ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД

«КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИЕТ ІМЕНІ ВАДИМА ГЕТЬМАНА» МОН УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД

«КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИЕТ ІМЕНІ ВАДИМА ГЕТЬМАНА» МОН УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису

**Даценко Наталія Володимирівна**

УДК 519.868:[336.741:004.738.5]](043.3)

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**СИСТЕМА МОДЕЛЕЙ ОЦІНЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ФІНАНСОВИХ ІНСТРУМЕНТІВ (НА ПРИКЛАДІ**

**КРИПТОВАЛЮТ)**

Спеціальність 08.00.11 – Математичні методи, моделі та інформаційні технології в економіці

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата економічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Н. В.Даценко

Науковий керівник: Коляда Юрій Васильович, кандидат технічних наук, доцент

Київ – 2019

**ЗМІСТ**

[**ВСТУП** 16](#_TOC_250008)

**РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ**

**ДОСЛІДЖЕННЯ РИНКУ КРИПТОВАЛЮТ** 25

* 1. Передумови виникнення криптовалюти як інноваційного

фінансового інструменту цифрової економіки 25

* 1. [Криптовалюта: визначення, технологічна та економічна сутність, класифікація 42](#_TOC_250007)
  2. Огляд модельного інструментарію аналізу та прогнозування

динаміки криптовалют 53

* 1. Концептуальні положення щодо проведення оцінювання та

прогнозування динаміки криптовалют 73

[Висновки до розділу 1 78](#_TOC_250006)

**РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА СИСТЕМИ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ОЦІНЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ДИНАМІКИ**

**КРИПТОВАЛЮТ** 81

* 1. Комплексна оцінка фінансових часових рядів на основі

статистичного та фрактального аналізу 81

* 1. Авторегресійні дерева рішень як інструмент прогнозування

котировок криптовалют 94

* 1. Моделювання часових рядів динаміки криптовалют на базі

фрактальної теорії 114

[Висновки до розділу 2 122](#_TOC_250005)

**РОЗДІЛ 3. ПРИКЛАДНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ МОДЕЛЕЙ**

**ОЦІНКИ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ КРИПТОВАЛЮТ** 124

* 1. Інформаційне забезпечення комплексу моделей із застосуванням

хмарних технологій 124

* 1. Моніторинг та ідентифікація властивостей інноваційних

фінансових інструментів крипторинку 138

* 1. [Оцінювання прогностичних властивостей моделей 158](#_TOC_250004)

[Висновки до розділу 3 175](#_TOC_250003)

[**ВИСНОВКИ** 177](#_TOC_250002)

[**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ** 179](#_TOC_250001)

[**ДОДАТКИ** 197](#_TOC_250000)

**ВСТУП**

**Актуальність теми.** На сьогоднішній день зростання обсягів світової торгівлі, широке впровадження інформаційних технологій, активне використання інтернету та електронних платежів, пластикових карт та електронного підпису створили передумови для переходу світової економіки у якісно новий стан  «*цифрової економіки*»  *економіки, що базується на цифрових комп’ютерних технологіях.*

Разом з тим, слід відзначити, що у цифровій економіці на перше місце виходять переважно не товари, а послуги, в тому числі послуги віртуального характеру, зокрема, пов'язані з інтелектуальною власністю, які існують виключно в процесі використання комп'ютерних програм. Серед усього різноманіття технологій цифрової економіки, що розвиваються прискореними темпами, особливе місце займають інноваційні цифрові технології у фінансовій сфері.

Необхідність надійного інформаційного забезпечення проведення фінансових операцій (транзакцій) та взаємних платежів привела до швидкого розвитку та широкого впровадження технології *блокчейн*, на платформі якої у 2009 році було розроблено та запроваджено в обіг першу криптографічну валюту  *біткойн* (Bitcoin, BTC).

На початку 2000-х років було остаточно сформовано технологічний базис для реалізації цифрових грошей: цей процес тривав більше 40 років в галузі криптографії та 20 років розробки концепції віртуальних грошей різними дослідниками та ентузіастами.

У ці ж роки стрімко удосконалювались засоби зв’язку та інформаційні мережі, на базі яких фінансова сфера отримала можливості перейти до нової ланки глобалізації та свідомої самодостатності, що призвело до нових можливостей в галузі інвестування та кредитування. Завдяки застосуванню сучасних ІТ стало можливим також практично миттєво переводити величезні капітали з одного регіону в інший та призвело до значних спекуляцій на фондових та валютних біржах.

З іншого боку, розробка та застосування цифрових валют істотно стимулювалася не тільки поточними, але і довгостроковими проблемами сучасної фінансової системи. Світова фінансова криза 2008 року найбільш гостро виявила її суперечності, зокрема, підвищення регулюючої ролі центральних банків, збільшення емісій грошових коштів і загального зниження стабільності економіки.

Окрім цього, існуюча система грошових переказів застаріла і явно потребувала новаторських ідей: світові гроші стали в недостатній мірі виконувати одну зі своїх основних функцій  бути ефективними засобами платежу та заощадження.

В економічній науці активні теоретичні та прикладні наукові дослідження криптовалют розпочалися в останнє десятиріччя, тому питання щодо їх економічної сутності та функцій, класифікації та таксономії, сфер використання, економіко-математичного моделювання та перспектив розвитку

є новими та потребують подальшого розроблення.

Вивченню економічної сутності, особливостей розвитку та функціонування криптовалют присвячені праці таких зарубіжних вчених як В. Бауер, П. Вінья, М. Кейсі, С. Корбет, Н. Попер, К. Рогофф, М. Свон, П. Томас, Г. Хілемана, А. Фомін та інших. Інстуціональним проблемам становлення, перспективам розвитку та ризикам впровадження криптовалют приділено увагу в роботах вітчизняних вчених, зокрема, С. Аржевітіна, О. Береславської, А. Гриценка, М. Диби, Т. Єфименко, Т. Меркулової, М. Савлука, Е. Молчанової, Ю. Солодковського тощо.

Стрімкі коливання курсової вартості та рівня капіталізації провідних криптовалют за останні кілька років, з одного боку, та невизначеність щодо їх правового статусу у більшості країн світу, з іншого, призвели до гострих дискусій щодо доцільності їх застосування в якості інвестиційних активів чи платіжних засобів.

З прикладної точки зору ці питання пов’язані, зокрема, із можливістю та ефективністю оцінювання ступеня ризикованості інвестування у криптоактиви на підставі прогнозування їх курсової вартості, потенційного обсягу капіталізації, рівня волатильності тощо.

Дослідженню теоретичних та прикладних аспектів моделювання та прогнозування інноваційних фінансових інструментів присвячено наукові праці В. Вітлінського, Г. Данильчук В. Галіцина, В. Геєця, П. Грицюка, І. Лук’яненко, Н. Максишко, А. Матвійчука, В. Соловйова, О.Суслова, О. Черняка та інших.

Роботи цих авторів а також фундаментальні праці в галузі аналізу часових рядів: Бокса, Дженкінса, Грейджера; фрактального аналізу: Мандельброта, Петерса; ентропійного аналізу: Грасбергера та Прокаччі; машинного навчання: Бреймана, Чепмана склали методологічну основу дисертаційного дослідження.

Але проведений нами аналіз літературних джерел свідчить, що питанням моделювання ринку криптовалют в науковій літературі приділено значно менше уваги, ніж дослідженню інших фінансових інструментів.

При цьому серед науковців нема одностайної думки щодо фундаментальної цінності криптовалют. Аналіз останніх теоретичних та прикладних досліджень свідчить, що домінуючою є теза про те, що курсова вартість криптовалют визначається переважно співвідношенням попиту та пропозиції. На цінову динаміку криптовалют впливають багато латентних факторів, при цьому ключові фактори або драйвери, ще недостатньо вивчені та ідентифіковані.

Окрім цього, часові ряди переважної більшості криптовалют характеризуються високим ступенем волатильності, нестаціонарністю та негаусівськими законами розподілу.

Тому застосування традиційних методів прогнозування, що ґрунтуються на використанні казуальних моделей, побудованих в рамках певної теоретичної концепції, або класичних моделей часових рядів виявилось малоефективним.

Отже, для вирішення завдання прогнозування та оцінювання криптовалют необхідне розроблення адекватного економіко-математичного інструментарію, якій, на наш погляд, має ґрунтуватись на синтезі класичних та сучасних методів обробки часових рядів, фрактальному аналізі та моделях штучного інтелекту, зокрема, технології машинного навчання.

Це обумовило наукову спрямованість та вибір теми дисертаційного дослідження, його головної мети та методів дослідження, поставлених та вирішених в роботі завдань.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дисертаційна робота виконана згідно з планом наукових досліджень кафедри економіко-математичного моделювання ДВНЗ «Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана» в процесі розроблення комплексних тем «Математичне моделювання економічних систем і процесів в умовах невизначеності та конфлікту: проблеми теорії та практики» ( державний реєстраційний номер 0106U001804), «Методологія та інструментарій моделювання економічних процесів з урахуванням ризику» ( державний реєстраційний номер 0111U002615) і «Розвиток методології та інструментарію моделювання економічних систем у контексті підвищення економічної безпеки» (державний реєстраційний номер 0116U001428). У межах даних тем особисто автором було розроблено комплекс моделей для оцінювання та прогнозування інноваційних фінансових інструментів (на прикладі криптовалют).

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є розвиток теоретичного

підґрунтя застосування економіко-математичних методів та моделей оцінювання статистичних властивостей та прогнозування курсової вартості криптовалют, розробці на цій основі практичних рекомендацій щодо використання криптовалют як ефективного фінансового інструменту у сучасній цифровій економіці.

Досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі передбачає вирішення таких ***завдань***:

* дослідити економічні, правові, технологічні особливості криптовалют і на їх основі розробити таксономію з метою оцінки їх потенційної можливості впровадження як фінансового інструменту;
* розробити концептуальну схему аналізу та прогнозування інноваційних фінансових інструментів на підґрунті стандарту організації інтелектуального аналізу даних CRISP-DM ;
* оцінити статистичні характеристики часових рядів криптовалют для визначення їх властивостей, законів розподілу і порівняння з класичними фінансовими інструментами;
* побудувати систему економіко-математичних моделей короткострокового прогнозування курсової вартості криптовалют на основі фрактального аналізу їх часових рядів;
* розробити адаптивну математичну модель прогнозування динаміки поведінки цін криптовалют, яка дозволяє здійснювати апроксимацію фазового простору вхідних лагових змінних для різних динамічних режимів;
* визначити числову оцінку горизонту прогнозу криптовалют з використанням фрактального аналізу та *V-*статистики;
* провести модельні обчислювальні експерименти відповідно до запропонованої концептуальної схеми аналізу та прогнозування динаміки криптовалют і класичних фінансових інструментів;
* здійснити порівняльний аналіз практичного застосування розробленого автором гнучкого комплексу економіко-математичних моделей часових рядів криптовалют для вдосконалення результатів прогнозування.

*Об’єктом дослідження* є криптовалюти як інноваційний фінансовий інструмент.

*Предметом дослідження* є концептуальні положення та інструментарій економіко-математичного моделювання оцінювання та прогнозування динаміки часових рядів криптовалют.

*Методи дослідження*. Для вирішення поставлених у роботі завдань використовувались загальнонаукові методи, фундаментальні положення зарубіжної та вітчизняної науки у сфері фінансових інвестицій та інновацій, системний підхід, які дозволили критично осмислити економічну сутність криптовалют та їх роль у становленні сучасної цифрової економіки (розділ 1).

Для вивчення властивостей часових рядів криптовалют використовувались як класичні методи економіко-математичного моделювання та прикладної статистики (розділ 2.1), так і сучасні методи дерев регресій та класифікацій (розділ 2.2), фрактального та ентропійного аналізу ( розділ 2.3).

Для програмної реалізації наукового дослідження були використані сучасні інформаційні технології, методи інтелектуального аналізу даних та машинного навчання з використанням MS Azure ML Studio, Power BI, R-Studio (розділ 3).

Інформаційну базу дослідження становили: офіційні дані світових фондових бірж; фактичні матеріали, що містяться в монографічних дослідженнях, статтях вітчизняних і зарубіжних учених; довідкова інформація з фахових видань, у тому числі розміщених на сервісах мережі Інтернет: [https://www.coinmarketcap.com,](http://www.coinmarketcap.com/) https://finance.yahoo.com.

**Наукова новизна одержаних результатів.** В дисертаційній роботі розроблено та обґрунтовано концептуальні положення та гнучкий комплекс економіко-математичних моделей оцінювання та прогнозування інноваційних фінансових інструментів на прикладі криптовалют, застосування яких дає змогу трейдерам та інвесторам з різними інвестиційними горизонтами розробляти більш ефективні торгові стратегії на крипторинку, а саме

*вперше:*

* розроблено методологічні положення до оцінювання, моделювання та прогнозування динаміки цін криптовалют на основі моделі бінарного авторегресійного дерева (Binary Auto Regressive Tree, BART), що дозволяє здійснювати кусково-лінійну апроксимацію фазового простору вхідних лагових змінних та будувати систему авторегресійних моделей для кожного сегменту досліджуваних часових рядів;

*удосконалено:*

* теоретичну базу поняття «криптовалюти» як інноваційного фінансового інструменту фінансового ринку, яка ґрунтується на запропонованому авторському підході до їх класифікації та таксономії на основі технологічних та криптографічних особливостей;
* концептуальну схему дослідження інноваційних фінансових інструментів, яка розроблена на основі міжгалузевого стандарту організації інтелектуального аналізу даних CRISP-DM, що є документованим та вільно розповсюдженим базисом опису основних фаз, виконання яких дозволяє розробникам отримати синергетичний ефект від використання методів інтелектуального аналізу даних, математичного та комп’ютерного моделювання;
* методологічні положення визначення законів розподілу котировок криптовалют з використанням методу максимальної правдоподібності на основі імітаційного моделювання, що дозволяє здійснювати вибір адекватного математичного інструментарію для їх прогнозування;
* теоретичні та прикладні аспекти застосування методів і алгоритмів машинного навчання, які виявляються більш ефективними для задач прогнозування динаміки фінансових часових рядів, зокрема, криптовалют;

*дістали подальшого розвитку*:

* методика оцінювання горизонту прогнозу та врахування ефекту наявності довгочасових кореляцій у досліджуваних часових рядах з використанням методів фрактального аналізу та дробово-інтегрованих авторегресійних моделей ARFIMA;
* методи оцінювання прогностичних властивостей побудованих моделей часових рядів криптовалют, що дозволяють підвищити результати прогнозування, а отже – підвищити якість інвестиційних рішень.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в тому, що розроблені в роботі методи та моделі дозволяють здійснювати короткостроковий прогноз курсової вартості криптовалют у реальному часі як для періодів повільної зміни динаміки, так і для періодів турбулентності та стрімкої зміни трендів, оцінювати їх прибутковість та ризикованість інвестицій, що є підґрунтям для розробки ефективних інвестиційних стратегій. Окремі положення, висновки та рекомендації дисертації впроваджено в діяльність ТОВ «ФА ГРУП» та Асоціації українських банків, зокрема, у роботі Інформаційно-аналітичного центру АБУ дозволило оцінити потенційні можливості криптовалют з метою формування стратегії державної політики вдосконалення процесу прийняття рішень щодо таких фінансових інструментів (довідка № 01 - 10/039 від 25. 02. 2019 р); керівництву ТОВ «ФА ГРУП» допомогло підвищити ефективність інвестиційних рішень (довідка № 01/21511 від 07. 02. 2019 р.).

Результати та пропозиції, сформульовані у дисертації, впроваджені у

навчальний процес при проведенні лекцій, лабораторних і практичних занять з курсів «Прогнозування соціально-економічних процесів», «Економічна кібернетика», «Математичні моделі та методи в аналізі великих даних»

ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана» (довідка від 23.05.2019).

**Особистий внесок здобувача.** Дисертаційна робота є самостійним завершеним дослідженням. Наукові результати та висновки, які виносяться на захист, одержані автором самостійно. Із наукових праць, опублікованих у співавторстві, в дисертації використано положення та результати, які належать автору.

**Апробація результатів дисертації**. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися й одержали позитивні оцінки на науково-теоретичних та науково-практичних конференціях, зокрема: ІІ-й Всеукраїнській науково-практичній конференції «Інформаційні технології та моделювання в економіці» (м. Черкаси, 15-17 травня 2007 р.), VIІ

-й Міжнародній науково-практичній конференції «Моніторинг, моделювання та менеджмент емерджентної економіки» (м. Одеса, 23-25 травня 2018 р), VI-й Міжнародній школі-симпозіумі «Аналіз, моделювання, управління, розвиток економічних систем» АМУР-2012 (м. Севастополь, 17-23 вересня 2012 р.), IV- й Міжнародній науково-практичній конференції «Регіональний розвиток України: проблеми та перспективи» (м. Київ, 27-28 квітня 2017 р.), Національній науково-методичній конференції «Цифрова економіка» (м. Київ, 4–5 жовтня 2018 р.), I-й міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених, аспірантів і студентів «Сучасні інформаційні технології та системи в управлінні» (м. Київ, 19 – 20 квітня 2018 р.**).**

**Публікації.** Основні положення, висновки та результати дисертаційної

роботи опубліковано в 16 наукових працях загальним обсягом 8,6 друк. арк., з них: 1 – у колективній монографії, 3 – у наукових фахових виданнях, 3 – у наукових фахових виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз, 9 – в інших виданнях.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертація складається з анотації, вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Основний обсяг роботи становить 164 сторінки. Робота містить 25 таблиць на 27 сторінках, 37 рисунків на 37 сторінках, 5 додатків на 20 сторінках. Список використаних джерел містить 189 найменувань.

**ВИСНОВКИ**

У дисертації здійснено теоретичне узагальнення та нове вирішення науково-практичного завдання щодо оцінювання та прогнозування інноваційних фінансових інструментів на прикладі криптовалют.

1. Проведений аналіз сутності криптовалют дозволив дати авторське визначення цієї дефініції, на підставі чого було здійснено класифікацію їх видів та розроблено таксономію на основі технологічних та криптографічних особливостей.
2. В дисертаційній роботі запропоновано концептуальну схему дослідження, яка була розроблена в рамках системно-синергетичної наукової парадигми на основі міжгалузевого стандарту організації інтелектуального аналізу даних CRISP-DM, яка описує основні фази наукового дослідження, виконання яких дозволяє отримати ефективний інструмент інтелектуального аналізу даних та машинного навчання для вирішення задач прогнозування.
3. Здійсненний аналіз статистичних властивостей криптовалют як за допомогою класичних тестів, так і з використанням запропонованого автором підходу, свідчить, що гіпотеза про нормальний закон розподілу як цін, так і логарифмів цін не підтверджується. Переважна більшість криптовалют описується степеневими та лог-нормальними законами розподілу, тобто використання як технічного аналізу, так і класичних статистичних та економетричних методів прогнозування є неефективним.
4. Згідно з одержаними результатами часові ряди досліджуваних криптовалют виявились персистентними, тобто рядами з довгою пам`яттю. Тому в роботі обґрунтовано використання дробово-інтегрованих моделей на основі показника Херста для прогнозування динаміки криптовалют, які враховують наявність ефекту довгої пам’яті.
5. Встановлено, що запропонований в роботі метод бінарних авторегресійних дерев BART дозволяє здійснювати короткостроковий прогноз динаміки криптовалют зі значно меншою середньоквадратичною та середньою абсолютною процентною похибкою прогнозу, ніж із використанням класичних моделей типу *ARIMA-ARFIMA* як для періодів повільної зміни динаміки, так і для періодів турбулентності та стрімкої зміни трендів.
6. В ході дослідження обґрунтовано, що використання V-статистики є надійним інструментом для оцінки горизонту прогнозу. Згідно з одержаними результатами, часовий горизонт прогнозу для більшості досліджуваних криптовалют не перевищує 30 днів при використанні щоденних спостережень.
7. Проведені комп’ютерні експерименти підтвердили ефективність реалізації методів та алгоритмів машинного навчання для вирішення задач прогнозування короткострокової динаміки фінансових інструментів, наприклад, криптовалют. Зокрема, розроблена модель BART або ансамблі *ARIMA-ARFIMA* можуть бути покладені в основу алгоритмів для автоматизованих торгових систем, призначених для інтернет-трейдингу.
8. Розроблений методологічний підхід і рекомендації щодо практичного застосування системи економіко-математичних моделей на

підґрунті інструментарію бінарних авторегресійних дерев та інтелектуального аналізу даних дозволяють здійснювати короткостроковий прогноз інноваційних фінансових інструментів з метою прийняття ефективних інвестиційних рішень на крипторинку.

1. Всебічний аналіз стану та динаміки ринку криптовалют, їх особливостей, переваг та недоліків дозволяє зробити висновок, що незважаючи на суттєві коливання їх курсової вартості та прогалин у законодавчому регулюванні, цифрові валюти є сучасним етапом еволюції платіжних засобів. Тому криптоактиви й ІТ-технології на їх платформах швидко адаптуються у сучасному глобалізованому світі та займуть гідне місце в інноваційній цифровій економіці.