнози галузеві і регіональні; – прогнози розвитку окремих підприємств, а також окремих виробництв і продуктів.
часовий горизонт прогнозу	<ul style="list-style-type: none"> – оперативні (до 1 місяця); – короткострокові (від 1 місяця до 1 року); – середньострокові (від 1 року до 5 років); – довгострокові (від 5 років до 15-20 років).
характер об'єкту	<ul style="list-style-type: none"> – розвитку виробничих відносин; – розвитку НТП і його наслідків; – динаміки народного господарства; – відтворення основних фондів і капітальних вкладень; – економічного використання природних ресурсів; – відтворення населення і трудових ресурсів; – рівня життя населення; – зовнішніх економічних зв'язків тощо.
функціональна ознака	<ul style="list-style-type: none"> – пошуковий прогноз; – нормативний прогноз.
ступінь детермінованої визначеності об'єктів прогнозування	<ul style="list-style-type: none"> – детерміновані (визначені або передбачені); – стохастичні (ймовірнісні); – змішані.
характер розвитку об'єктів прогнозування в часі	<ul style="list-style-type: none"> – дискретні (переривчасті) об'єкти, регулярна складова (тренд) яких змінюється скачками у фіксовані моменти часу; – аперіодичні об'єкти, що мають опис регулярної складової у вигляді безперервної функції часу; – циклічні об'єкти, що мають регулярну складову у вигляді періодичної функції часу.
ступінь інформаційної забезпеченості об'єктів прогнозування	<ul style="list-style-type: none"> – об'єкти з неповним забезпеченням кількісною інформацією; – об'єкти з наявністю якісної ретроспективною інформацією; – об'єкти з повною відсутністю ретроспективної інформації.

На рис. 2.6 наведена класифікація методів прогнозування [38]. Методи прогнозування поділяються на дві групи: формалізовані та неформалізовані (інтуїтивні).

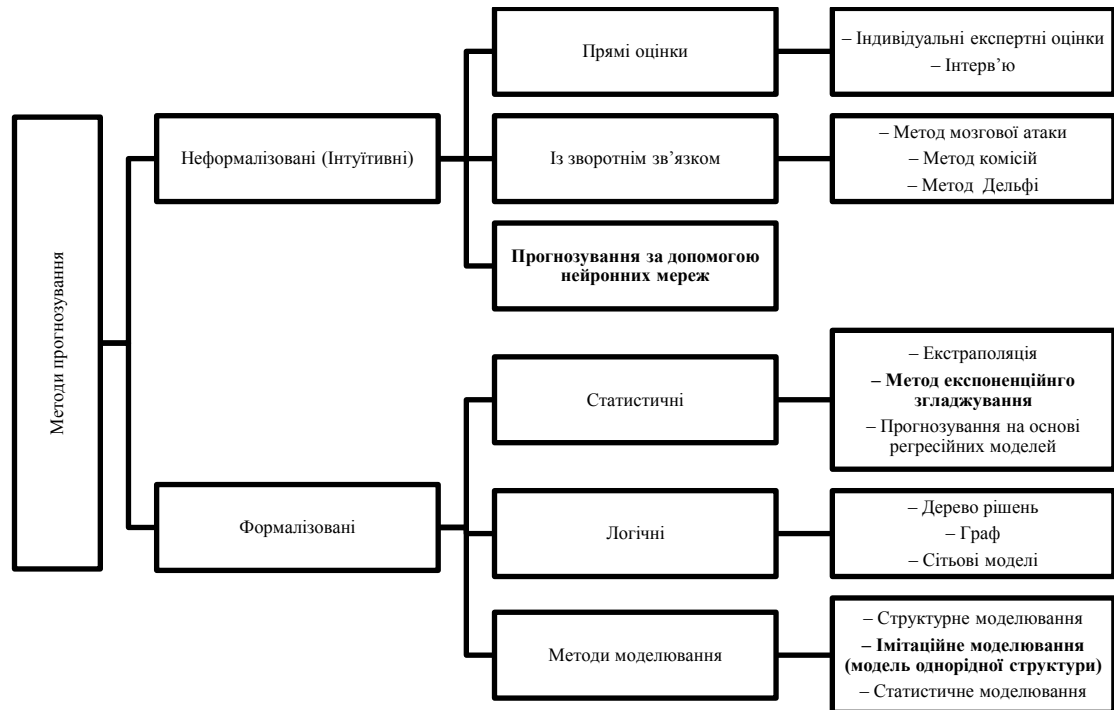


Рисунок 2.6 – Класифікація методів прогнозування

В роботі використано наступні методи: експоненційне згладжування, модель однорідної структури (МОС) та нейронна мережа.

Експоненційне згладжування є одним з найпростіших статистичних методів короткострокового прогнозування. Модель однорідної структури в якості параметра використовує значення глибини пам'яті, що значно покращує точність прогнозу. А використання нейромереж на сьогоднішній день є досить актуальним. Розглянемо кожен із методів окремо.

Модель однорідної структури (МОС) належить до класу алгоритмічних моделей та дозволяє відобразити процес розвитку економічної системи, імітуючи крок за кроком її динаміку [37]. Розглядається асиметрична недетермінована МОС:

$$\langle Z^1, T, \tau^n, Q \rangle, \quad (2.1)$$

де Z^1 – дискретний простір елементів (скінчених автоматів, клітин);

$T = \{u^r, r = \overline{1, R}\}$ – алфавіт внутрішніх станів-термів;

τ^n – глобальна функція переходів, яка формується на базі локальних функцій переходів;

Q – індекс сусідства, який визначає відповідні шаблони сусідства, $Q = \{-L, -(L-1), \dots, -2, -1, 0\}$.

Прогнозування на базі МОС здійснюється за чотири етапи [37]. Етап 1 – комплексний фрактальний аналіз ЧР. Етап 2 – ідентифікація параметрів МОС за ЧР $Z = \langle z_i \rangle, i = \overline{1, n}$, що розглядається (ретроспекція) – містить підетапи: визначення множини T ; формування поточного стану МОС на базі перетворення вихідного числового ЧР Z у лінгвістичний часовий ряд $U = \langle u_i \rangle, i = \overline{1, n}$, тобто заміни кожного рівня $z_i \in Z$ певним термом $u_i = u^r \in T$ (для цього запропоновано 3 алгоритми та умови їх використання); формування глобальної функції переходів на базі ідентифікації локальних функцій переходів, конкретизація індексу сусідства Q та шаблонів сусідства. Етап 3 – верифікація моделі, тобто обчислення оцінок точності та обґрунтованості моделі. Етап 4 – прогнозування (проспекція).

Врахування наявності довготривалої пам'яті ряду динаміки базується на наступному твердженні.

Твердження. Глибина пам'яті визначається радіусом L МОС, в межах якого має місце вплив елементів МОС на стан їх сусідів.

Моделювання довгострокової пам'яті ряду динаміки як глобальної функції переходів базується на синтезі локальних функцій переходів, які отримуються в результаті аналізу станів клітин-сусідів у радіус $l \leq L$ (l -послідовностей) лінгвістичного ЧР та врахуванні статистики переходів l -послідовностей у той або інший стан, де термін «стан» означає терм з множини T , що визначено на етапі 2.

Визначення. l -послідовністю називається послідовність $p = u^{r_1} u^{r_2} \dots u^{r_l}$, що складається з l символів $u^r \in T$, де T – задана терм-множина.

Локальні функції переходів для всіх l -послідовностей з U , що мають пам'ять (переходять тільки в один стан $u^r \in T$) у сукупності становлять глобальну функцію переходів прогнозованої МОС для розглянутого лінгвістичного ЧР U . Максимальне значення L довжини послідовності, що має пам'ять, згідно твердження 3.1 розглядається як оцінка глибини пам'яті лінгвістичного ЧР U та визначає індекс сусідства Q .

Прогнозований рівень u_{n+1} лінгвістичного ЧР розглядається як конкретний об'єкт, який може приймати значення $u^r \in T$ з певним ступенем невизначеності. При цьому кількість спостережень (довжина ЧР) не завжди є достатньою для обґрунтування статистичних висновків, проте результати частотного аналізу можуть бути використаними при визначенні міри можливості. Для опису цієї невизначеності також обрано мову нечітких множин. В теорії нечіткої міри та теорії можливостей нечіткі множини (події) розглядаються як аналог випадкової множини, а значення функції належності елемента нечіткої множини інтерпретується як ступінь можливості належності цього елемента даній множині. Таким чином, прогнозоване лінгвістичне значення u_{n+1} представляється у вигляді дискретної нечіткої множини $U_{n+1}^{\text{Пр}} = \{(u^r, m_{n+1}(u^r)); u^r \in T, r = \overline{1, R}\}, m_{n+1}: T \rightarrow [0; 1]$ з дискретною функцією належності. Значення функції належності $m_{n+1}(u^r)$ для кожного терму $u^r \in T$ визначається на основі глобальної функції переходів побудованої МОС. Конкретне значення лінгвістичного прогнозу $u_{n+1}^{\text{Пр}}$ визначається на основі змісту функції належності як міри можливості за правилом: $u_{n+1}^{\text{Пр}} = u^* \in T$, де $m_{n+1}(u^*) = \max\{m_{n+1}(u^r)\}$.

До методу прогнозування на основі МОС включено процедури: переходу від лінгвістичної нечіткої множини до числової нечіткої множини прогнозованого значення, отримання числового значення $x_{n+1}^{\text{Пр}}$.

Одним з найпопулярніших методів короткострокового прогнозування є метод експоненційного згладжування. Сутність цього методу полягає в тому, що кожен елемент (рівень) часового ряду згладжується за допомогою

зваженої середньої, причому її вага зменшується по мірі віддалення від кінця ряду.

Метод експоненційного згладжування обчислюється за формулою:

$$F_{t+1} = \alpha A_t + (1-\alpha)F_t, \quad (2.2)$$

де α – коефіцієнт згладжування ($0 < \alpha < 1$).

Основні переваги методу полягають у можливості обліку ваг вихідної інформації, в простоті обчислювальних операцій, гнучкості опису різних динамік. Основою методу є вибір параметра згладжування і початкових умов.

Перші нейронні мережі почали використовувати у 50-60-х роках минулого століття. На той час основна робота була зосереджена на вивченні мережі, що складалася з одного рівня нейронів – перцептрона. Такі мережі успішно використовували для аналізу кардіограм, прогнозування погоди та моделювання зору [39], проте коло задач, які можна було розв'язати за їх допомогою, було досить вузьким. У 80-х роках минулого століття вчені ускладнили архітектуру мереж і вже через 10 років ця наука стала надзвичайно популярною.

Що ж являє собою штучна нейронна мережа (ШНМ)? На жаль, сьогодні не існує єдиного визначення, яке б задовольняло всіх. Причиною є те, що дослідженням нейронних мереж займаються спеціалісти в різних галузях науки, і тому досягти взаємного розуміння досить важко.

Штучні нейронні мережі – це обчислювальні структури, які моделюють біологічні процеси, аналогічні тим, які відбуваються в людському мозку.

У основі побудови ШНМ лежить елементарний перетворювач – штучний нейрон. Він володіє групою синапсів – односпрямованих вхідних зв'язків, з'єднаних з виходами інших нейронів, присутня така частина, як аксон – вихідний зв'язок штучного нейрона, з якого сигнал (збудження або

гальмування) надходить на синапси наступних нейронів [40]. Загальний вигляд штучного нейрона наведено на рис. 2.7 [40].

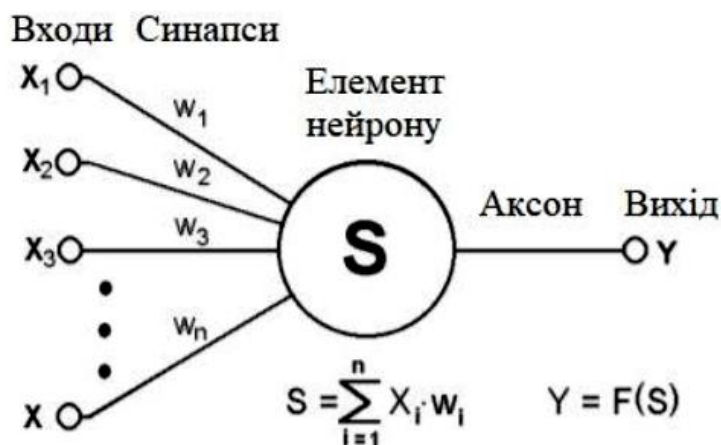


Рисунок 2.7 – Модель штучного нейрона

Структуру нейромережі можна описати таким чином. Нейромережа складається з декількох шарів: вхідного, внутрішнього (прихованого) і вихідного шарів [41]. Вхідний шар реалізує зв'язок з вхідними даними, вихідний – з вихідними. Внутрішніх шарів може бути від одного і більше. У кожному шарі міститься декілька нейронів. Між нейронами є зв'язки, названі вагами (рис. 2.8) [41].

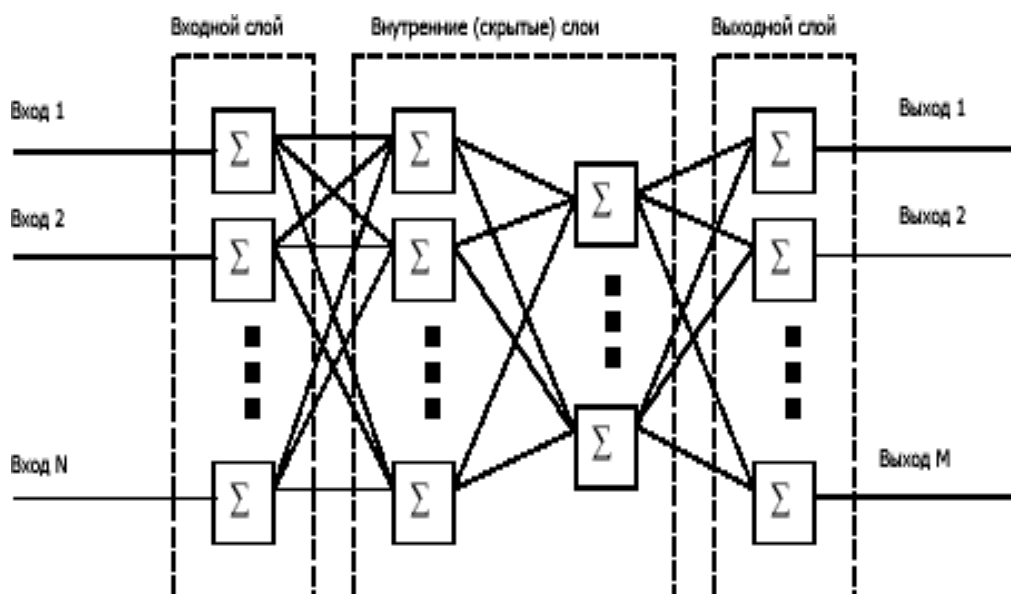


Рисунок 2.8 – Структура нейромережі

Сьогодні відома велика кількість нейронних структур та їх модифікацій, що орієнтовані на вирішення конкретного типу задач. Найбільш відомі типи таких структур показані на рис. 2.9 [40].

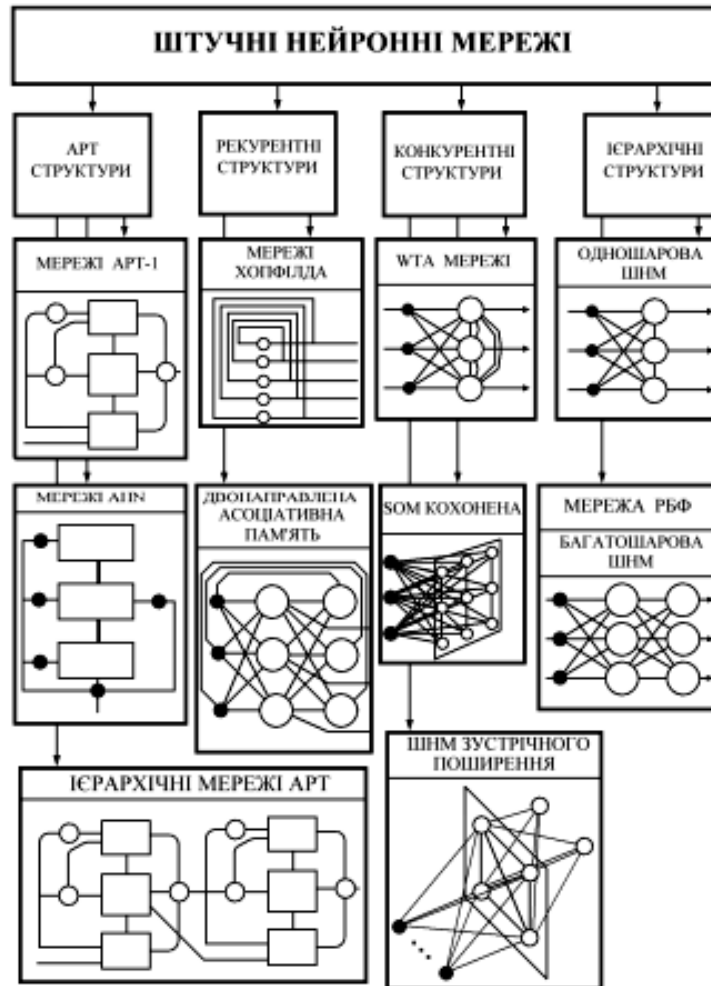


Рисунок 2.9 – Нейронні структури

До головних переваг нейромереж можна віднести [41]:

- можливість використання не тільки кількісної інформації, а й експертної;
- можливість моделювання за відносно малих експериментальних вибірках;
- можливість відтворювання складних нелінійних залежностей за великої кількості вхідних параметрів;
- здатність моделей до навчання.

Прогнозування у роботі здійснено на базі нейронної мережі. Реалізовано в програмному продукті Deductor Studio Academic. Розглянемо етапи побудови прогнозу.

Спочатку потрібно завантажити через «Майстер імпорту» файл з даними. Файли повинні бути відповідного формату (.txt або .csv).

Наступним кроком є побудова нейромережі. Розглянемо більш детально основні етапи. На першому етапі для кожного з полів обираємо призначення (рис. 2.10). Воно може бути інформаційне, вхідне, вихідне та невикористовуване.

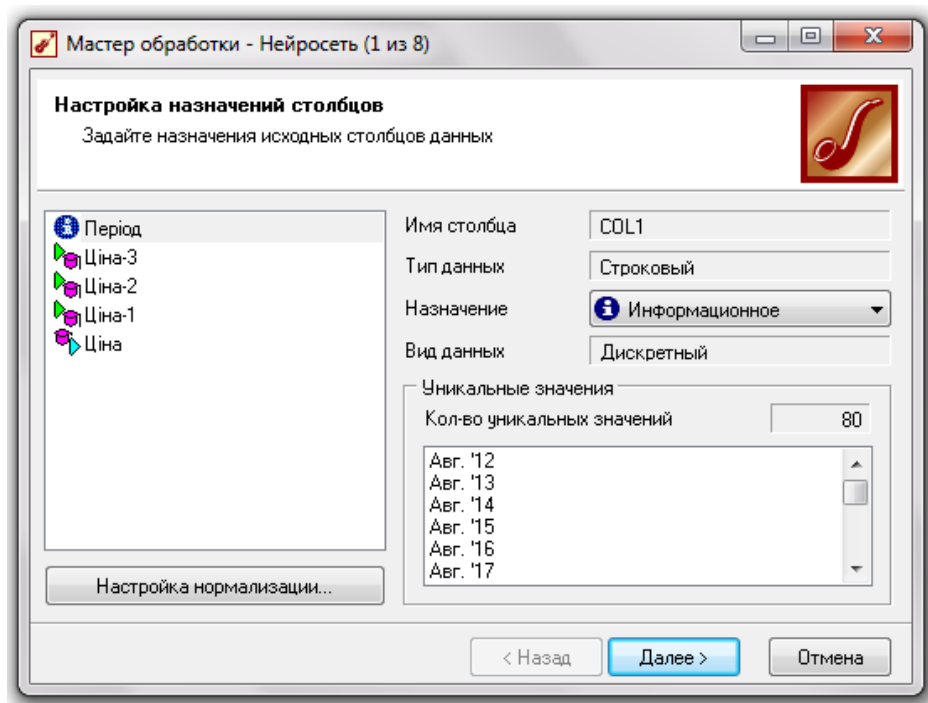


Рисунок 2.10 – Побудова нейронної мережі: етап 1

На наступному кроці вибірку розбивають на дві множини – навчальну і тестову (рис. 2.11). Навчальна множина включає записи (приклади), які використовуватимуться безпосередньо для навчання мережі, тобто міститимуть вхідні і бажані вихідні (цільові) значення.

Тестова множина також включає записи (приклади), що містять вхідні і бажані вихідні (цільові) значення, але використовується не для навчання мережі, а для перевірки результатів навчання.

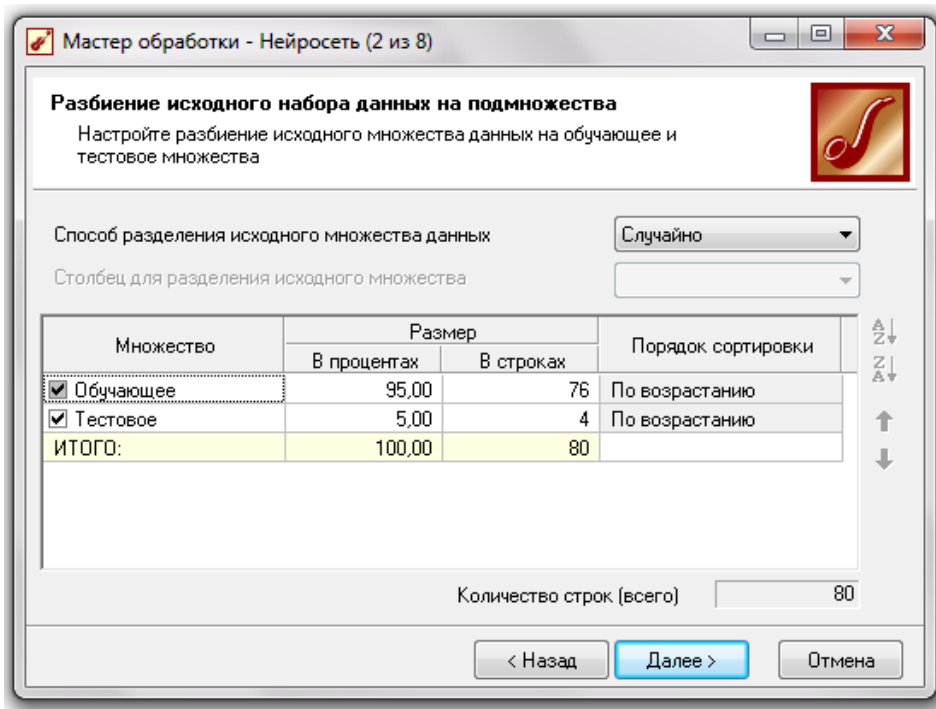


Рисунок 2.11 – Побудова нейронної мережі: етап 2

Далі необхідно задати параметри, що визначають архітектуру нейронної мережі, а саме: кількість прихованих шарів та кількість нейронів (рис. 2.12).

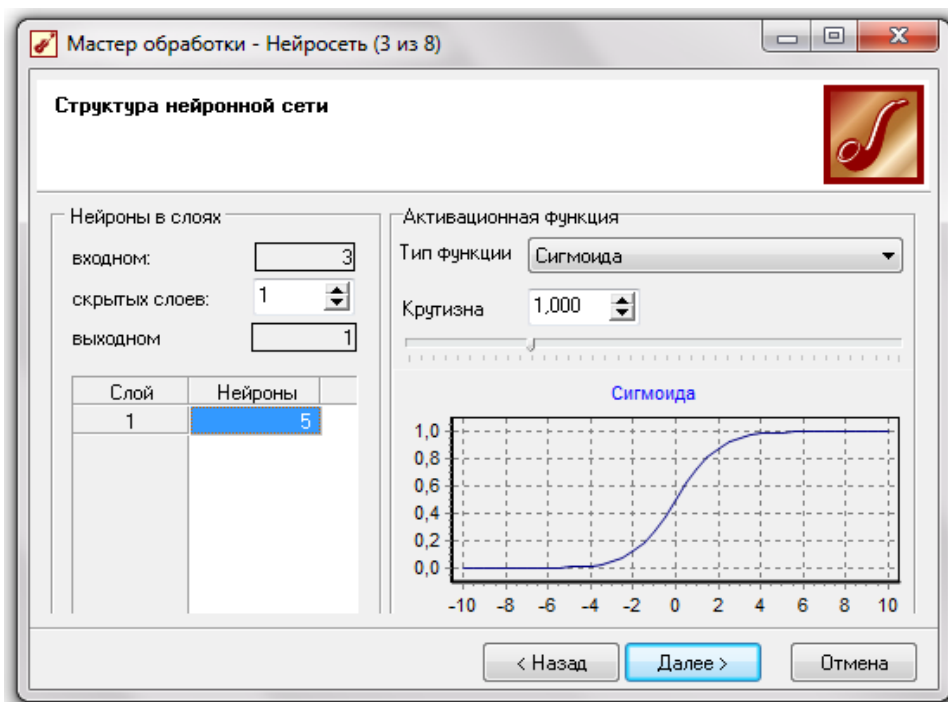


Рисунок 2.12 – Побудова нейронної мережі: етап 3

До вибору кількості прихованих шарів та кількості нейронів потрібно підходити обережно. Хоча до цих пір не вироблені чіткі критерії їх вибору, однак все ж таки можливо дати деякі загальні рекомендації. Вважається, що задачу будь-якої складності можна вирішити за допомогою двошарової нейромережі, тому конфігурація з кількістю прихованих шарів більше двох навряд чи виправдана.

При виборі кількості нейронів слід керуватися наступним правилом: «кількість зв'язків між нейронами має бути значно менше кількості прикладів в навчальній множині». Кількість зв'язків розраховується як зв'язок кожного нейрона зі всіма нейронами сусідніх шарів, включаючи зв'язки на вхідному і вихідному шарах. Дуже велика кількість нейронів може привести до так званого «перенавчання» мережі, коли вона видає добрі результати на прикладах, що входять в навчальну вибірку, але практично не працює на інших прикладах.

На наступному кроці оберемо алгоритм навчання нейронної мережі. На сьогоднішній день існує значна їх кількість, але в програмному пакеті, що використовується їх два: алгоритм зворотного поширення помилки (Backprop) та еластичного поширення помилки (Rprop). Розглянемо сутність та параметри кожного з них.

Алгоритм зворотного поширення помилки використовується з метою мінімізації середньоквадратичного відхилення поточних значень виходів мережі від потрібних. Однією з найважливіших властивостей алгоритму є висока стійкість, а отже, надійність. Однак є і недолік – невисока швидкість збіжності (велике число необхідних ітерацій). Це робить процес навчання дуже довгим і непридатним використання даного алгоритму для широкого кола задач, які вимагають швидкого рішення.

До основних параметрів алгоритму відносять: швидкість навчання і момент (рис. 2.13). Швидкість навчання визначає величину кроку при ітераційній корекції вагів в нейронній мережі (рекомендується в інтервалі $[0;1]$). При великій величині кроку, збіжність буде швидшою, але є небезпека

«перестрибнути» через потрібне рішення. З іншого боку, при малій величині кроку, навчання зажадає дуже велику кількість ітерацій. На практиці величина кроку береться пропорційній крутості схилу, так, що алгоритм сповільнюється поблизу мінімуму. Правильний вибір швидкості навчання залежить від конкретної задачі і зазвичай шукається дослідним шляхом. Момент задається в інтервалі $[0;1]$. Рекомендується значення – 0,9.

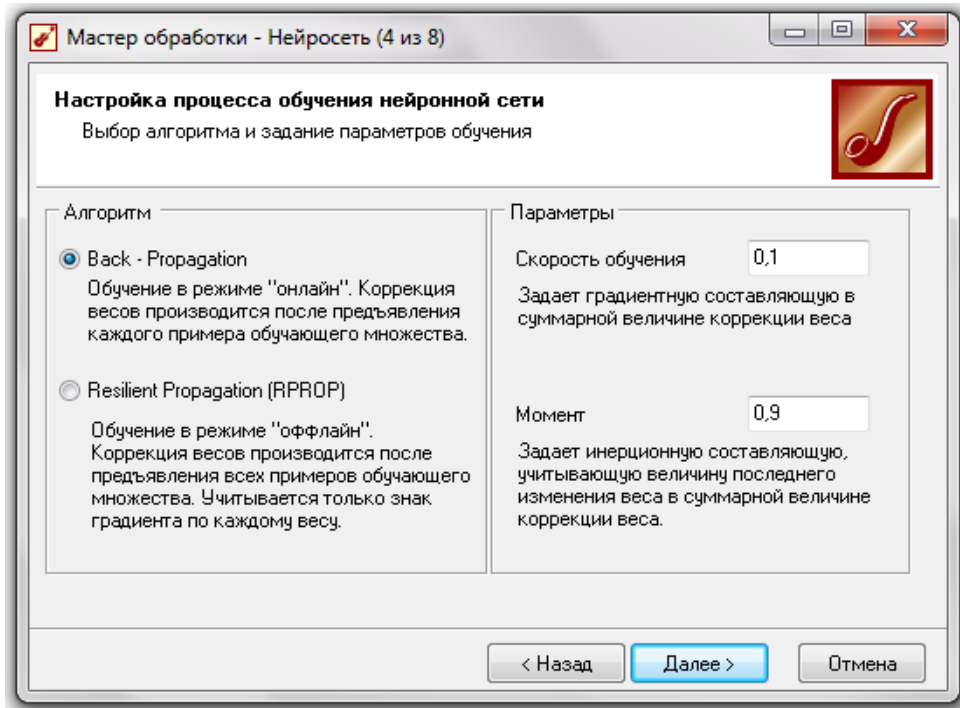


Рисунок 2.13 – Побудова нейронної мережі: етап 4. Алгоритм Ваксгпроп

Алгоритм еластичного поширення помилки використовує так зване «навчання по епохах», коли корекція вагів відбувається після пред'явлення мережі всіх прикладів з навчальної вибірки. Перевага даного методу полягає в тому, що він забезпечує збіжність, а, отже, і навчання мережі в 4-5 разів швидше, ніж алгоритм зворотного поширення. Для алгоритма Resilient Propagation характерні параметри (рис. 2.14):

– крок спуску (коефіцієнт збільшення швидкості навчання, який визначає крок збільшення швидкості навчання при недосягненні алгоритмом оптимального результату);

– крок підйому (коефіцієнт зменшення швидкості навчання. Задається

крок зменшення швидкості навчання в разі пропуску алгоритмом оптимального результату).

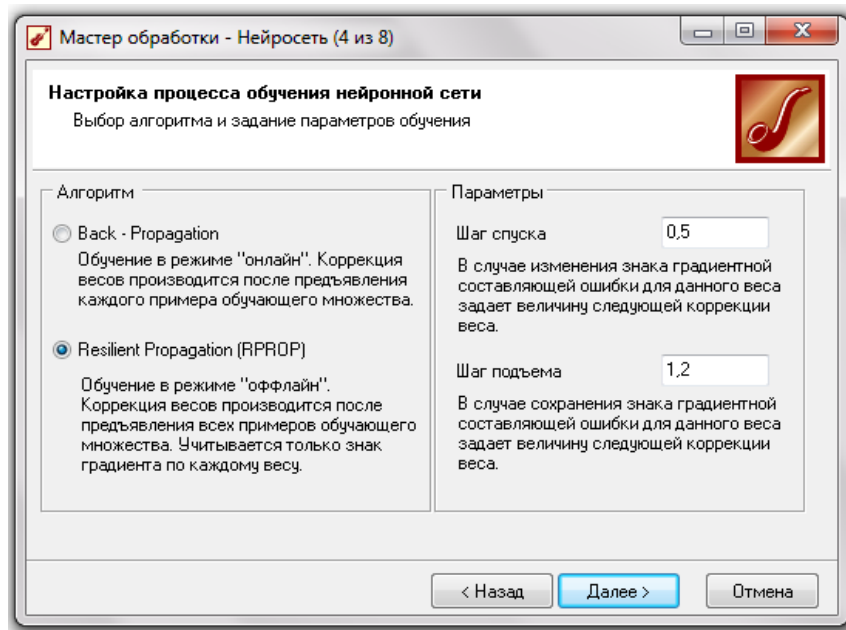


Рисунок 2.14 – Побудова нейронної мережі: етап 4. Алгоритм Rprop

Після цього налаштовуємо параметри зупинки (етап 5) та запускаємо навчання нейронної мережі (рис. 2.15).

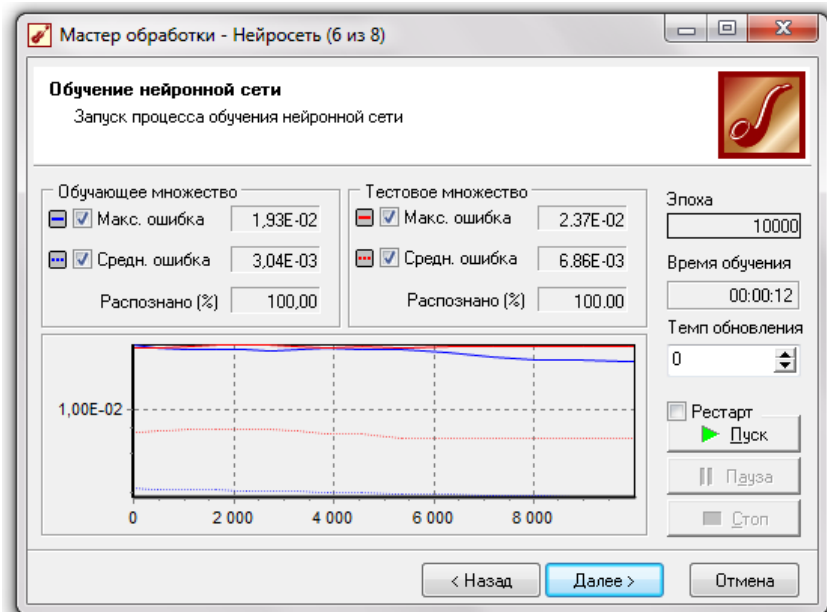


Рисунок 2.15 – Побудова нейронної мережі: етап 6

Заключним етапом є побудова графіків – нейронної мережі та діаграми розсіювання. На базі нейронної мережі будуємо прогноз на відповідний період часу. Налаштовуємо зв'язки полів для прогнозування часового ряду та задаємо горизонт прогнозу.

Узагальнена схема методології прогнозування даної роботи наведена на рис. 2.16.

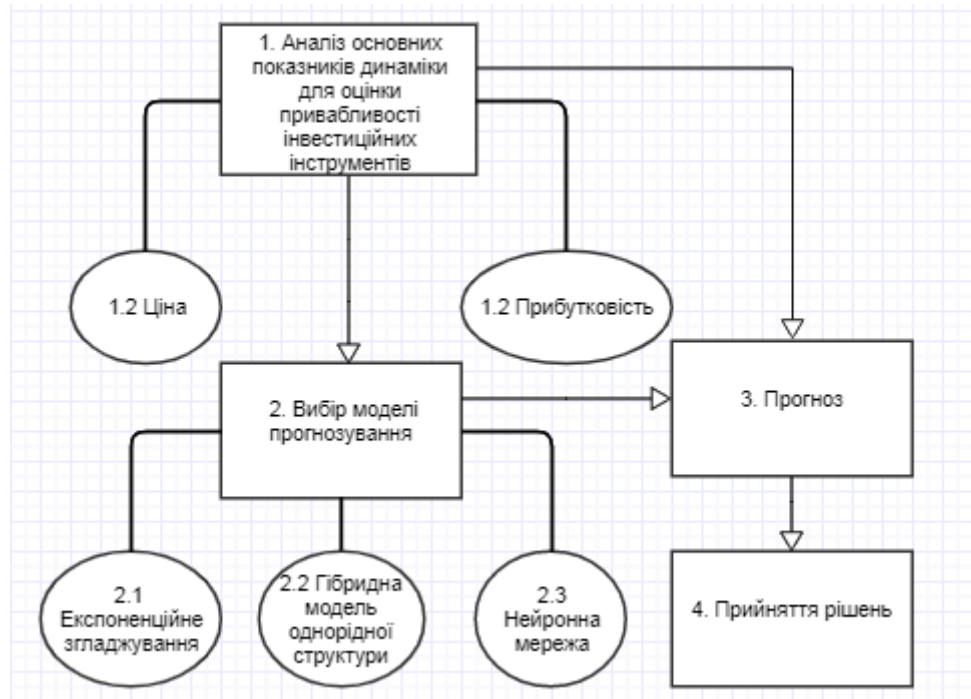


Рисунок 2.16 – Схема методології прогнозування роботи

Згідно рис. 2.16, прогнозування в роботі складається з 4-х етапів: аналіз основних показників динаміки для оцінки привабливості інвестиційних інструментів, вибір моделі прогнозування, безпосередньо побудова прогнозу та прийняття рішень на основі отриманих результатів.

Таким чином, у розділі 2 розглянуто теоретичні концепції аналізу та прогнозування фінансових ринків, методологію аналізу і прогнозування динаміки інвестиційних інструментів на фінансових ринках.

РОЗДІЛ 3

ЗАСТОСУВАННЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ МЕТОДОЛОГІЇ АНАЛІЗУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ДИНАМІКИ ІНВЕСТИЦІЙНИХ ІНСТРУМЕНТІВ НА ФІНАНСОВИХ РИНКАХ

3.1 Аналіз динаміки обраних інвестиційних інструментів

Вхідними даними для дослідження є щоденні ціни за період з 02.01.2012 до 30.11.2019 року з офіційного сайту The London Bullion Market Association [42].

Введемо наступні позначення. Часовий ряд (ЧР) ціни на золото:

$$Z = \langle z(t) \rangle, \quad (3.1)$$

де $z(t)$ – ціна на золото у день t ; $t = \overline{1, 2070}$;

Z_k – ЧР ціни у рік k , $k = \overline{2012, 2019}$; $Z_k \subset Z$.

ЧР курсу валютної пари EUR/USD:

$$V = \langle v(t) \rangle, \quad (3.2)$$

де $v(t)$ – валютний курс (EUR/USD) у день t ; $t = \overline{1, 2065}$;

V_k – ЧР ціни у рік k , $k = \overline{2012, 2019}$; $V_k \subset V$.

ЧР ціни на Біткоїн:

$$B = \langle b(t) \rangle, \quad (3.3)$$

де $b(t)$ – ціна на Біткоїн у день t ; $t = \overline{1, 2891}$;

B_k – ЧР ціни у рік k , $k = \overline{2012, 2019}$; $B_k \subset B$.

Візуальне представлення наведених вище часових рядів наведено на рис. 3.1-3.3.

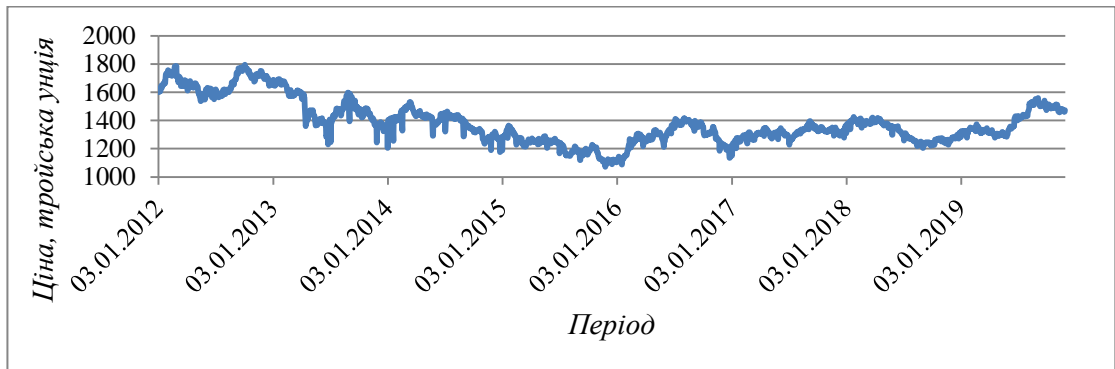


Рисунок 3.1 – Динаміка ціни золота за період з січня 2012 р. по листопад 2019 р.

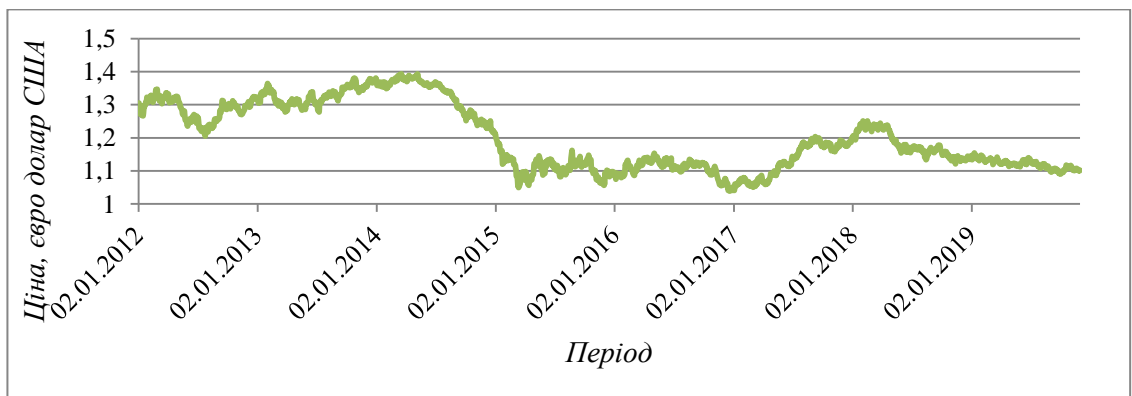


Рисунок 3.2 – Динаміка ціни курсу валютної пари EUR/USD за період з січня 2012 р. по листопад 2019 р.

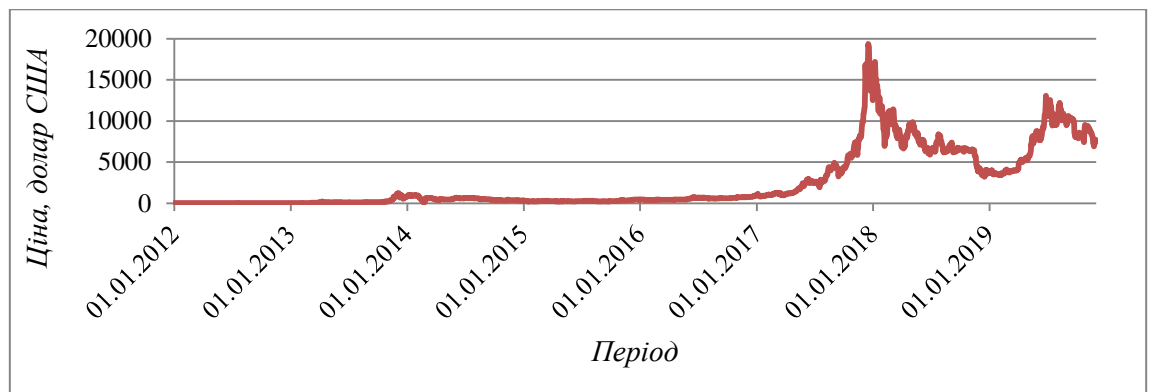
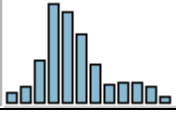
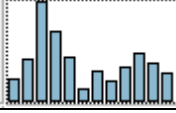



Рисунок 3.3 – Динаміка ціни Біткоїн за період з січня 2012 р. по листопад 2019 р.

У табл. 3.1 наведені результати порівняння показників динаміки ціни часових рядів Z, V, B за весь період дослідження.

Таблиця 3.1 – Зведена таблиця порівняння показників динаміки ціни ЧР Z, V, B за весь період дослідження

Показники оцінки динаміки	Z	V	B
I. Дослідження трендів			
А) лінійний тренд	$y = -0,0957x + 5437,8$ $R^2 = 0,279$	$y = -8E-05x + 4,6748$ $R^2 = 0,472$	$y = 3,2327x - 134411$ $R^2 = 0,562$
Швидкість зростання (спадання)	-0,0957	-8E-05	3,2327
Б) поліноміальний тренд	$y = 0,0002x^2 - 13,869x + 297039$ $R^2 = 0,730$	$y = 4E-08x^2 - 0,0032x + 71,504$ $R^2 = 0,527$	$y = 0,002x^2 - 162,43x + 3E+06$ $R^2 = 0,677$
В) експоненціальний тренд	$y = 21351e^{-6E-05x}$ $R^2 = 0,258$	$y = 20,511e^{-7E-05x}$ $R^2 = 0,466$	$y = 6E-43e^{0,0024x}$ $R^2 = 0,849$
II. Статистичні показники			
1. Середнє	1381,61	1,199	2507,50
2. Медіана	1347	1,167	572,3
3. Стандартне відхилення	150,39	0,099	3598,14
4. Максимум	1794,1	1,3934	19345,5
5. Мінімум	1070,8	1,0387	4,2
6. Розмах	723,3	0,3547	19341,3
7. Коефіцієнт варіації	0,108	0,083	1,434
8. Коефіцієнт осциляції	0,523	0,295	7,713
9. Гістограма розподілу			
10. Асиметрія	0,748	0,389	1,583
11. Екссес	0,023	-1,267	1,782
III. Фрактальні показники			
1. Показник Херста (H)	0,956	0,961	0,948
2. Найбільш значима ($\mu \geq 0,7$) глибина пам'яті, днів	4, 7	4, 5, 6	5, 7, 13, 14

Динаміка усіх трьох інвестиційних інструментів слабо описується лінійним трендом. Про це свідчить величина достовірності апроксимації (R^2).

Часовий ряд B відрізняється від золота та курсу валютної пари EUR/USD більшою волатильністю (показники варіації та осциляції в кілька разів перевищують відповідні показники ЧР Z та V) та динамікою зростання

(показник швидкості зростання ціни становить 3,23), цей ряд найкраще апроксимується експоненціальною функцією ($R^2 = 0,849$).

ЧР V майже однаково погано описується як лінійним, так і поліноміальним чи експоненціальним трендом (величина достовірності апроксимації становить 0,472, 0,527 та 0,466 відповідно). Цей ряд характеризується найменшою волатильністю (коефіцієнт варіації складає 0,083; коефіцієнт осциляції – 0,295).

Гістограма розподілу ЧР Z свідчить про наближення до нормального. Гістограма розподілу Біткоїн говорить про випадковість ЧР. Свідченням невідповідності ЧР В нормальному розподілу також є велике значення коефіцієнту асиметрії та ексцесу (розрахункові значення 1,58 і 1,78 відповідно, а при нормальному розподілі асиметрія та ексцес дорівнює 0), велике розходження між середнім значенням та медіаною (середнє – 2507,50; медіана – 572,30).

Візуальне представлення статистичних показників динаміки ціни часових рядів Z, V, В наведено на рис. 3.4.

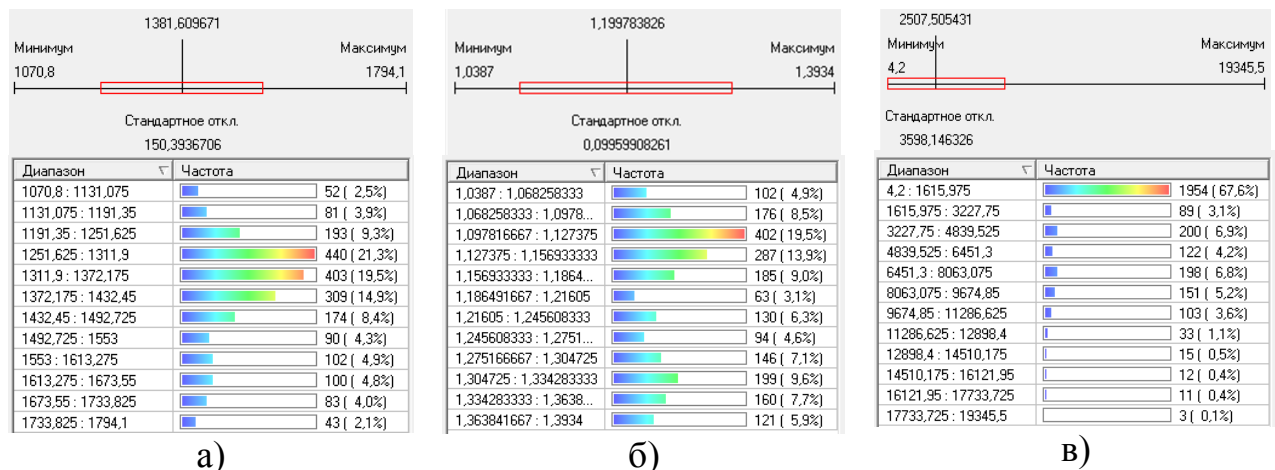


Рисунок 3.4 – Графічне відображення статистичних показників

динаміки ціни (візуалізація програмного продукту Deductor Studio Academic)

а) ЧР Z; б) ЧР V; в) ЧР В

Розглянемо результати фрактального аналізу. Вони свідчать, що часові ряди Z, V, В протягом всього періода дослідження з січня 2012 р. по

листопад 2019 р. є персистентними, тобто мають довгострокову пам'ять. Значення показника Херста для всіх часових рядів знаходиться в інтервалі $H \in [0,948; 0,961]$ (табл. 3.2). Для перемішаних значень показник Херста знаходиться в діапазоні $H \in [0,542; 0,610]$ (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Застосування методу нормованого розмаху Херста для цін ЧР за допомогою програми R_S_analyzer, створеної на кафедрі

ЧР цін	H	H _{перемішане}
Z	0,9562	0,5836
V	0,9611	0,6102
B	0,9485	0,5428

Візуальне представлення результатів фрактального аналізу на основі методу нормованого розмаху Херста за допомогою програми R_S_analyzer представлено на рис. 3.5.

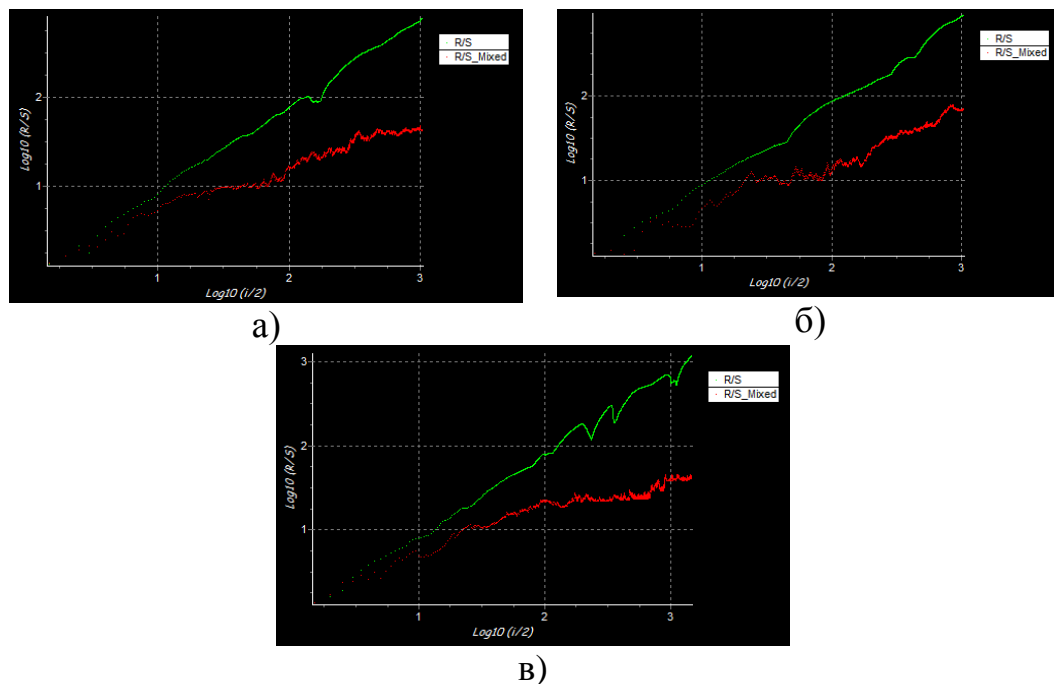


Рисунок 3.5 – Візуальне представлення результатів фрактального аналізу – R\S траєкторій для а) ЧР Z; б) ЧР V; в) ЧР B

Для дослідження такої характеристики фрактальної динаміки як довгострокова пам'ять (тобто її глибина) був використаний метод

послідовного R/S-аналізу. В результаті побудовано нечітку множину глибини пам'яті кожного ЧР (див. Додаток В), що досліджується і виявлено, що найчастіше для ЧР Z пам'ять зберігається впродовж 4 та 7 днів, для ЧР V впродовж 4, 5 та 6 днів, а для ЧР B – 5, 7, 13 та 14 днів (кількість днів наведена у порядку збільшення значення функції приналежності μ , $\mu \geq 0,7$).

За даними аналізу ЧР Z, V та B можна зробити наступні висновки:

1. ЧР Z та V мають характеристики випадкового розподілу (відсутність вираженого тренду, коливання навколо середніх значень, симетричність розподілу). При цьому для ЧР V характерна менша волатильність порівняно з ЧР Z. Динаміка ж ЧР B різко відрізняється: тут присутній вагомий експоненціальний тренд, значна швидкість зростання, асиметрія та велика волатильність. Тобто, результати статистичного аналізу свідчать про різну природу динаміки розглянутих часових рядів.

2. Результати фрактального аналізу свідчать, що ЧР Z, V та B протягом всього періода дослідження з січня 2012 р. по листопад 2019 р. є персистентними, тобто мають довгострокову пам'ять. Всім цим часовим рядам характерні такі властивості фрактальної динаміки як залежності поточного значення ЧР від минулих, залежність параметрів системи від часу, наявність нестійких траєкторій, а також наявність у системі джокера.

У результаті застосування методу послідовного R/S-аналізу були побудовані нечіткі множини глибини пам'яті для кожного часового ряду.

3. Таким чином, результати статистичного аналізу повністю відрізняються від фрактального аналізу. За даними статистичного аналізу часові ряди Z та V, на відміну від ЧР B, мають випадковий характер. Результати ж фрактального аналізу свідчать про схожий персистентний характер усіх трьох часових рядів.

З точки зору інвестиційних потреб важливою для аналізу є не тільки динаміка ціни інвестиційних ринків, а й динаміка її прибутковості. Прибутковість є основним з показників діяльності інвесторів та однією з

основних його цілей. Тому значення прибутковості може бути використано як показник для аналізу та порівняння альтернативних інвестиційних ринків.

До того ж, слід зазначити, що прибутковість є більш прийнятним інструментом для порівняння, так як, на відміну від ціни, прибутковість приведена до загальної розмірності (%), тому є можливість порівняння не тільки відносних показників (коефіцієнтів), а й абсолютних значень (таких, наприклад, як середнє, стандартне відхилення, розмах тощо).

Введемо наступні позначення часових рядів (ЧР):

$$P_Z = \langle p_t^k \rangle, \quad (3.4)$$

де $p_t^k = \frac{(z_{(t+1)} - z_t)}{z_t} * 100\%$ – прибутковість золота у рік k ;

$$k = \overline{2012, 2019};$$

$$t = \overline{2, 2070}.$$

$$P_V = \langle p_t^k \rangle, \quad (3.5)$$

де $p_t^k = \frac{(v_{(t+1)} - v_t)}{v_t} * 100\%$ – прибутковість валютного курсу (EUR/USD) у рік

k ;

$$k = \overline{2012, 2019};$$

$$t = \overline{2, 2065}.$$

$$P_B = \langle p_t^k \rangle, \quad (3.6)$$

де $p_t^k = \frac{(b_{(t+1)} - b_t)}{b_t} * 100\%$ – прибутковість Біткоїн у рік k ;

$$k = \overline{2012, 2019};$$

$$t = \overline{2, 2891}.$$

Візуальне представлення наведених вище часових рядів наведено на рис. 3.6-3.8.

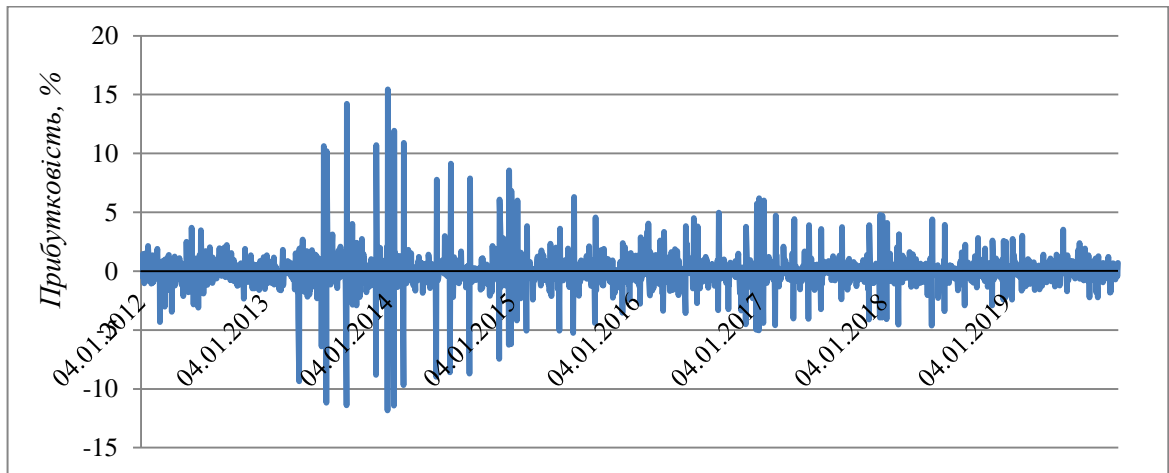


Рисунок 3.6 – Динаміка прибутковості золота за період з січня 2012 р. по листопад 2019 р. (%)

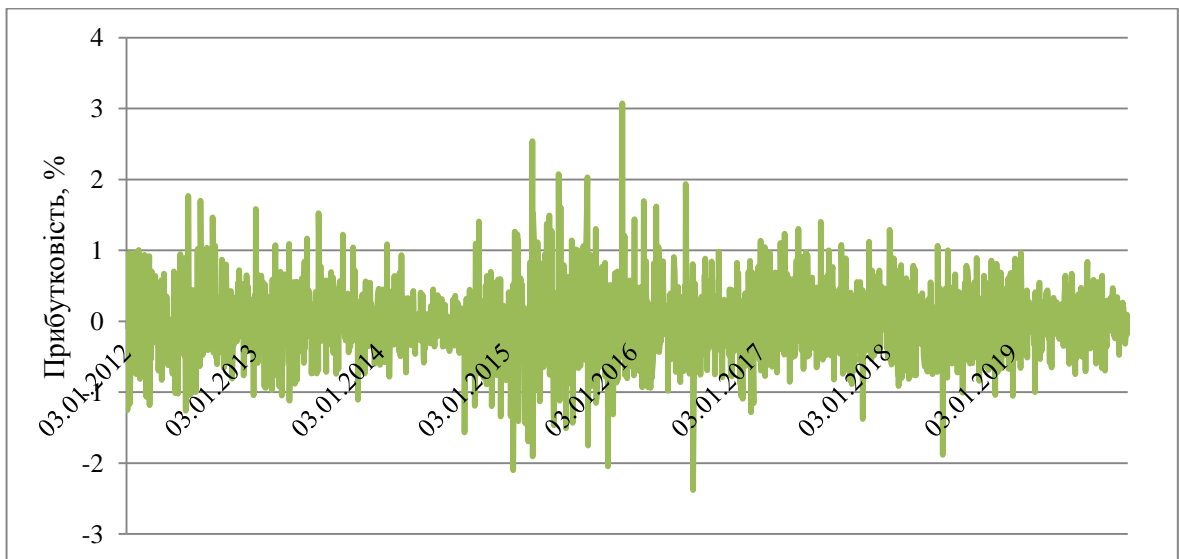


Рисунок 3.7 – Динаміка прибутковості курсу валютної пари EUR/USD за період з січня 2012 р. по листопад 2019 р. (%)

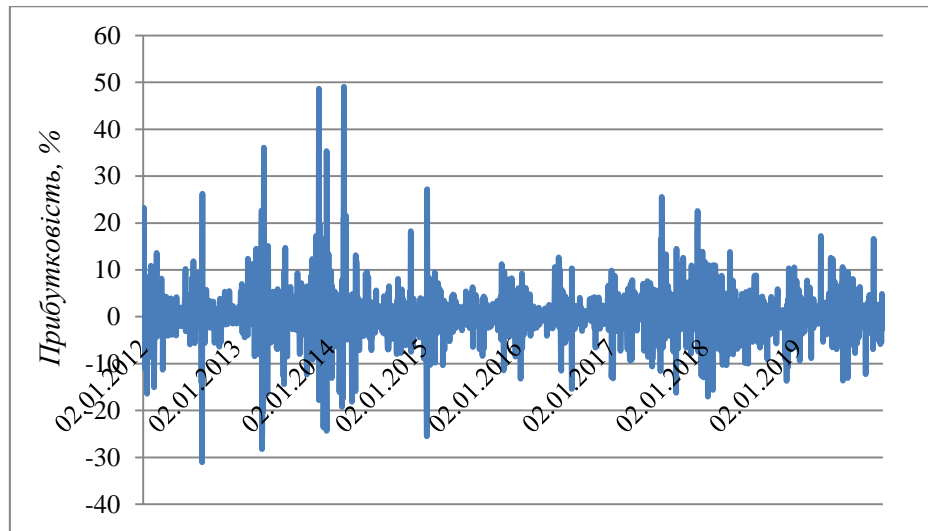


Рисунок 3.8 – Динаміка прибутковості Біткоїн за період з січня 2012 р. по листопад 2019 р. (%)

Фрактальний аналіз свідчить про випадковість часових рядів (табл. 3.3). Про це говорить значення показника Херста.

Таблиця 3.3 – Застосування методу нормованого розмаху Херста для прибутковості ЧР за допомогою програми R_S_analyzer, створеної на кафедрі

ЧР прибутковості	H	H _{перемішане}
P_Z	0,4985	0,5557
P_V	0,6002	0,5808
P_B	0,6356	0,5756

У зв'язку з цим було побудовано та досліджено сімейство ЧР:

$$P_{t+s} = \langle p_{t+s} \rangle, \quad (3.7)$$

де $p_{t+s} = \frac{(z_{(t+s)} - z_t)}{z_t} * 100\%$ – прибутковість ціни в день $t+s$ ($z_{(t+s)}$) відносно ціни у день t (z_t), тобто прибутковість із лагом $s = 7, 10, 14, 21, 30, 42$.

В результаті дослідження ЧР «відтермінованої» прибутковості встановлено, що характер динаміки прибутковості змінюється від

стохастичного до персистентного в залежності від величини часового лагу та набуває характеристик притаманних «материнському» ЧР ціни. Але лаг для кожного часового ряду є різним:

- ЧР P_Z набуває персистентності при величині лагу 30 днів, а показник Херста дорівнює вже 0,815;
- ЧР P_V набуває персистентності при величині лагу 21 днів, а показник Херста дорівнює вже 0,835;
- ЧР P_B набуває персистентності при величині лагу 14 днів, а показник Херста дорівнює вже 0,819.

Графічне відображення значень показника Херста для ЧР P_Z , P_V , P_B прибутковості з різним лагом наведено на рис. 3.9.

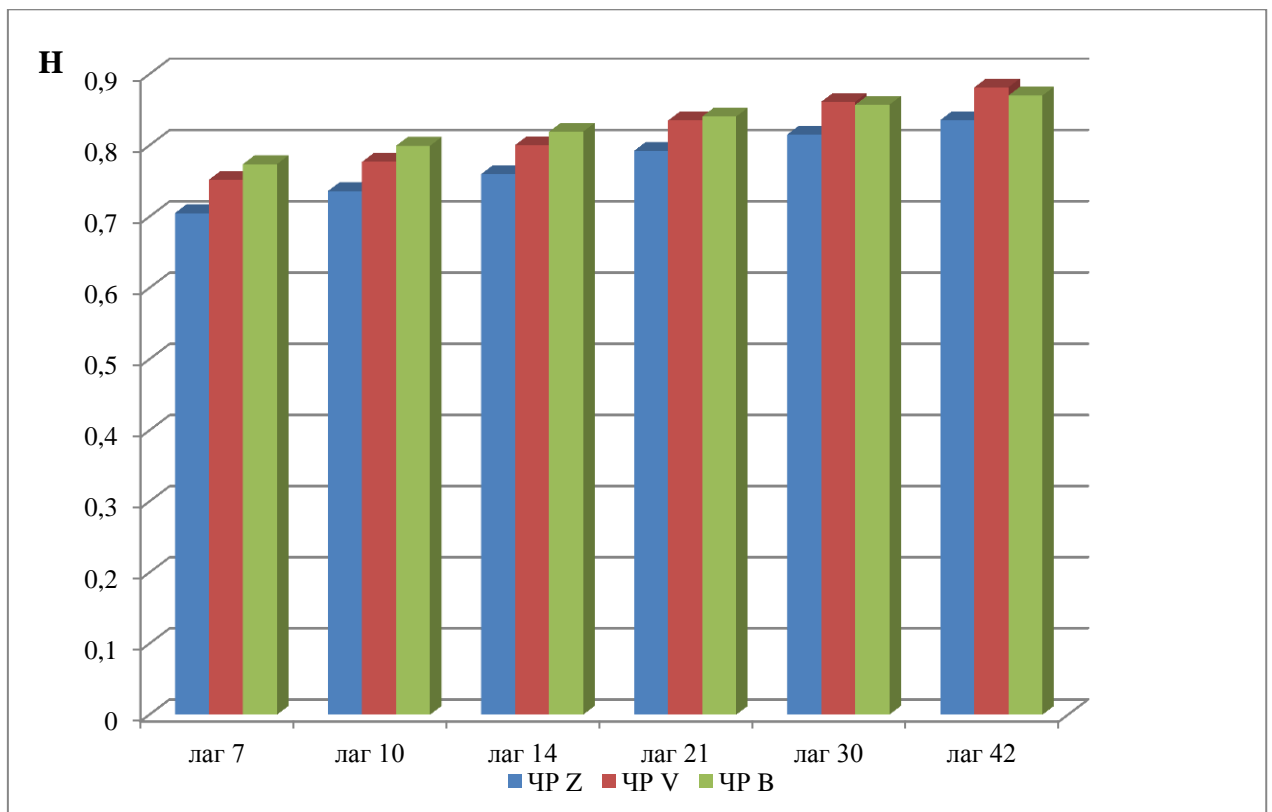


Рисунок 3.9 – Значення показника Херста для ЧР P_Z , P_V , P_B прибутковості з різним лагом

Отже, найшвидше набуває персистентності часовий ряд P_B . Спостерігаємо, що зі збільшенням лагу показник Херста зростає та стає

придатним для прогнозування методами фрактального аналізу. Це дає можливість інвестору уніфікувати інструментарій аналізу та спрогнозувати прибутковість відповідно до характеристик динаміки ціни конкретного інвестиційного інструменту.

Тобто результати статистичного аналізу мають узагальнюючий характер і не можуть враховувати глибинну структуру і пам'ять часових рядів, зв'язки параметрів системи в часі та наявність нестійких траєкторій. Фрактальний аналіз же не може враховувати наявність трендів, швидкість збільшення чи зменшення ціни, волатильність. Це підкреслює важливість комплексного застосування методів фрактального та статистичного аналізу для глибокого та повного вивчення динаміки часових рядів.

3.2 Прогнозування з використанням нейронних мереж

Вхідні дані – щомісячні ціни за період з січня 2012 р. по листопад 2019 р. (див. Додаток А, табл. А1) [42]. Навчання нейронної мережі проведено на даних з січня 2012 по листопад 2018 року. Верифікація побудованої прогнозної моделі – на даних з грудня 2018 по листопад 2019 р.

Для обґрунтування архітектури нейронної мережі застосовано метод послідовного R/S-аналізу та визначена глибина пам'яті ЧР Z [44, 45]. Виявлено, що найчастіше пам'ять зберігається впродовж 6, 8 та 9 місяців (рис. 3.10).

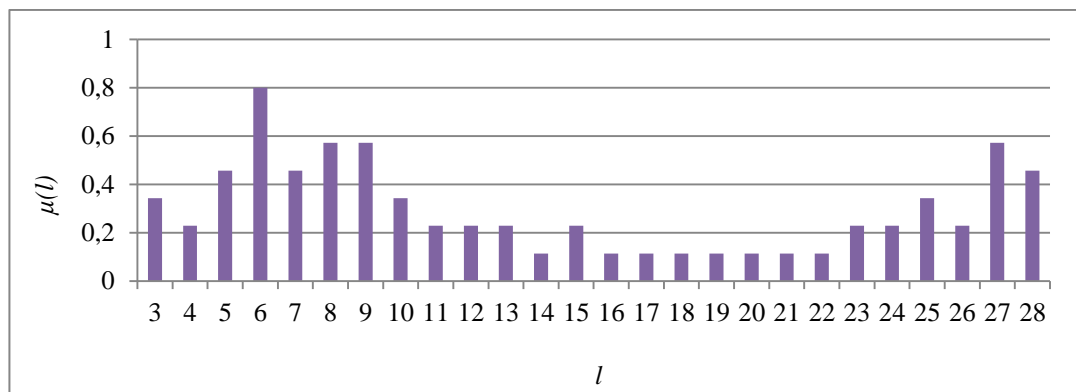


Рисунок 3.10 – Глибина пам'яті ЧР Z

Була висунута гіпотеза проте, що найкраща кількість вхідних нейронів (тобто попередніх значень ціни, що використовуються для прогнозування майбутньої ціни) дорівнює глибині пам'яті часового ряду.

Для підтвердження чи скасування цього припущення були побудовані прогнозні моделі нейронних мереж, що містять 3, 6, 9, 12 та 15 вхідних нейронів (рис. 3.11) та оцінена точність їх прогнозів (табл. 3.4). Також побудовані діаграми розсіювання (рис. 3.13).

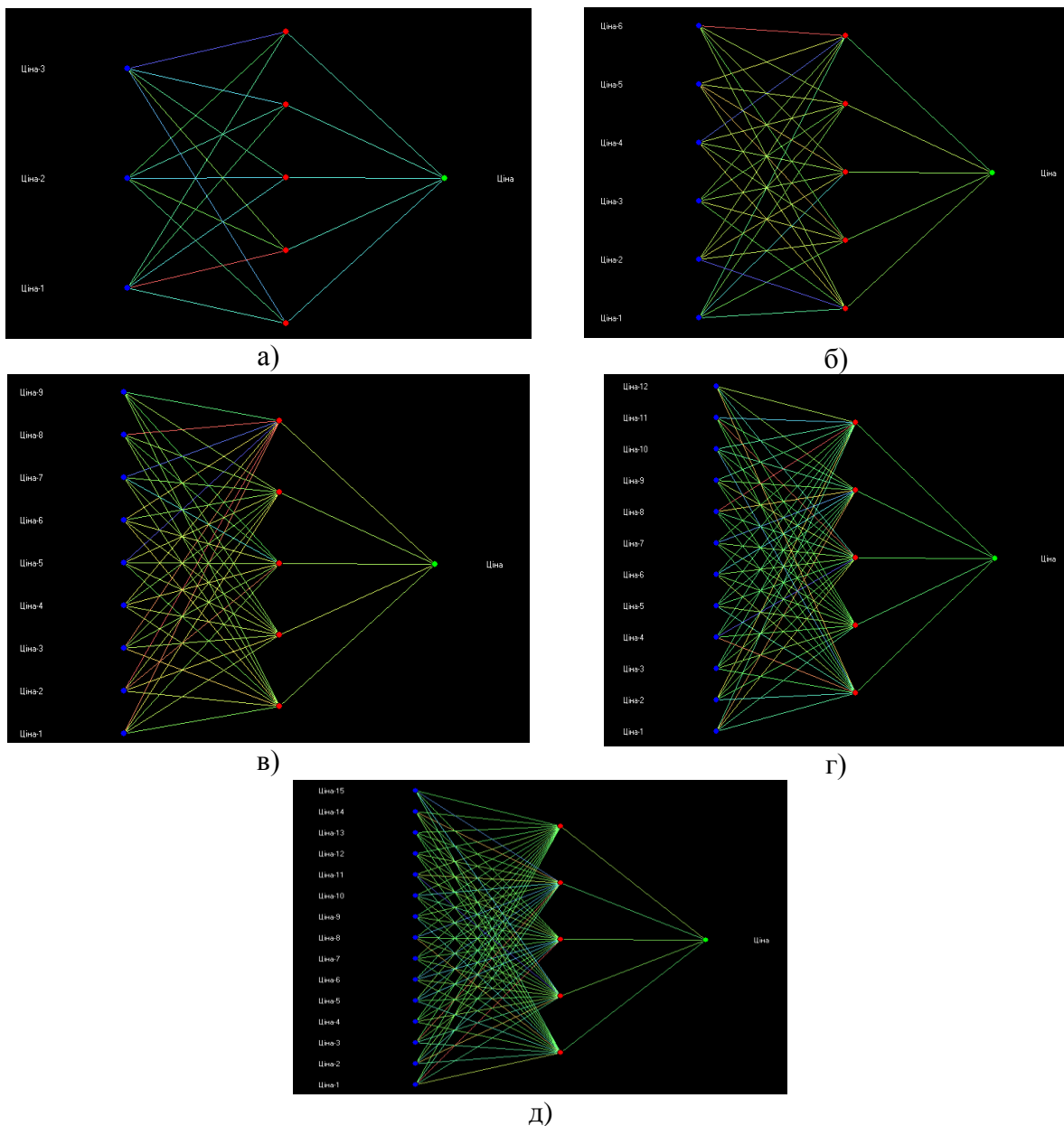


Рисунок 3.11 – Нейронна мережа прогновної моделі із а) 3-ма; б) 6-ма; в) 9-ма; г) 12-ма; та д) 15-ма вхідними нейронами

Навчання нейронної мережі здійснено за алгоритмом еластичного поширення помилки (Resilient Propagation). Точність отриманих прогнозів оцінена за допомогою похибок: корінь з середньоквадратичної відносної похибки прогнозу у відсотках (RMSPE) та середня абсолютна похибка прогнозу у відсотках (MAPE).

Таблиця 3.4 – Оцінка точності прогнозу

Кількість вхідних нейронів моделі	RMSPE(%)	MAPE(%)
3	6,06	5,51
6	3,37	2,80
9	6,57	5,64
12	13,47	13,05
15	14,07	13,88

Тобто, у роботі були побудовані прогнози ціни золота з грудня 2018 по листопад 2019 року на основі нейронної мережі з варіюванням кількості вхідних нейронів (див. Додаток Б) та оцінена точність прогнозів. Встановлено, що найкращий результат отримано при кількості вхідних нейронів – 6, що дорівнює глибині пам'яті ЧР. Точність прогнозу є високою, а саме: RMSPE=3,37% та MAPE=2,80%.

Аналогічне дослідження було проведено і для ЧР V. За допомогою методу послідовного R/S-аналізу визначена глибина пам'яті часового ряду. Виявлено, що найчастіше пам'ять зберігається впродовж 4, 5 та 6 місяців (рис. 3.12).

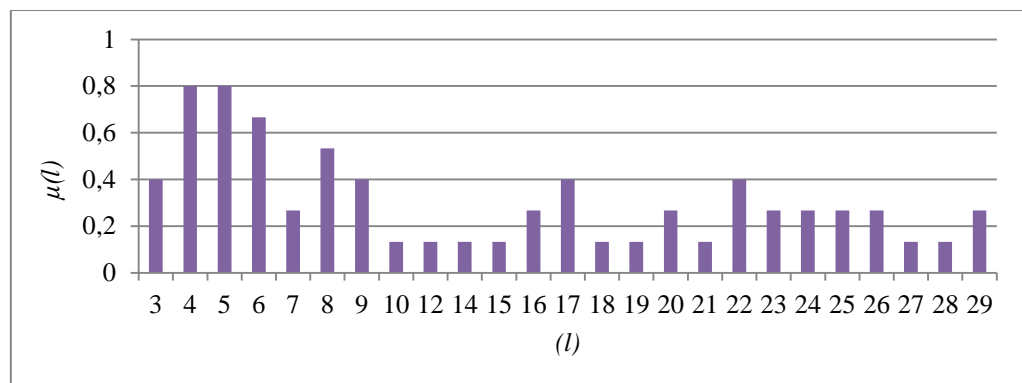


Рисунок 3.12 – Глибина пам'яті ЧР V

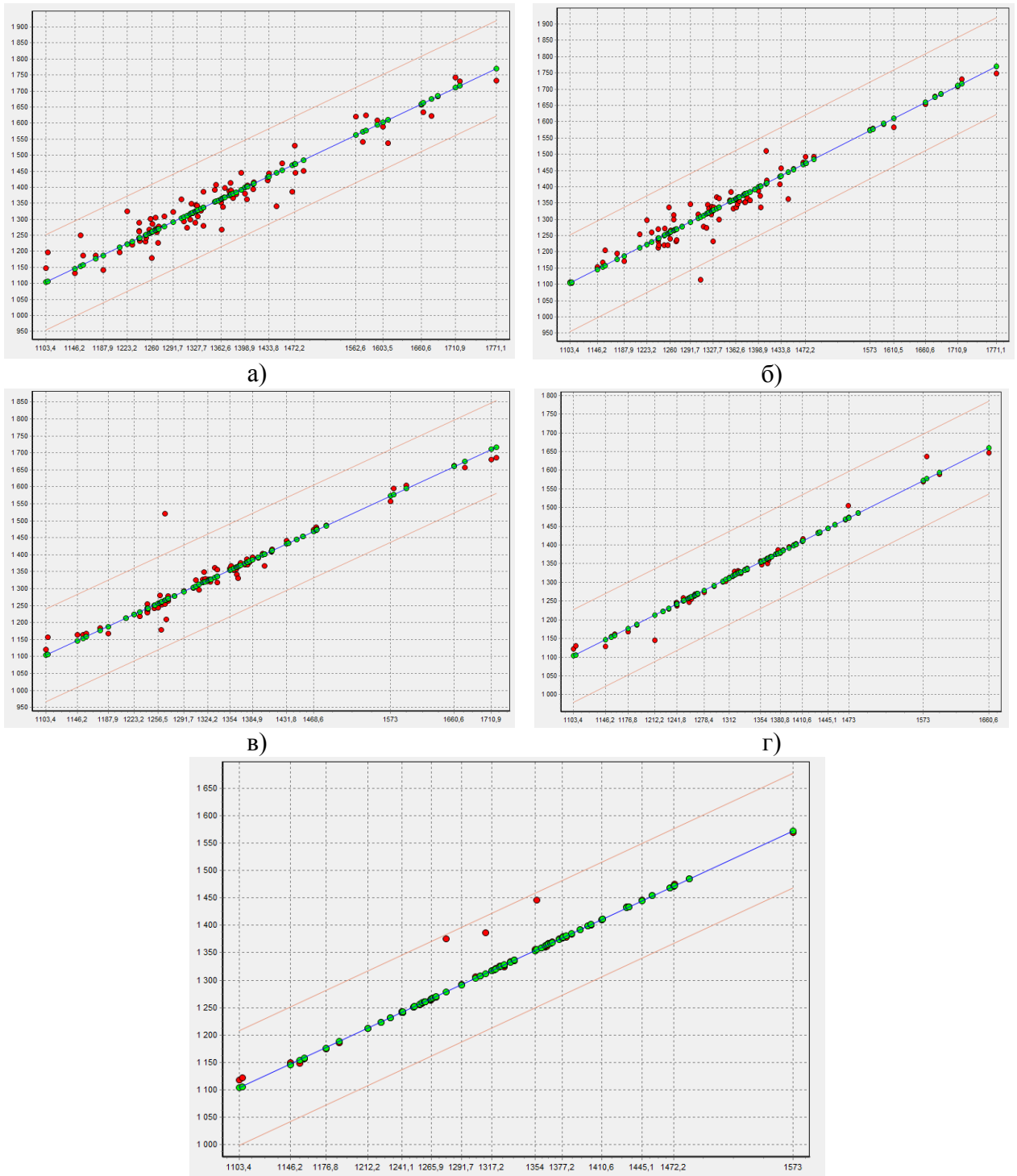


Рисунок 3.13 – Діаграми розсіювання нейромережі прогнозної моделі із а) 3-ма; б) 6-ма; в) 9-ма; г) 12-ма; та д) 15-ма вхідними нейронами

Була висунута гіпотеза проте, що найкраща кількість вхідних нейронів (тобто попередніх значень ціни, що використовуються для прогнозування майбутньої ціни) дорівнює глибині пам'яті часового ряду.

Для підтвердження чи скасування цього припущення були побудовані прогностні моделі нейронних мереж, що містять 3, 6, 9, 12 та 15 вхідних нейронів (рис. 3.14) та оцінена точність їх прогнозів (табл. 3.5). Також побудовані діаграми розсіювання (рис. 3.16).

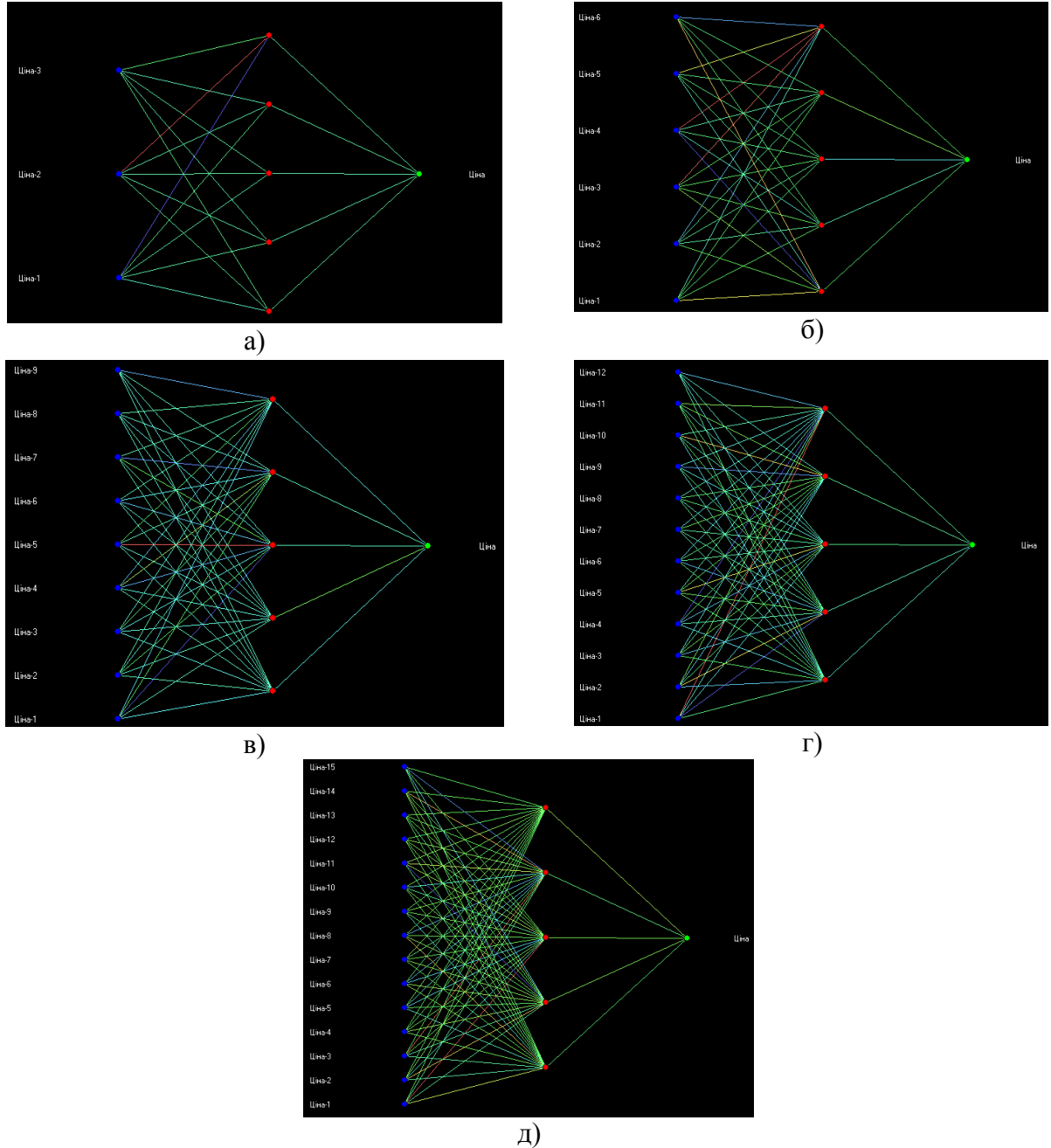


Рисунок 3.14 – Нейронна мережа прогностної моделі із а) 3-ма; б) 6-ма; в) 9-ма; г) 12-ма; та д) 15-ма вхідними нейронами

Навчання нейронної мережі здійснено за алгоритмом еластичного поширення помилки (Resilient Propagation). Точність отриманих прогнозів оцінена за допомогою похибок: корінь з середньоквадратичної відносної похибки прогнозу у відсотках (RMSPE) та середня абсолютна похибка прогнозу у відсотках (MAPE).

Таблиця 3.5 – Оцінка точності прогнозу

Кількість вхідних нейронів моделі	RMSPE(%)	MAPE(%)
3	3,75	3,45
6	2,63	2,34
9	5,21	3,75
12	4,08	3,54
15	4,68	4,43

Тобто, у роботі були побудовані прогнози ціни курсу валютної пари EUR/USD з грудня 2018 по листопад 2019 року на основі нейронної мережі з варіюванням кількості вхідних нейронів (див. Додаток В) та оцінена точність прогнозів. Встановлено, що найкращий результат отримано при кількості вхідних нейронів – 6 (RMSPE=2,63%; MAPE=2,34%) та 3 (RMSPE=3,75%; MAPE=3,45%), що дорівнює глибині пам'яті ЧР. Точність прогнозу є високою.

Аналогічне дослідження було проведене і для часового ряду Біткоїн. Виявлено, що найчастіше пам'ять зберігається впродовж 3 та 8 місяців (рис. 3.15).

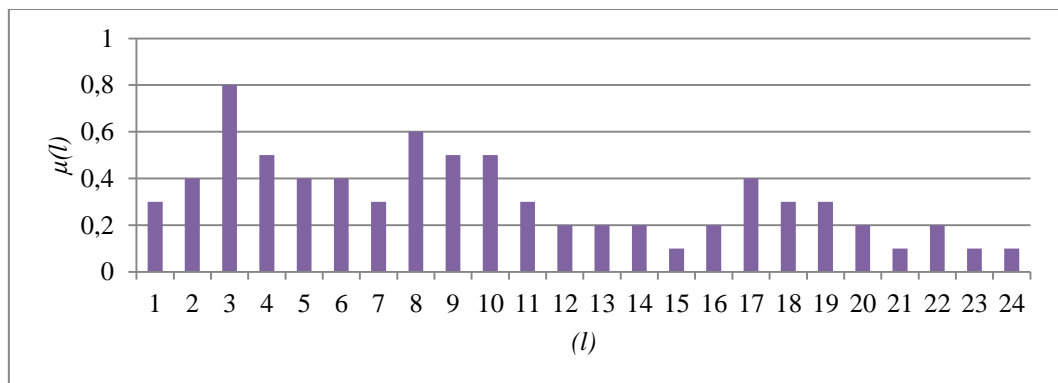


Рисунок 3.15 – Глибина пам'яті ЧР В

Ціна є досить непередбачуваною, стрімкі злети та падіння, тому побудовані прогнози є незадовільної точності.

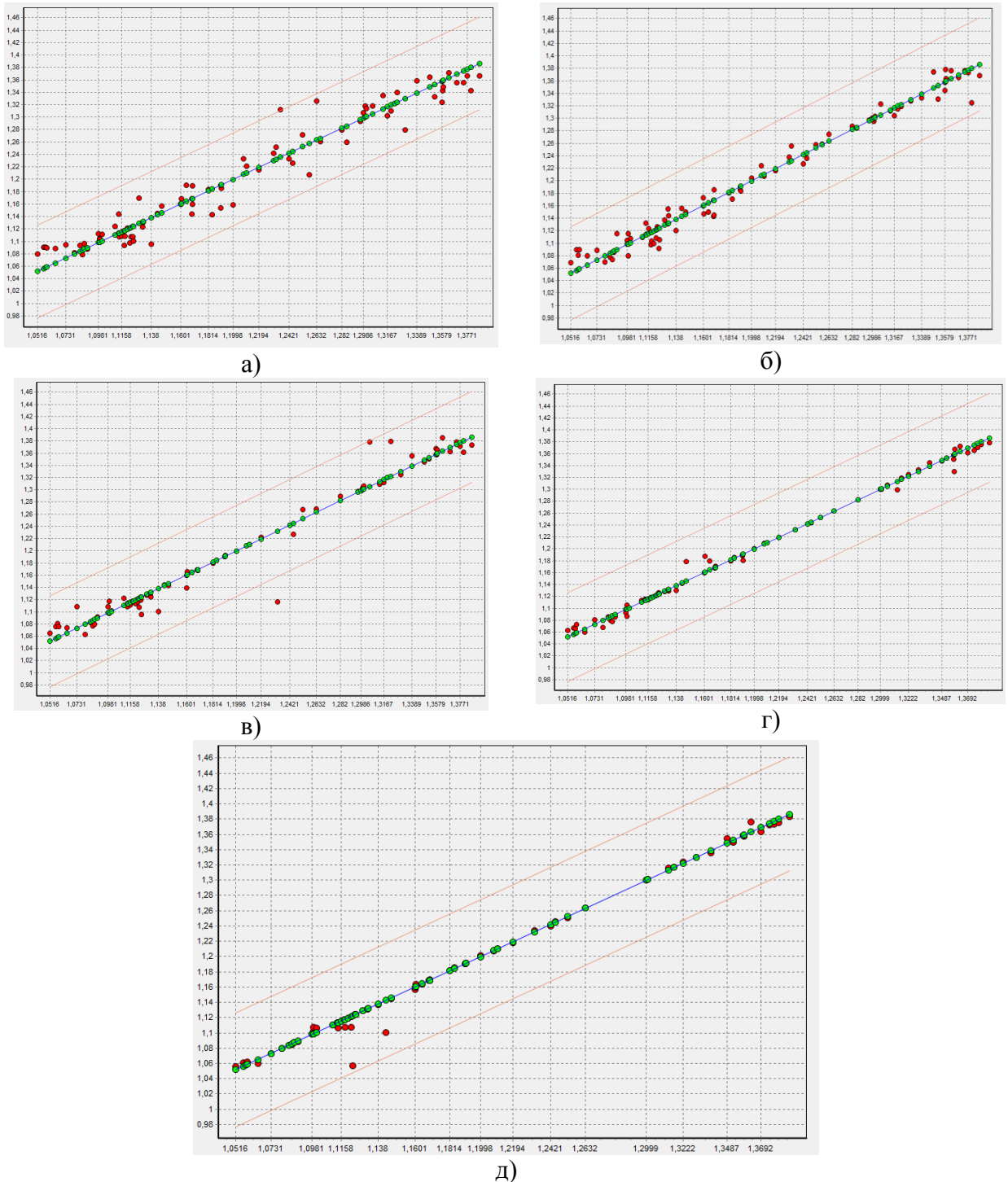


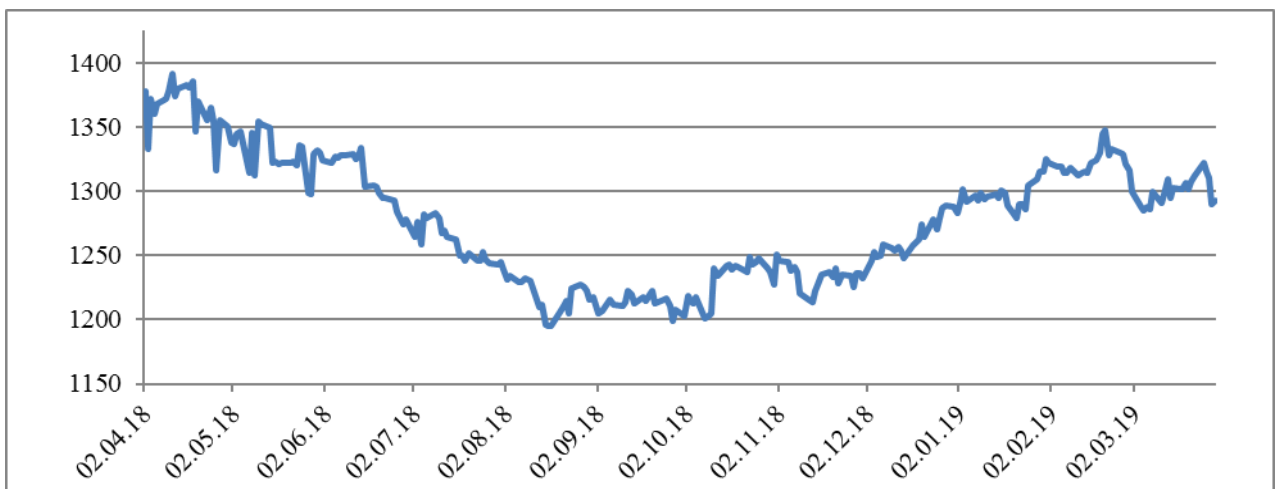
Рисунок 3.16 – Діаграми розсіювання нейромережі прогнозної моделі із а) 3-ма; б) 6-ма; в) 9-ма; г) 12-ма; та д) 15-ма входними нейронами

Таким чином, у роботі були побудовані прогнози ціни золота та курсу валютної пари EUR/USD з грудня 2018 по листопад 2019 року на основі нейронної мережі з варіюванням кількості вхідних нейронів та оцінена точність прогнозів. Встановлено, що найкращий результат отримано при кількості вхідних нейронів, що дорівнює глибині пам'яті часових рядів. Точність прогнозу є високою.

3.3 Прогнозування на основі гібридної моделі однорідної структури (МОС) та експоненційного згладжування

Об'єктом дослідження було обрано два часові ряди: ціни золота та курсу валютної пари EUR/USD за період з квітня 2018 року по березень 2019 року за даними сайту The London Bullion Market Association [42].

Візуальне представлення досліджуваних рядів наведено на рис. 3.17.



a)



б)

Рисунок 3.17 – Графічне представлення часових рядів ціни золота (а) та курсу валютної пари EUR/USD (б) за період з квітня 2018 року по березень 2019 року

Для перевірки можливості застосування методів фрактальної динаміки для обраних часових рядів розрахуємо показник Херста. Результати розрахунку наведено у табл. 3.6.

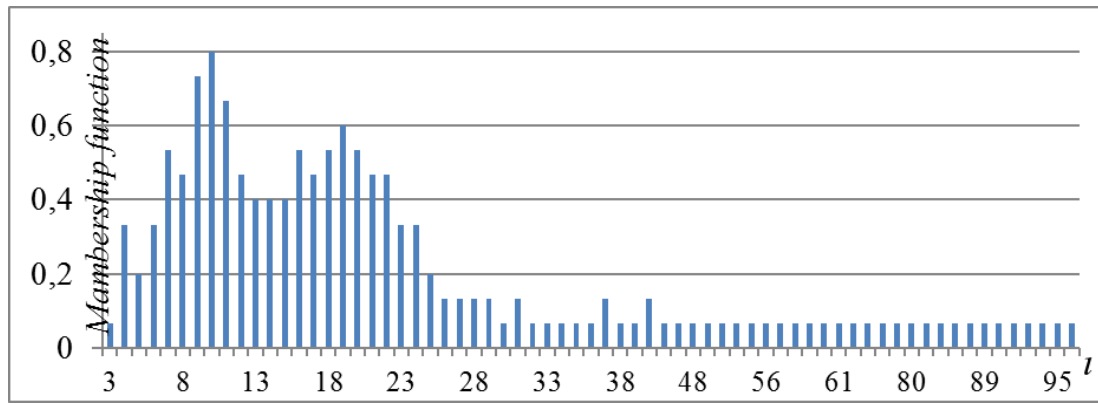
Таблиця 3.6 – Значення показника Херста для часових рядів ціни золота та курсу валютної пари EUR/USD

ЧР	H	H _{перемішане}
ціни золота	0,9319	0,5962
курсу валютної пари EUR/USD	0,9229	0,6352

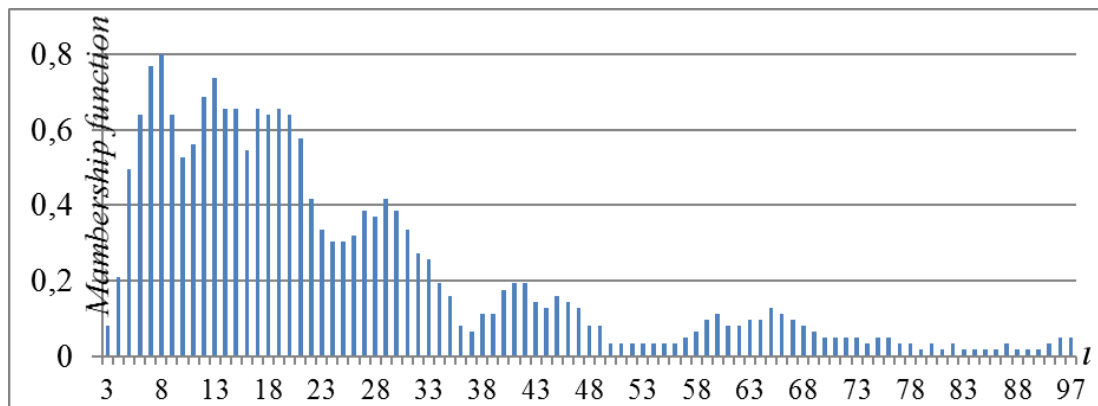
Показники Херста для обраних часових рядів близькі до одиниці, при тому, що показники Херста для перемішаних часових рядів близькі до 0,5.

Застосуємо до обраних часових рядів метод послідовного R/S-аналізу. На рис. 3.18 представлена нечітка множина глибини пам'яті.

Для зазначених часових рядів застосуємо прогнозну модель експоненційного згладжування та гібридну модель однорідної структури (МОС). Для побудови цих моделей використано пакет статистичного аналізу даних Statistica.



а)



б)

Рисунок 3.18 – Нечітка множина глибини пам'яті для часових рядів: а) ціни золота; б) курсу валютної пари EUR/USD

Розглянемо процес побудови моделі експоненціального згладжування ЧР ціни золота більш детально. Амплітуда коливань не змінюється з часом, відсутній тренд. Тому в якості моделі експоненціального згладжування обираємо адитивну модель без тренду.

За допомогою вкладки «Пошук на сітці» програмного пакету Statistica підбираємо найкращі параметри альфа та дельта для моделей з такими значеннями сезонної компоненти: 3, 5, 10, 13, 22, 30. В результаті отримуємо шість моделей експоненціального згладжування. Параметри якості кожної моделі наведено у табл. 3.7

При аналізі табл. 3.7 встановлено, що найкращі оцінки точності за всіма показниками має прогнозна модель з сезонною компонентою 10 днів.

Згідно з рисунком 3.14 а) значенню 10 днів відповідає найбільше значення нечіткої множини $\mu(I)$.

Таблиця 3.7 – Параметри моделі експоненціального згладжування та оцінки точності прогнозування часового ряду ціни золота

№ моделі	Альфа	Дельта	Сезонна компонента	MAE	MAPE	Накопичена помилка
1	0,8	0,1	3	7,508	0,582	1982
2	0,3	0,1	5	9,364	0,727	2472
3	0,8	0,1	10	7,477	0,581	1974
4	0,4	0,1	13	8,577	0,666	2264
5	0,8	0,1	22	7,648	0,594	2019
6	0,9	0,1	30	7,535	0,585	1989

Визначаємо наявність і тип тренду для часового ряду валюти. Для часового ряду курсу валютної пари EUR/USD характерний низхідний тренд, що найкращим чином описується демпфированою моделлю. Розглянемо оцінки якості прогнозних моделей з сезонними компонентами, що становлять 3, 5, 8, 11 та 23 дні (табл. 3.8).

При аналізі табл. 3.8 встановлено, що найкращі оцінки точності за всіма показниками має прогнозна модель з сезонною компонентою 8 днів. Згідно з рисунком 3.14 б) значенню 8 днів відповідає найбільше значення нечіткої множини $\mu(I)$.

Таблиця 3.8 – Параметри моделі експоненціального згладжування та оцінки точності прогнозування часового ряду курсу валютної пари EUR/USD

№ моделі	Альфа	Дельта	Фи	Сезонна компонента	MAE	MAPE	Накопичена помилка
1	0,5	0,1	0,3	3	0,003771	0,3259	0,9804
2	0,1	0,1	0,1	5	0,005742	0,4950	1,493
3	0,6	0,1	0,1	8	0,003734	0,3224	0,9709
4	0,5	0,1	0,3	11	0,00375	0,324	0,9749
5	0,5	0,1	0,5	23	0,000377	0,326	0,9812

Отже, отримані результати свідчать про поліпшення точності прогнозної моделі при використанні в якості параметра розраховане значення глибини пам'яті.

У роботі також розглянуто клас гібридних моделей на основі однорідної структури. Модель однорідної структури (МОС) належить до класу дискретних (алгоритмічних) моделей та дозволяє відобразити процес розвитку економічної системи, імітуючи крок за кроком її динаміку [43].

Прогнозування на базі МОС здійснюється за чотири етапи. Але для цілей цього дослідження обмежимося тільки трьома етапами:

Етап 1 – передпрогнозний аналіз ряду динаміки містить підетапи:

підетап 1.1 – візуалізація ряду динаміки;

підетап 1.2 – використання статистичних методів на предмет виявлення особливостей (наявності або відсутності важких хвостів, трендів, циклічних або сезонних компонентів тощо);

підетап 1.3 – застосування комплексного фрактального аналізу ряду динаміки та фазового аналізу на предмет виявлення довготривалої пам'яті та її характеристик.

Етап 2 – ідентифікація параметрів МОС за ЧР $Z = \langle z_i \rangle, i = \overline{1, n}$, що розглядається (ретроспекція) – містить підетапи:

– підетап 2.1 – визначення множини T ;

– підетап 2.2 – формування поточного стану МОС на базі перетворення вихідного числового ЧР Z у лінгвістичний часовий ряд $U = \langle u_i \rangle, i = \overline{1, n}$, тобто заміни кожного рівня $z_i \in Z$ певним термом $u_i = u^r \in T$ (для цього запропоновано 3 алгоритми та умови їх використання);

– підетап 2.3 – формування глобальної функції переходів на базі ідентифікації локальних функцій переходів, конкретизація індексу сусідства Q та шаблонів сусідства.

Етап 3 – верифікація моделі, тобто обчислення оцінок точності та обґрунтованості моделі.

Розраховані оцінки точності моделі для часового ряду ціни золота наведено у табл. 3.9.

Таблиця 3.9 – Оцінки точності моделі однорідної структури для ЧР ціни золота за період з квітня 2018 року по березень 2019 року

Золото						
1	3	5	10	13	22	30
mape	0,4626742	0,4475613	0,4131169	0,463518	0,483282	0,460842
rmspe	0,5389658	0,5298278	0,5169208	0,5480377	0,566982	0,5837727

Аналогічні розрахунки були проведені також для часового ряду курсу валютної пари EUR/USD. Результати наведені у табл. 3.10.

Таблиця 3.10 – Оцінки точності моделі однорідної структури для ЧР курсу валютної пари EUR/USD за період з квітня 2018 року по березень 2019 року

Курс валютної пари EUR/USD						
1	3	5	8	11	23	35
mape	0,50736085	0,49282266	0,4108247	0,4442238	0,539621	0,4605792
rmspe	0,5949324	0,5866067	0,5086282	0,573249	0,63248	0,5671626

Згідно табл. 3.9 та 3.10 продемонстровано, що прогнозна модель чутлива до зміни параметру сезонності і застосування методу послідовного R/S-аналізу для визначення глибини пам'яті допомагає покращити якість прогнозної моделі однорідної структури.

Таким чином, у роботі побудовано два класи моделей: по-перше, модель експоненціального згладжування, що відносяться до класичних статистичних моделей, та, по-друге, альтернативний клас моделей однорідної структури. Ці моделі застосовані до двох часових рядів: ціни золота та курсу валютної пари EUR/USD за період з квітня 2018 року по березень 2019 року.

Наступним кроком було порівняння точності кожної моделі в залежності від застосованого параметру часу. В ході наукового експерименту встановлено, що найкращі результати отримано при застосуванні параметру

часу (кількість днів) з найбільшим значенням функції приналежності, розрахованої методом послідовного R/S-аналізу.

Порівнюючи прогностні моделі на основі експоненційного згладжування (1) та гібридної моделі однорідної структури (2) не можна сказати яка модель є кращою. Прогноз ціни золота є кращим на основі (2) моделі ($m_{\text{ape}}=0,413$), а для курсу валютної пари EUR/USD навпаки (1) модель ($m_{\text{ape}}=0,322$).

ВИСНОВКИ

Для дослідження було обрано три інвестиційні інструменти, які належать до фінансових ринків: ринку дорогоцінних металів (золото), валютного ринку Forex (курс валютної пари EUR/USD) та новітнього ринку криптовалют (Біткоїн).

Комплексне застосування методів фрактального та статистичного аналізу дає змогу отримати нове знання щодо характеру та параметрів динаміки інвестиційних інструментів на фінансових ринках. Проведено статистичний та комплексний фрактальний аналіз обраних інвестиційних інструментів за період з січня 2012 р. по листопад 2019 р. Отже, можна зробити наступні висновки:

– для часових рядів Z та V характерно відсутність вираженого тренду, коливання навколо середніх значень, симетричність розподілу. Динаміка ж ЧР B різко відрізняється: тут присутній вагомий експоненціальний тренд, значна швидкість зростання, асиметрія та велика волатильність. Тобто, результати статистичного аналізу свідчать про різну природу динаміки розглянутих часових рядів;

– результати фрактального аналізу свідчать, що ЧР Z , V та B протягом всього періода дослідження з січня 2012 р. по листопад 2019 р. є персистентними, тобто мають довгострокову пам'ять. В результаті застосування методу послідовного R/S-аналізу були побудовані нечіткі множини глибини пам'яті для кожного часового ряду.

Таким чином, результати статистичного аналізу мають узагальнюючий характер і не можуть враховувати глибинну структуру і пам'ять часових рядів, зв'язки параметрів системи в часі та наявність нестійких траєкторій. Фрактальний аналіз же не може враховувати наявність трендів, швидкість збільшення чи зменшення ціни, волатильність. Це підкреслює важливість комплексного застосування методів фрактального та статистичного аналізу для глибокого та повного вивчення динаміки часових рядів.

Важливою для аналізу є не тільки ціни інвестиційних інструментів, а й прибутковість. Аналіз прибутковості показав, що даним часовим рядам притаманні характеристики закону нормального розподілу. Показник Херста свідчить про відсутність довгострокової пам'яті. Минулі значення не пов'язані з майбутніми та мають випадковий характер динаміки.

У зв'язку з цим було побудовано та досліджено сімейство ЧР з різним лагом. В результаті дослідження ЧР «відтермінованої» прибутковості встановлено, що характер динаміки прибутковості змінюється від стохастичного до персистентного в залежності від величини часового лагу та набуває характеристик притаманних «материнському» ЧР ціни. Але лаг для кожного часового ряду є різним. Найшвидше набуває персистентності часовий ряд P_B при величині лагу 14 днів.

Побудовано прогнози цін інвестиційних інструментів на базі нейронної мережі (реалізовано в програмному продукті Deductor), гібридної моделі однорідної структури та експоненційного згладжування (реалізовано в пакеті STATISTICA).

Для побудови нейронної мережі використовувались щомісячні дані, а для гібридної моделі однорідної структури та експоненційного згладжування – поденні. Однією з основних задач було застосування знань про глибину пам'яті для побудови прогнозів часових рядів.

Для прогнозної моделі нейронної мережі глибина пам'яті була використана при заданні її архітектури. Була висунута гіпотеза проте, що найкраща кількість вхідних нейронів дорівнює глибині пам'яті ЧР. Для підтвердження чи скасування цього припущення були побудовані прогнозні моделі нейронних мереж, що містять 3, 6, 9, 12 та 15 вхідних нейронів та оцінена їх точність. Висунута гіпотеза підтвержується.

Дане дослідження було проведено для двох ЧР ціни золота та курсу валютної пари EUR/USD. Точність прогнозів оцінена за допомогою двох похибок: RMSPE та MAPE. Точність отриманих прогнозів є високою. Похибки прогнозу для Біткоїна є високими, тому прогнозування на базі

нейронної мережі є не доречним. Це пояснюється тим, що динаміка ціни Біткоїна є погано прогнозованою.

Застосування глибини пам'яті також було використано для побудови прогнозу на основі гібридної моделі однорідної структури та експоненційного згладжування. Ці моделі застосовані до двох часових рядів: ціни золота та курсу валютної пари EUR/USD за період з квітня 2018 року по березень 2019 року.

Наступним кроком було порівняння точності кожної моделі в залежності від застосованого параметру часу. В ході наукового експерименту встановлено, що найкращі результати отримано при застосуванні параметру часу (кількість днів) з найбільшим значенням функції приналежності, розрахованої методом послідовного R/S-аналізу.

Отже, використання значення глибини пам'яті (застосування методу послідовного R/S-аналізу) дає змогу визначити найкращий параметр часу для моделей прогнозування. Це дозволяє покращити якість моделей, що має дуже вагомим практичне значення для прогнозування динаміки реальних економічних показників.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Пластун О. Л. Прогнозування фінансових ринків: сучасні концепції та нові підходи : монографія. Суми : ДВНЗ «УАБС НБУ», 2014. 401 с.
2. Школьник І. О. Фінансовий ринок України: сучасний стан і стратегія розвитку : монографія. Суми : ВВП «Мрія-1» ЛТД, УАБС НБУ, 2008. 348 с.
3. Ходаківська В. П., Беляєв В.В. Ринок фінансових послуг: теорія і практика : навч. посіб. Київ : ЦУЛ, 2002. 616 с.
4. Еш С. М. Фінансовий ринок : навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2009. 528 с.
5. Дема Д. І., Абрамова І. В., Недільська Л. В. Фінансовий ринок : навч. посіб. Житомир : ЖНАЕУ, 2017. 448 с.
6. Про затвердження Положення (стандарту) бухгалтерського обліку 13 «Фінансові інструменти»: Наказ Міністерства фінансів України від 30.11.2001 р. № 559. Дата оновлення: 09.08.2013. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1050-01> (дата звернення: 10.09.2019).
7. Пухальська А.П., Коротаєва О.В. Аналіз кон'юктури тенденцій сучасного розвитку ринку золота. *Вісник Запорізького національного університету*. Запоріжжя, 2014. № 2. С. 217–225.
8. Золотой запас стран мира в 2019 году. URL: http://gold-silver.com.ua/gold/gold_reserves_of_the_world.html (дата звернення: 13.09.2019).
9. Gold Demand Trends Q3 2019. URL: <https://www.gold.org/goldhub/research/gold-demand-trends/gold-demand-trends-q3-2019> (дата звернення: 15.09.2019).
10. Про державне регулювання видобутку, виробництва і використання дорогоцінних металів і дорогоцінного каміння та контроль за операціями з ними : Закон України від 08.11.1997 р. № 637/97-ВР. Дата оновлення: 28.12.2015. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/637/97-вр> (дата звернення: 17.09.2019).

11. Золотовалютні резерви України. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/finance/assets/2019/> (дата звернення: 20.09.2019).
12. Савлук М. І., Мороз А. М., Пуховкіна М. Ф. Гроші та кредит : підручник. Київ : КНЕУ, 2012. 598 с.
13. Популярні пари на Форекс. URL: <https://forexblog.biz.ua/populyarni-pary-na-foreks/> (дата звернення: 22.09.2019).
14. Crypto Currency. URL: <https://www.forbes.com> (дата звернення: 25.09.2019).
15. Манькова А. О. Криптовалюта: биткоин и его развитие в современной экономике. *Электронный научно-практический журнал «Молодежный научный вестник» Дальневосточного федерального университета*. Владивосток, 2016. № 2. С. 80–86.
16. Клименко В. В., Акімова Л. М., Докієнко Л. М. Фінансовий ринок : навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2015. 358 с.
17. Гриньова В. М. Інвестування : підручник. Київ : Знання, 2008. 458 с.
18. Петерс Э. Хаос и порядок на рынках капитала. Новый аналитический взгляд на циклы, цены и изменчивость рынка. Москва : Мир, 2000. 333 с.
19. Максишко Н. К., Перепелица В. А. Анализ и прогнозирование эволюции экономических систем : монография. Запорожье : Полиграф, 2006. 248 с.
20. Кузнецов Б. Л. Синергетический рынок – реальность XXI века. URL: <http://ec-sinergetika.ru/library/> (дата звернення: 03.10.2019).
21. Яновский Л. П. Теория и практическое использование гипотезы когерентных рынков на основе модели Веге-Изинга. URL: <http://www.gsom.spbu.ru/files/upload/niim/publishing/papers/2007/Yanovskiy.pdf> (дата звернення: 05.10.2019).
22. Максишко Н. К. Моделювання економіки методами дискретної нелінійної динаміки : монографія. Запоріжжя : Поліграф, 2009. 416 с.

23. Чеверда С. С., Максишко Н. К. Комбінований метод прогнозування світової ціни на нафту. *Вісник Східноукраїнського університету ім. Володимира Даля*. 2012. № 2 (173). С. 26–32.

24. Максишко Н. К., Біленко В. О. Аналіз та прогнозування: сучасні концепції в дослідженні динаміки ціни на ринку нерухомості : монографія. Запоріжжя : Поліграф, 2017. 235 с.

25. Кузнецов Б. Л., Кузнецова С. Б. Теория синергетического рынка. Наб. Челны : Изд. КамПИ, 2006. 71 с.

26. Економічна енциклопедія / редкол.: С. В. Мочерний та ін. Київ. : Видавничий центр «Академія», 2000. Т. 1. 864 с.

27. Льюис К. Д. Методы прогнозирования экономических показателей. Москва : Финансы и статистика, 1986. 136 с.

28. Котлер Ф. Хаотика: управління та маркетинг в епоху турбулентності. Київ : Хімджест, ПЛАСКЕ. 2009. 208 с.

29. Сергеева Л. Н., Перепелица Л. Н., Максишко Н. К. Современные методы анализа экономических временных рядов и построения прогнозных моделей. *Економічна кібернетика*. 2005. С. 73–79.

30. Айвазян С. А., Мхитарян В. С. Прикладная статистика. Основы эконометрики. Москва : ЮНИТИ, 2001. 1002 с.

31. Геєць В. М., Клебанова Т. С., Черняк О. І. Моделі і методи соціально-економічного прогнозування : підручник. Харків : ВД «ІНЖЕК», 2008. 396 с.

32. Kirchgassner G. Introduction to Modern Time Series Analysis. Springer Berlin Heidelberg New York, 2007. 274 p.

33. Максишко Н. К. Оцінювання системних характеристик економічної динаміки на базі результатів комплексного фрактального аналізу. *Вісник Запорізького національного університету* : збірник наукових статей. Економічні науки. 2011. №2(10). С. 119–130.

34. Максишко Н. К., Чеверда С. С. Аналіз прогнозованості динаміки світових цін на нафту та природній газ. *Вісник Запорізького національного*

університету : збірник. наукових статей. Економічні науки. 2010. №2(6). С.122–129.

35. Максишко Н. К., Чеверда С. С. Система комплексної комп'ютерної підтримки аналізу та прогнозування економічної динаміки. *Моделювання та інформаційні системи в економіці* : зб. наук. праць. 2010. Вип. 81. С.74–88.

36. Максишко Н. К. Дослідження динаміки світової ціни на золото засобами фрактального аналізу. *Моделювання регіональної економіки*. 2008. № 2(12). С.150–159.

37. Максишко Н. К. Анализ и прогнозирование эволюции экономических систем : монография. Запорожье : Полиграф, 2006. 248 с.

38. Клебанова Т. С., Курзенев В. А., Наумов В. М. Прогнозування соціально-економічних процесів : навчальний посібник для студентів напряму підготовки 6.030502 «Економічна кібернетика» денної форми навчання. Х. : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2015. 656 с.

39. Любунь З. М. Основи теорії нейромереж : конспект лекцій Львів : Вид. центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2006. 140 с.

40. Новотарський М.А., Нестеренко Б.Б. Штучні нейронні мережі: обчислення. Київ : Ін-т математики НАН України, 2004. 408 с.

41. Кононюк А. Ю. Нейронні мережі і генетичні алгоритми. Київ : «Корнійчук», 2008. 446 с.

42. The London Bullion Market Association. URL: <http://www.lbma.org.uk> (дата звернення: 30.11.2019).

43. Максишко Н. К. Гібридна прогнозна модель на базі інструментарію дискретної нелінійної динаміки : монографія. *Прогнозування соціально-економічних процесів: сучасні підходи та перспективи*. Бердянськ, 2011. С. 158–175.

44. Васильєва О. В., Басова Д. О., Максишко Н. К. Прогнозування прибутковості ціни на золото з урахуванням глибини пам'яті часового ряду. *Управління соціально-економічним розвитком держави та регіонів* : зб.

матеріалів XII Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Запоріжжя, 26-27 квіт. 2018 р.). Запоріжжя : ЗНУ, 2018. С. 288-289.

45. Максишко Н. К., Чеверда С. С., Васильєва О. В., Басова Д. О. Порівняльний аналіз якості прогнозних моделей динаміки фінансових інструментів з урахуванням глибини пам'яті. *Актуальні проблеми прогнозування розвитку соціально-економічних систем* : монографія / за ред. О.І. Черняка, П.В. Захарченка. Мелітополь : Вид. буд. Мелітопольської міської друкарні, 2019. Підрозд. 1.11. С.127-133.

46. Максишко Н. К., Басова Д. О. Дослідження особливостей динаміки ціни на золото як об'єкта інвестиційної діяльності. *Управління соціально-економічним розвитком регіонів та держави* : зб. матеріалів XI Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Запоріжжя, 13-14 квіт. 2017 р.). Запоріжжя : ЗНУ, 2017. С. 323-325.

47. Васильєва О. В., Басова Д. О. Аналіз динаміки ціни біткоїн: інвестиційний аспект. *Виклики та перспективи розвитку нової економіки на світовому, державному та регіональному рівнях* : зб. матеріалів XII Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Запоріжжя, 26-27 жовт. 2017 р.). Запоріжжя : ЗНУ, 2017. С. 335-337.

48. Максишко Н. К., Васильєва О. В., Басова Д. О. Прогнозування цін інвестиційного інструменту з урахуванням глибини пам'яті часового ряду. *Виклики та перспективи розвитку нової економіки на світовому, державному та регіональному рівнях* : зб. матеріалів XIV Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Запоріжжя, 07-08 лист. 2019 р.). Запоріжжя : ЗНУ, 2019. С. 289-291.

49. Басова Д. О., Васильєва О. В., Максишко Н. К. Аналіз ринку золота як сегменту інвестиційного ринку. *Моделювання економіки: проблеми, тенденції, досвід* : тези допов. VIII Міжнар. наук.-метод. конф. форуму молодих економістів-кібернетиків (м. Львів, 28-29 верес. 2017 р.). Львів: Вид. центр ЛНУ ім. І. Франка, 2017. С. 137-139.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Вхідні дані для дослідження

Таблиця А.1 – Щомісячні ціни часових рядів за період з 02.01.2012 по 30.11.2019 [42]

Період	Z	V	B	Період	Z	V	B
1	1737,80	1,31	5,50	37	1336,60	1,13	218,50
2	1709,90	1,33	4,90	38	1278,40	1,12	254,10
3	1669,30	1,33	4,90	39	1241,20	1,07	244,10
4	1663,40	1,32	4,90	40	1242,00	1,12	235,80
5	1562,60	1,24	5,20	41	1251,70	1,10	229,80
6	1603,50	1,27	6,70	42	1241,80	1,11	264,10
7	1610,50	1,23	9,40	43	1154,10	1,10	283,70
8	1684,60	1,26	10,20	44	1187,90	1,12	229,50
9	1771,10	1,29	12,40	45	1158,40	1,12	235,90
10	1717,50	1,30	11,20	46	1176,80	1,10	311,20
11	1710,90	1,30	12,60	47	1105,90	1,06	378,00
12	1674,80	1,32	13,50	48	1103,40	1,09	430,00
13	1660,60	1,36	20,40	49	1146,20	1,08	369,80
14	1577,70	1,31	33,40	50	1260,00	1,09	436,20
15	1594,80	1,28	93,00	51	1267,60	1,14	415,70
16	1472,20	1,32	139,20	52	1327,70	1,15	448,50
17	1392,60	1,30	128,80	53	1258,60	1,11	528,90
18	1374,90	1,30	97,50	54	1363,90	1,11	670,00
19	1468,60	1,33	106,20	55	1401,80	1,12	621,90
20	1573,00	1,32	141,00	56	1354,00	1,12	573,90
21	1485,40	1,35	141,90	57	1359,30	1,12	608,10
22	1453,90	1,36	211,20	58	1319,30	1,10	698,70
23	1377,20	1,36	1205,70	59	1223,20	1,06	742,50
24	1367,40	1,37	805,90	60	1212,20	1,05	963,40
25	1398,90	1,35	938,80	61	1269,50	1,08	965,50
26	1473,00	1,38	573,90	62	1312,00	1,06	1189,30
27	1433,80	1,38	444,70	63	1307,50	1,07	1079,10
28	1431,80	1,39	445,60	64	1324,20	1,09	1351,90
29	1368,90	1,36	627,90	65	1325,60	1,12	2303,30
30	1445,10	1,37	635,10	66	1291,70	1,14	2480,60
31	1411,50	1,34	589,50	67	1317,20	1,18	2883,30
32	1410,60	1,31	481,80	68	1365,60	1,19	4735,10
33	1336,70	1,26	388,20	69	1333,20	1,18	4360,60
34	1265,90	1,25	337,90	70	1320,60	1,16	6451,20
35	1261,20	1,25	374,90	71	1328,00	1,19	9946,80
36	1265,40	1,21	318,20	72	1362,60	1,20	13850,40

Продовження таблиці А.1

Період	Z	V	B
73	1401,70	1,24	10265,40
74	1380,80	1,22	10333,90
75	1384,90	1,23	6938,20
76	1377,80	1,21	9245,10
77	1355,90	1,17	7502,60
78	1303,90	1,17	6398,90
79	1270,10	1,17	7729,40
80	1241,10	1,16	7033,80
81	1231,30	1,16	6635,20
82	1250,80	1,13	6365,90
83	1256,50	1,13	4039,70
84	1312,50	1,15	3709,40
85	1350,00	1,14	3437,20
86	1341,00	1,14	3816,60
87	1316,50	1,12	4102,30
88	1303,60	1,12	5320,80
89	1322,60	1,12	8558,30
90	1425,10	1,14	10818,60
91	1437,80	1,11	10082,00
92	1535,70	1,10	9594,40
93	1479,60	1,09	8284,30
94	1521,80	1,12	9152,60
95	1472,70	1,10	7546,60

ДОДАТОК Б

Нечітка множина глибини пам'яті часових рядів

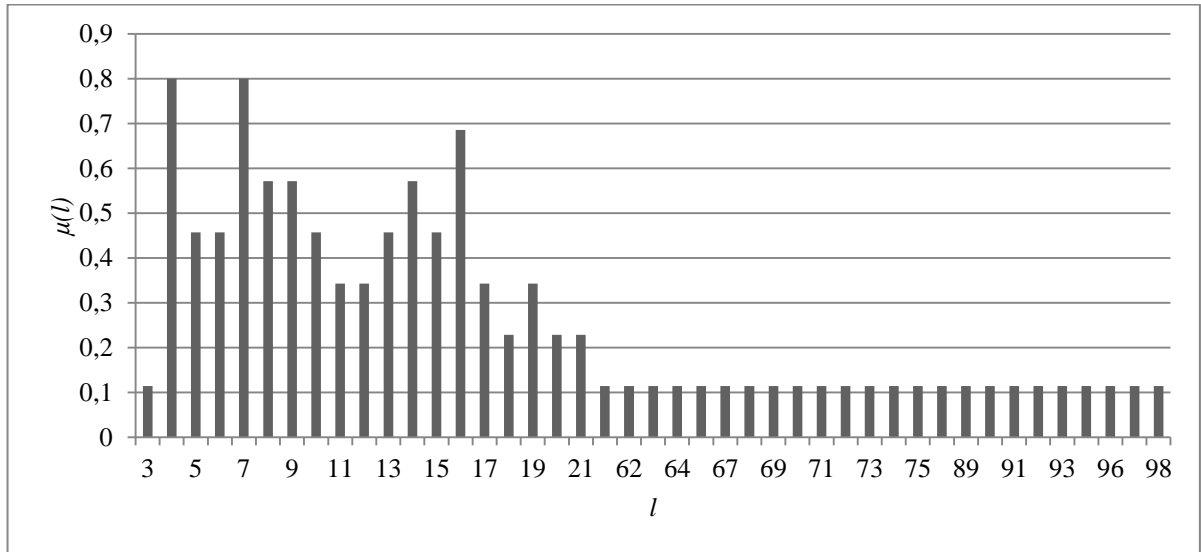


Рисунок Б.1 – ЧР золота

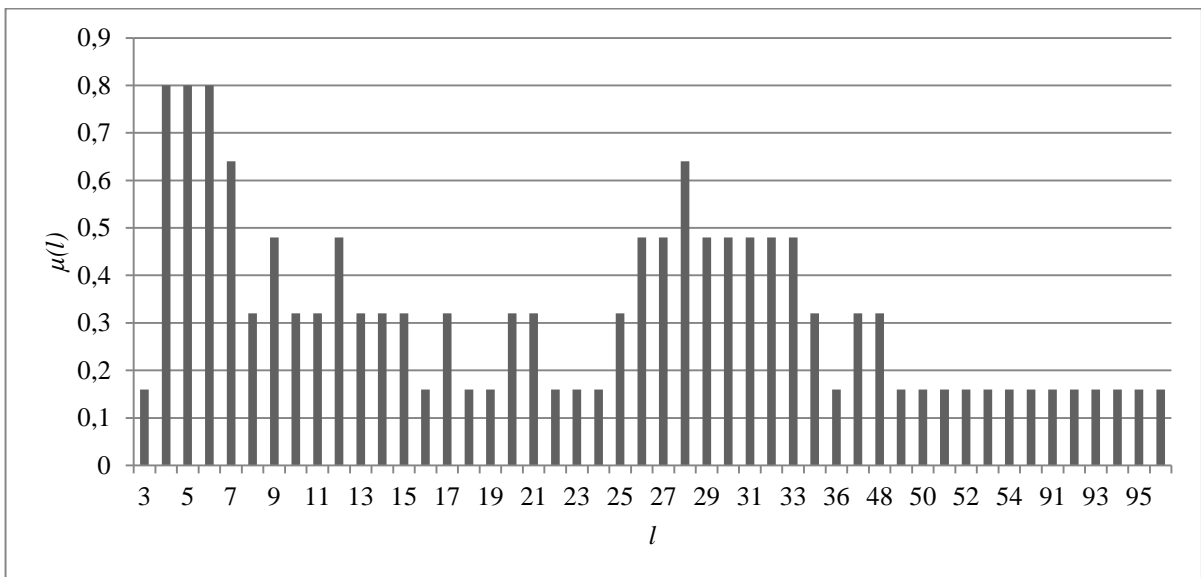


Рисунок Б.2 – ЧР курсу валютної пари EUR/USD

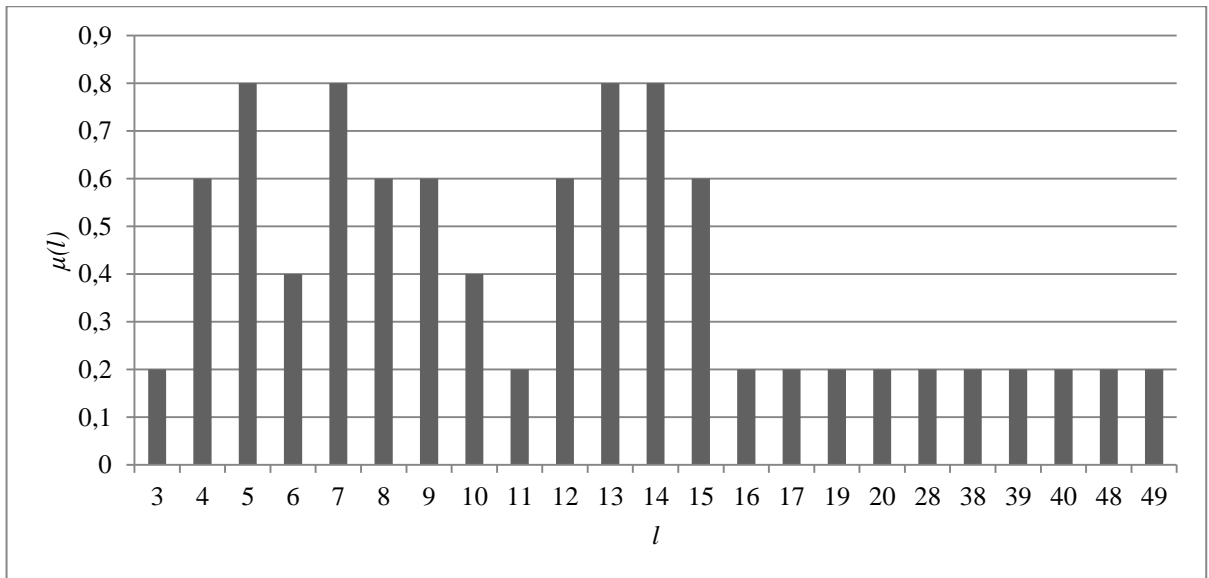


Рисунок Б.3 – ЧР Біткоїн

ДОДАТОК В

Прогноз ціни золота з грудня 2018 р. по листопад 2019 р. на базі нейронної мережі з варіюванням кількості вхідних нейронів

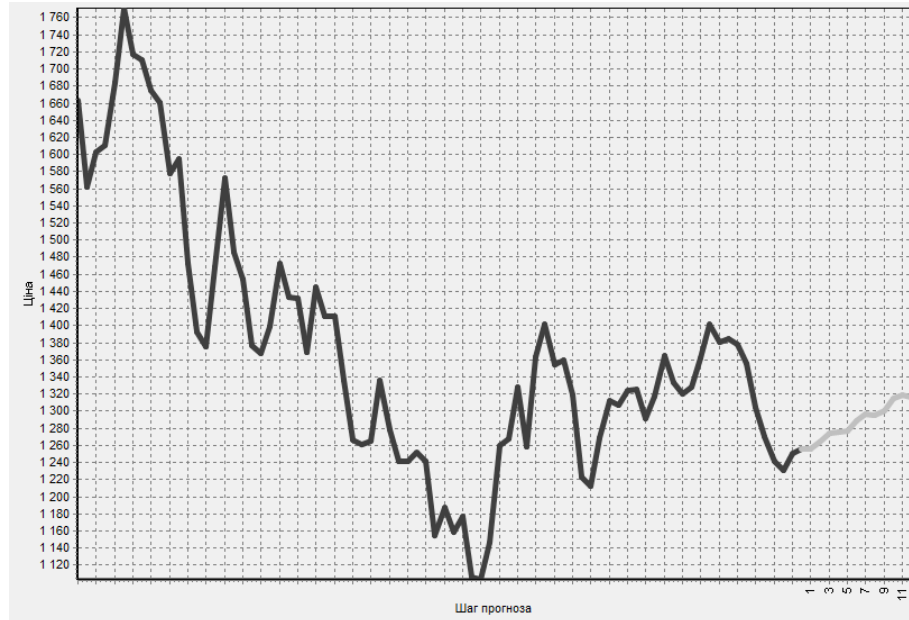


Рисунок В.1 – Прогнозна модель із 3-ма вхідними нейронами

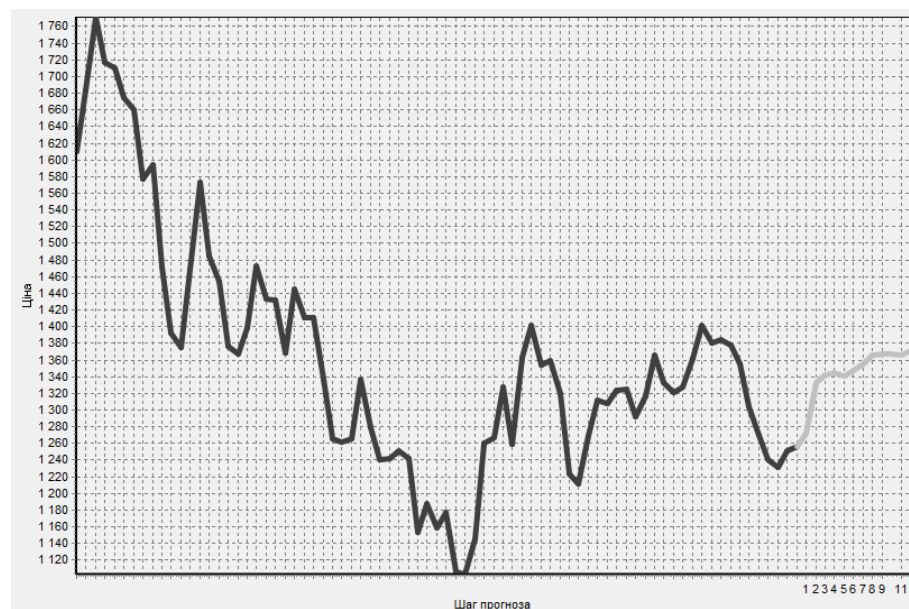


Рисунок В.2 – Прогнозна модель із 6-ма вхідними нейронами

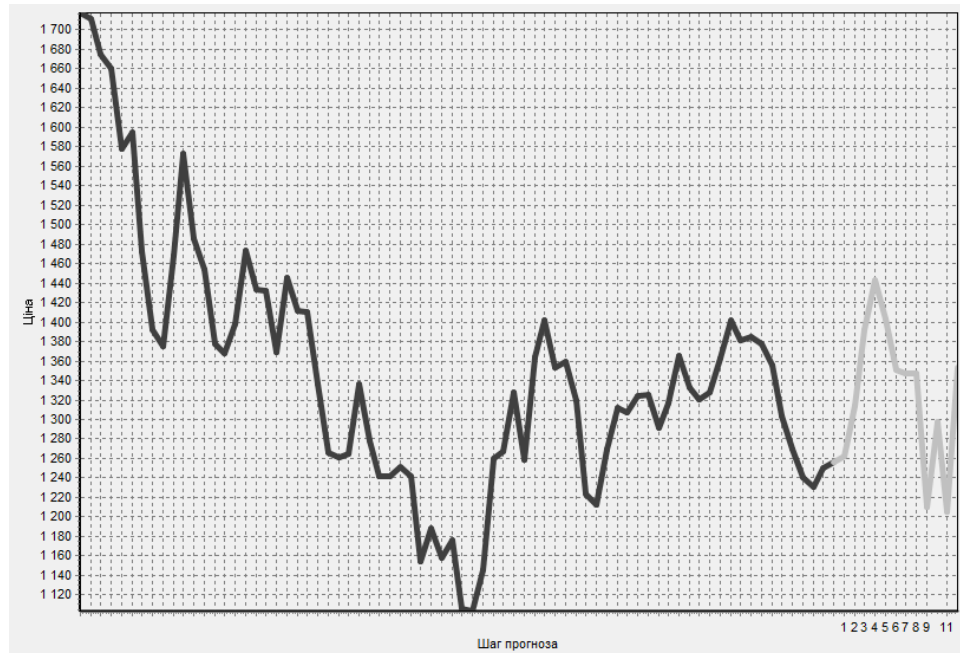


Рисунок В.3 – Прогнозна модель із 9-ма вхідними нейронами

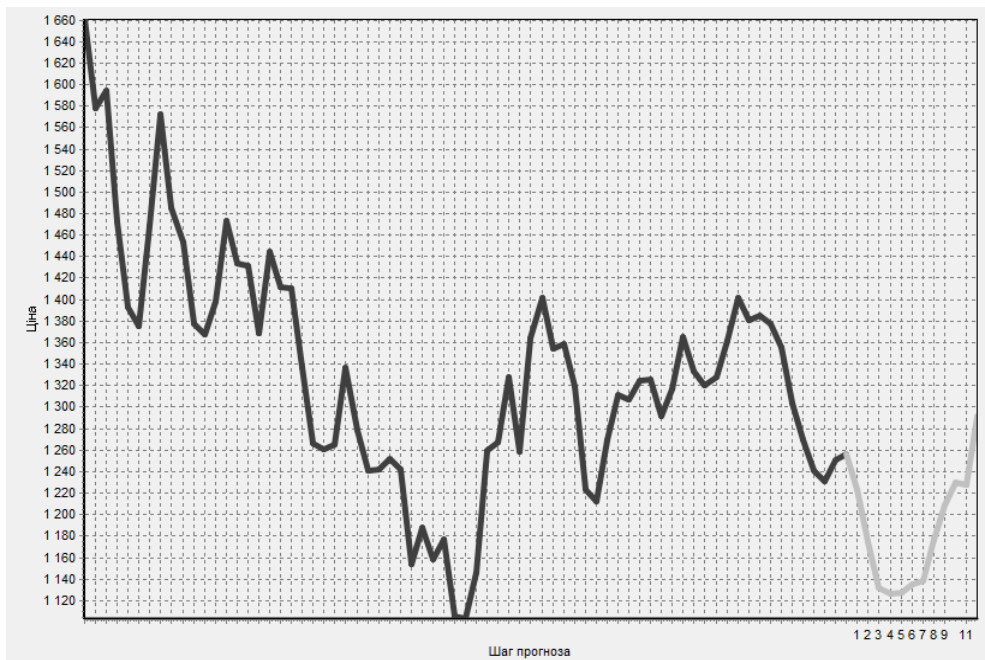


Рисунок В.4 – Прогнозна модель із 12-ма вхідними нейронами

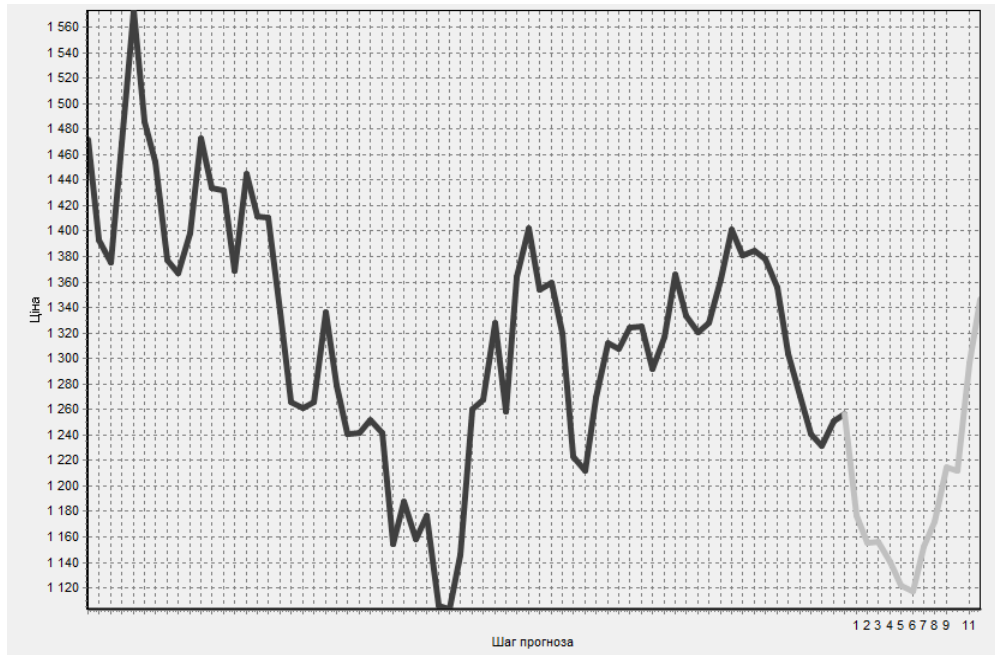


Рисунок В.5 – Прогнозна модель із 15-ма вхідними нейронами

ДОДАТОК Г

Прогноз курсу валютної пари EUR/USD з грудня 2018 р. по листопад 2019 р.
на базі нейронної мережі з варіюванням кількості вхідних нейронів

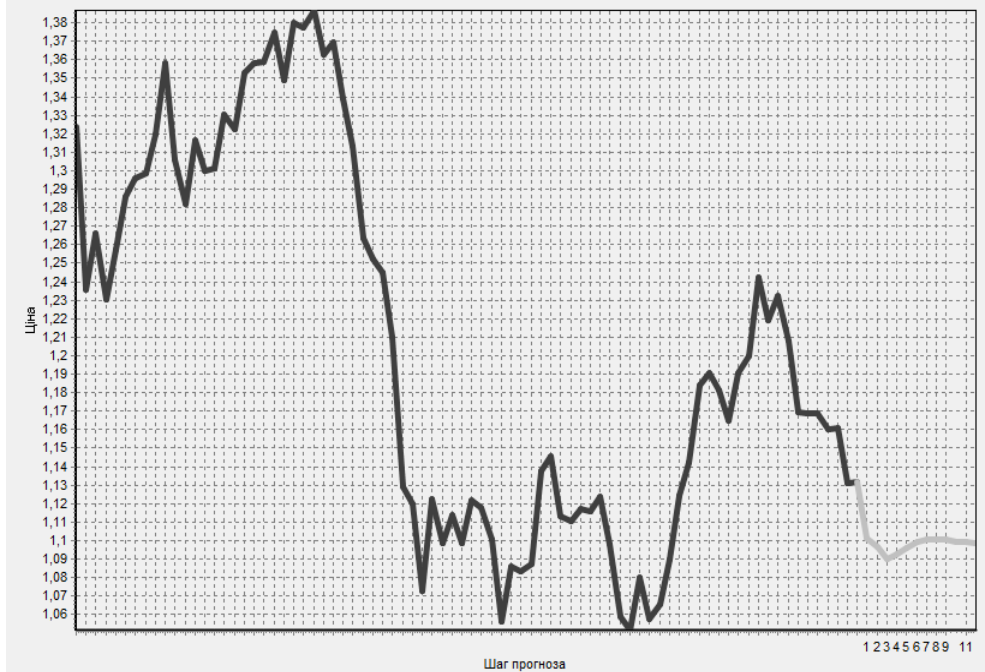


Рисунок Г.1 – Прогнозна модель із 3-ма вхідними нейронами

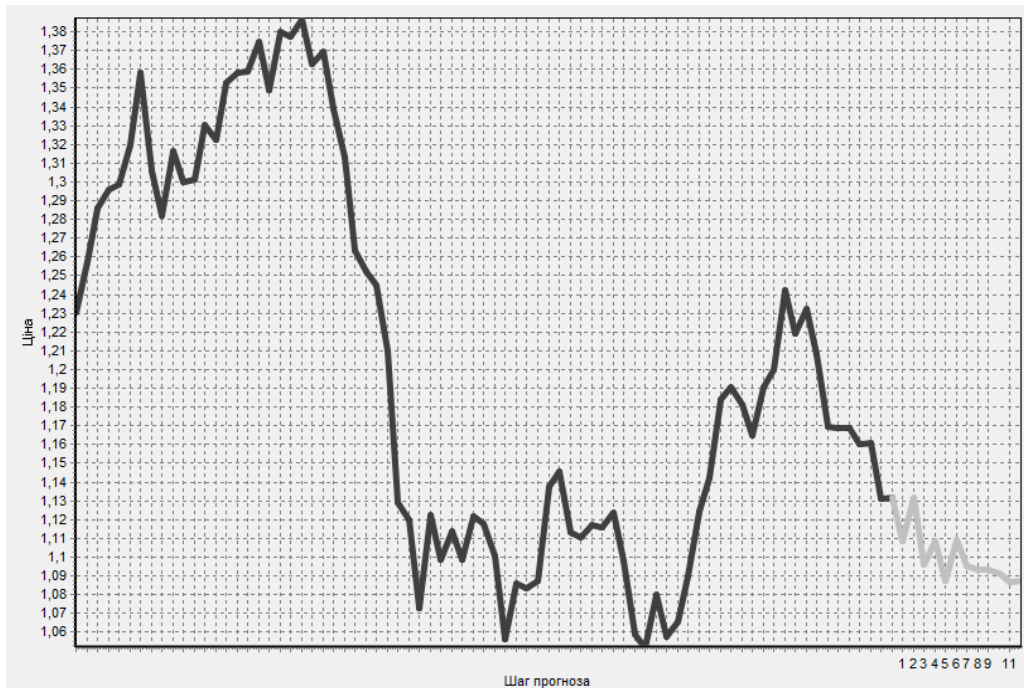


Рисунок Г.2 – Прогнозна модель із 6-ма вхідними нейронами

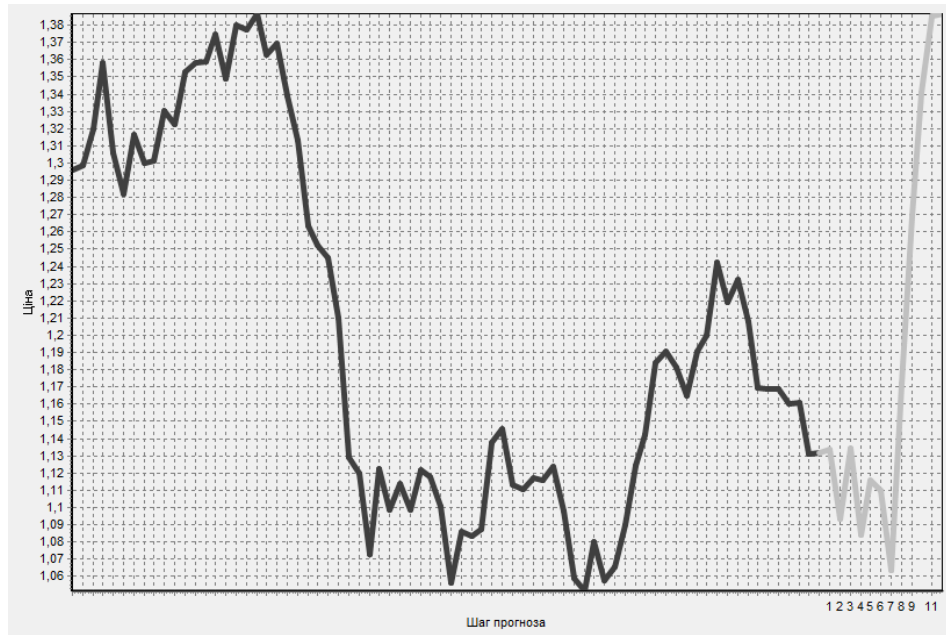


Рисунок Г.3 – Прогнозна модель із 9-ма вхідними нейронами



Рисунок Г.4 – Прогнозна модель із 12-ма вхідними нейронами



Рисунок Г.5 – Прогнозна модель із 15-ма вхідними нейронами