

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВАДИМА ГЕТЬМАНА»**

ДАЦЕНКО НАТАЛІЯ ВОЛОДИМИРІВНА

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

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

**Спеціальність 08.00.11 — математичні методи, моделі
та інформаційні технології в економіці**

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата економічних наук

КИЇВ – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Державному вищому навчальному закладі «Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана» Міністерства освіти і науки України, м. Київ.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Коляда Юрій Васильович,
ДВНЗ «Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана»,
професор кафедри економіко-математичного моделювання

Офіційні опоненти: доктор економічних наук, професор
Макшишко Наталія Констянтинівна,
Запорізький національний університет,
завідувач кафедри економічної кібернетики

кандидат економічних наук
Данильчук Ганна Борисівна,
Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького,
доцент кафедри моделювання економіки і бізнесу

Захист дисертації відбудеться «02» грудня 2019 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.006.07 у ДВНЗ «Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана» Міністерства освіти і науки України за адресою: 03057, м. Київ, пр. Перемоги, 54/1, ауд. 203.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці ДВНЗ «Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана» Міністерства освіти і науки України за адресою: 03113, м. Київ, вул. Дегтярівська, 49-Г, к. 601.

Автореферат розісланий «01» листопада 2019 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
кандидат економічних наук, доцент



С. С. Ващаєв

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

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», що базується на використанні цифрових комп'ютерних технологій в усіх галузях та сферах діяльності.

Серед усього різноманіття технологій цифрової економіки, що розвиваються прискореними темпами, особливе місце займають інноваційні технології у фінансовій сфері. Необхідність надійного та захищеного інформаційного забезпечення проведення фінансових операцій (транзакцій) та взаємних платежів привела до швидкого розвитку та широкого впровадження блокчейн-технологій, на платформі яких розробляють та запроваджують в обіг криптографічні валюти.

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 світової економіки. 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 та перспектив розвитку є новими та вимагають подальшої розробки.

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. Інституціональним 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. Соловійова, 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, Чемпмана склали методологічну основу дослідження.

Але проведений аналіз літературних джерел свідчить, що питанням моделювання ринку криптовалют приділено значно менше уваги, ніж дослідженню інших фінансових інструментів. При цьому відкритим лишається питання щодо основних факторів, які визначають цінову політику криптовалют: домінуючою є теза про те, що курсова динаміка визначається переважно співвідношенням між попитом та пропозицією.

Це обумовило спрямованість і вибір теми наукової роботи, її мету та методи дослідження для вирішення поставлених 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 задачі 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-математичні 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>, <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 Департаменту відкритих ринків НБУ 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: II-й Всеукраїнській науково-практичній конференції «Інформаційні технології та моделювання в економіці» (м. Черкаси, 15-17 травня 2007 р.), VII-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 158 сторінок. Робота містить 19 таблиць на 15 сторінках, 35 рисунків на 28 сторінках, 4 додатки на 10 сторінках. Список використаних джерел містить 187 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та завдання дослідження, визначено об'єкт, предмет, методи та інформаційну базу дослідження, розкрито наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, їх апробацію та публікації автора за темою дисертації.

У **розділі 1 «Теоретико-методологічні засади дослідження ринку криптовалют»** визначено передумови виникнення та перспективи застосування криптовалют як інноваційного фінансового інструменту цифрової економіки; визначено технологічну та економічну сутність криптовалют; проаналізовано їх переваги та недоліки в порівнянні із фіатними грошима; здійснено критичний аналіз світового та вітчизняного досвіду моделювання та прогнозування динаміки інноваційних фінансових інструментів (на прикладі криптовалют).

Проведений в роботі аналіз дозволяє зробити висновок, що ознакою кінця четвертого етапу розвитку світової валютної системи було введення електронних грошей, а поява криптовалюти – є ознакою початку п'ятого етапу її еволюції, яка має задовольняти вимогам сучасної цифрової економіки. На рис. 1 наведено авторське бачення місця крипторинку у світовій фінансово-валютній системі на даному етапі.

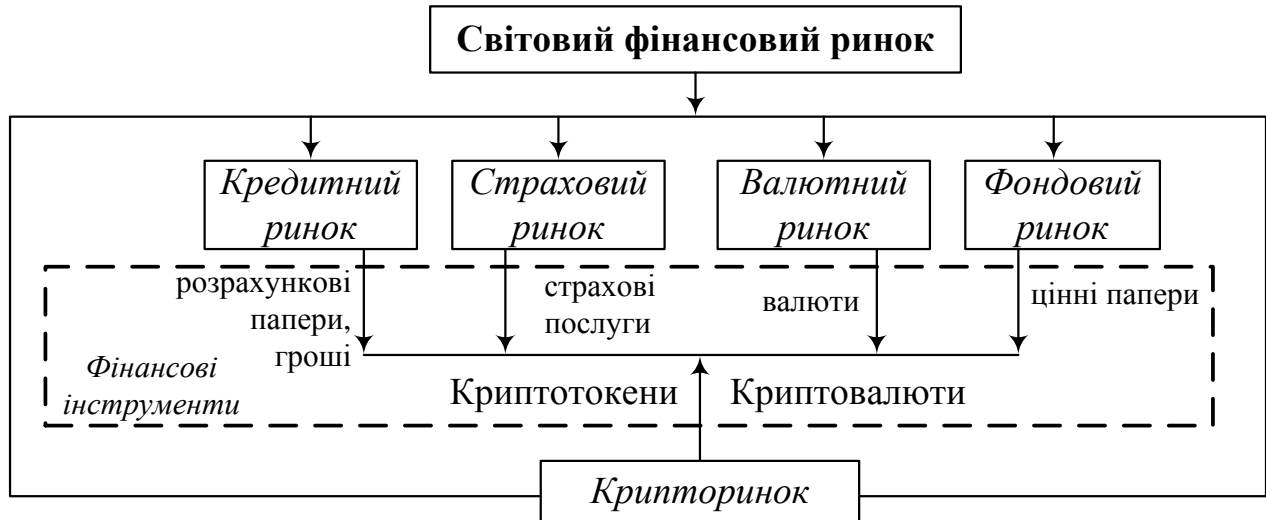


Рис. 1. Місце крипторинку в структурі світової фінансової системи
Джерело: побудовано автором

У дисертаційній роботі показано, що незважаючи на певні ризики, криптовалюти можуть виконувати основні функції грошей: бути мірою вартості, засобом обігу, засобом платежу, засобом накопичення і заощадження, світовими грошима.

В процесі аналізу економічної та технологічної сутності цифрових валют з'ясувалось, що серед науковців немає єдиного погляду на тлумачення терміну «криптовалюта». Тому запропоновано авторське бачення цього поняття: «криптовалюта – це заснована на математичних принципах децентралізована та конвертована валюта, яка захищена за допомогою криптографічних методів, тобто використовує криптографію для створення розподіленої, децентралізованої та захищеної інформації».

Криптовалюта не має фізичного втілення, а існує лише в електронному вигляді та має низку особливостей, що обумовлюють її більшу привабливість у порівнянні із фіатними грошима: анонімність, децентралізація та захищеність.

На підставі аналізу технологічних, криптографічних та програмних особливостей криптовалют у роботі здійснено класифікацію їх видів та розроблено таксономію (рис. 2).

Аналіз наукових публікацій, присвячених питанням моделювання та прогнозування динаміки криптовалют, свідчить, що серед науковців нема одностайної думки щодо факторів, які визначають їх фундаментальну цінність. На цінову динаміку криптовалют впливають багато латентних чинників, при цьому ключові фактори або драйвери ще недостатньо вивчені та ідентифіковані.

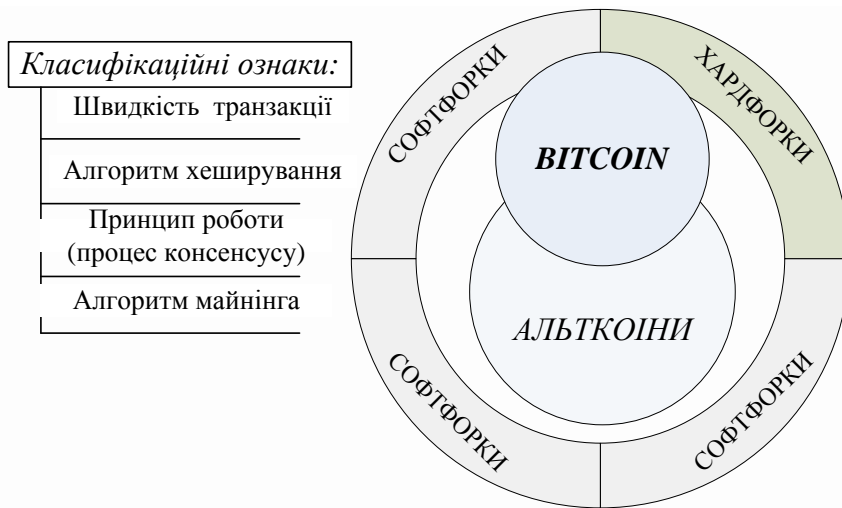


Рис. 2. Класифікація криптовалют

Джерело: побудовано автором

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

Отже, для вирішення завдання прогнозування та оцінювання криптовалют необхідна розробка адекватного економіко-математичного інструментарію, яка має ґрунтуватись на синтезі сучасних методів обробки часових рядів, фрактальному аналізу та моделях штучного інтелекту, зокрема, технології машинного навчання.

У роботі запропоновано вирішувати завдання моделювання та прогнозування динаміки криптовалют у рамках методології CRISP-DM, яка описує основні фази наукового дослідження, виконання яких дозволяє отримати максимальний ефект від використання методів інтелектуального аналізу даних та машинного навчання (рис. 3).

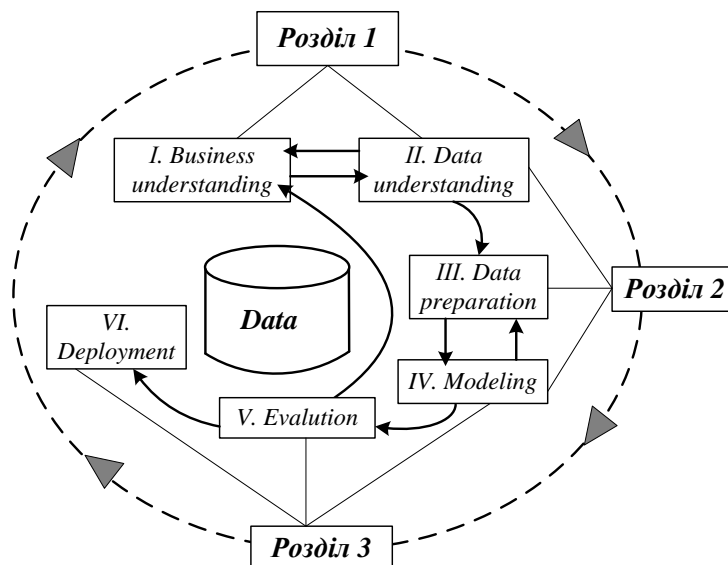


Рис. 3. Концептуальна схема наукового дослідження згідно стандарту CRISP-DM

Джерело: побудовано автором

У розділі 2 «Розробка системи математичних моделей оцінювання та прогнозування динаміки криптовалют» розроблено методичний підхід до оцінювання, моделювання та прогнозування короткострокової динаміки цін криптовалют, яка ґрунтується на аналізі статистичних та фрактальних властивостей досліджуваних часових рядів; оцінці горизонту прогнозу; побудові запропонованих автором моделей бінарних авторегресійних дерев, які є узагальненням стандартних моделей дерев регресії та класифікації *C&RT*.

Проведення статистичного та фрактального аналізу дозволило виявити та зрозуміти властивості вхідних даних для обрання ефективного модельного інструменту прогнозування динаміки цін криптовалют. При цьому головна увага була зосереджена на дослідженні таких трьох ознак (аспектів) досліджуваних часових рядів:

1. Ідентифікація закону розподілу цін. Згідно з результатами багатьох емпіричних досліджень, фінансові часові ряди, зокрема й ряди криптовалют, як правило, не підкоряються нормальному закону розподілу, що необхідно враховувати при виборі прогновної моделі;

2. Стаціонарність. Характерною особливістю часових рядів є те, що спостереження в них залежні та корельовані. Тому порядок спостережень у вибірці є важливим, при цьому використання багатьох класичних методів прогнозування потребує стаціонарності досліджуваних рядів;

3. Фрактальність. Вона характеризує самоподібність досліджуваного часового ряду, наявність довгочасових кореляцій, трендостійкість та пов'язана із горизонтом прогнозу.

Для ідентифікації закону розподілу часового ряду (першої ознаки) потрібно обчислити наступні характеристики: коефіцієнт варіації або характеристику гладкості розподілу; третій центральний момент μ_3 , або коефіцієнт асиметрії S , який є характеристикою урізання (скосу) розподілу відносного середнього значення \bar{X} ; четвертий центральний момент μ_4 або коефіцієнт ексцесу K , який характеризує «гостровершинність» розподілу величин.

Для перевірки вихідного часового ряду на нормальність розподілу застосовуємо тест Харке-Бера (Jarque-Bera, JB). Він обчислюється на основі вибірових значень для коефіцієнтів асиметрії S та ексцесу K :

$$S = \frac{\mu_3}{T(\sigma')^3}, K = \frac{\mu_4}{T(\sigma')^4},$$

$$JB = \frac{T-k}{6} \left[S^2 + \frac{1}{4}(K-3)^2 \right],$$
(1)

де T – загальна кількість спостережень; k – загальна кількість доданків регресії якщо перевіряються залишки, $k=0$ – якщо перевіряються дані часового ряду; μ_3 та μ_4 – відповідно третій та четвертий центральні моменти; σ' – оцінка стандартного відхилення σ розрахована як $\sigma' = \sigma \sqrt{\frac{T-1}{T}}$. За цим тестом перевіряються нульова H_0 та альтернативні H_α гіпотези:

$$H_0 : S = 0, K = 3, H_\alpha : S \neq 0, K \neq 3$$

JB -статистика (1) відповідає розподілу χ^2 з двома ступенями свободи. Якщо $JB < \chi^2$, то приймається нульова гіпотеза H_0 про нормальний розподіл, в протилежному випадку приймається альтернативна гіпотеза H_α .

Поряд із класичними підходами перевірки сукупності даних на відповідність закону розподілу (за гістограмами та критеріями Колмогорова-Пірсона), у роботі було застосовано *метод максимальної правдоподібності на основі імітаційного моделювання*. Часовий ряд ціни криптовалюти розглядається як випадково сформована вибіркова сукупність x_1, x_2, \dots, x_n генеральної сукупності X з параметрами $\Theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)$, які характеризують закон розподілу сукупності X .

Далі, використовуючи імітаційний метод Монте-Карло, випадковим чином генеруємо декілька теоретичних сукупностей X' з числовими характеристиками вхідного ряду (X) за найбільш поширеними законами розподілу випадкових величин і будуємо лінійну регресію виду:

$$X_i = \theta_1 + \theta_2 X'_i \quad (2)$$

Тоді оцінки максимальної правдоподібності параметрів Θ є такими, що максимізують функцію правдоподібності

$$L(\Theta) = \prod_{i=1}^n f(x_i; \Theta) \quad (3)$$

або логарифмовану функцію правдоподібності

$$\ln L(\Theta) = \prod_{i=1}^n \ln f(x_i; \Theta), \quad (4)$$

де $f = (\cdot)$ є функцією щільності розподілу сукупності X , $\hat{\Theta} = (\hat{\theta}_1, \hat{\theta}_2, \dots, \hat{\theta}_k)$ – максимально правдоподібна оцінка сукупності X . Стандартні похибки $\hat{\Theta}$ для оцінок параметрів регресії (2) знайдені шляхом апроксимації коваріаційної матриці $\hat{\Theta}$:

$$\text{cov}(\hat{\Theta}) \approx \left(\frac{\partial^2 \ln L}{\partial \theta_i \partial \theta_k} \right)^{-1} \Bigg|_{\Theta = \hat{\Theta}} \quad (5)$$

Якщо лінійна регресія (1) є якісною, а її параметри статистично значущими, то вхідний ряд має такий само закон розподілу, як і згенерований.

Для оцінки якості побудованих моделей та ідентифікації законів розподілу було застосовано наступні критерії:

– інформаційний критерій Акайке : $AIC = 2k - 2 \ln L(\Theta);$ (6)

– інформаційний критерій Байєса : $BIC = k \ln n - 2 \ln L(\Theta);$ (7)

– критерій Ханнана-Квіна : $HQ = 2k \ln \ln n - 2 \ln L(\Theta),$ (8)

де величини n та k відповідно є кількістю спостережень та загальною кількістю доданків регресії.

Для перевірки другої ознаки (стаціонарності) доцільним є виконання умови (не) сталості змін таких характеристик часового ряду, як математичне сподівання $M(X)$ та дисперсія $D(X)$. Окрім цього, для ідентифікації стаціонарності часових рядів проаналізовано автокореляційні (АКФ) та часткові автокореляційні (ЧАКФ) функції.

У роботі запропоновано проводити статистичний аналіз (розрахунок центральних моментів та статистичних тестів, формули (1-5)) у синтезі з фрактальним аналізом (третьої ознаки), який потребує визначення таких характеристик: H – показника Херста (R/S аналіз), β – спектральної розмірності та d – порядку інтегрованості ряду. Модифікована методика обчислення статистики Херста дозволяє статистично дослідити системи для відмінності: випадкових та не випадкових систем, сталості трендів, тривалості циклів за їх наявності.

Сутність методу R/S аналізу полягає в розрахунку «нормованого розмаху» R , який показує відстань S переміщення системи за дискретний час n . Окрім типу часового ряду, R/S аналіз дозволяє оцінити довжину періодичних та неперіодичних циклів, для цього використовується V_n -статистика, яка визначається наступним чином:

$$V_n = \frac{1}{\sqrt{n}} \left(\frac{R_n}{S_n} \right). \quad (9)$$

В якості модельного апарату для здійснення прогнозу динаміки цін криптовалют у дисертації запропоновано використання розробленого автором алгоритму *бінарних авторегресійних дерев* (Binary Auto Regressive Tree, *BART*), що є узагальненням стандартних моделей класифікацій та регресій (*C&RT*), на листях яких містяться авторегресійні моделі *ARIMA*.

Для аналізу часового ряду в *BART* застосовується метод «віконного» перетворення даних. Цільова змінна Y_t в даному алгоритмі залежить від p попередніх значень досліджуваного часового ряду $Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots, Y_{t-p}$.

Таке розділення вхідного простору на сегменти (рис. 4, А) дозволяє побудувати для кожного з них власну (локальну) модель та представити кусково-задану функцію як дерево авторегресії (рис. 4, Б) в інтуїтивно наглядній формі.

Процес побудови моделі *BART* описується наступним алгоритмом.

Етап 1. Процес побудови авторегресійного дерева виконується послідовно (ітераційно). Якщо позначити значення вихідного часового ряду через Y_1, Y_2, \dots, Y_t , то на першому кроці визначається значення початкового (кореневого) вузла, яке береться як медіана Me (другий квантіль $Q_{50\%}$) навчального ряду (вибірки) Y_t і розраховується за формулою:

$$Me = Q_{50\%} = 0.5 * (Y_t^{min} + Y_t^{max}). \quad (10)$$

Медіана часового ряду визначається як медіана розподілу реалізацій випадкової величини в момент часу t , тобто таке дійсне число, ймовірність перевищення якого для довільного спостереження дорівнює 0,5.

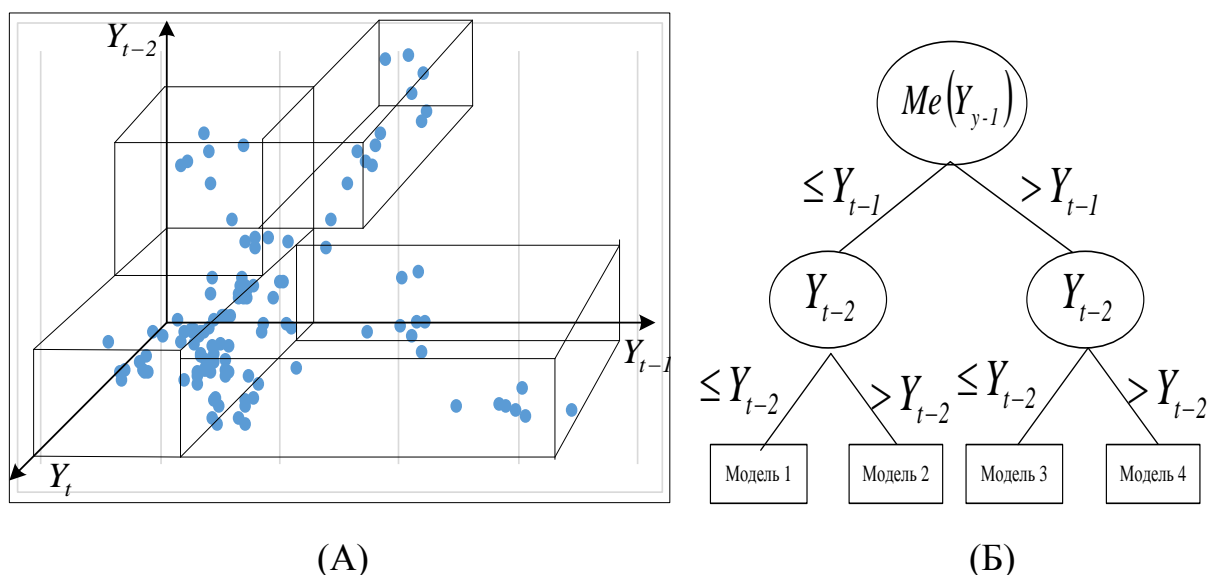


Рис. 4. Умовний приклад розбиття даних з двома лаговими змінними на підмножини (А) та відповідне йому дерево авторегресії (Б)
Джерело: побудовано автором

Етап 2. Для кожного неопрацьованого вузла знаходиться найкраще розщеплення. З можливих на цьому кроці варіантів розщеплення обирається «краще» за прийнятим правилом. Ці процедури проводяться аналогічно алгоритму C&RT, запропонованого Лео Брейманом з колегами. Відмінність полягає в прийнятих правилах, критеріях оцінки та зупинці розщеплення.

В *BART* запропоновано альтернативний критерій обрання кращого розщеплення (або критерій інформативності) на основі показника ентропії, оскільки це призводить до зменшення складності дерева. Але в даному алгоритмі буде визначатись не ентропійна інформативність за Шенноном, а ентропійний інформаційний виграш.

При побудови *BART* кількість гілок (розгалужень) дорівнює 2, оскільки будується бінарне авторегресійне дерево, тобто таке, яке має двох нащадків. З нього потім обирається фінальне дерево, тому доводиться оцінювати інформативність не тільки таких предикторів (Y_{t-1}, Y_{t-p}), які розділяють часовий ряд на підмножини, але і таких, які відділяють деяку групу підмножин від множини, тобто піддерево від решти дерева.

Спочатку, на основі ентропійного критерія, оцінюється ймовірність як частота віднесення певного спостереження до певної підмножини (піддерева) і розраховується ентропія \hat{H} вибірки Y^l :

$$\hat{H}(M, N) = H\left(\frac{m}{M+N} + \frac{n}{M+N}\right), \quad (11)$$

а після отримання усієї інформації у вузлі за певним предиктором ентропія:

$$\hat{H}_\varphi(M, N, m, n) = \frac{m+n}{M+N} \hat{H}(m, n) + \frac{M+N-(m+n)}{M+N} \hat{H}(M-m, N-n), \quad (12)$$

де M – кількість об'єктів, які відповідають підмножині C , а m – кількість об'єктів, які відповідають умовам належності відповідній підмножині, $m \in M$; аналогічно n та N , за умови $n \in N, N \in C$. Тоді ентропія вибірки $\{x \in Y^l | \varphi(x) = 1\}$ буде $\hat{H}(m, n)$, а імовірність появи об'єкта з цієї вибірки буде обчислюватись як $\frac{m+n}{M+N}$. Аналогічно для вибірки $\{x \in Y^l | \varphi(x) = 0\}$ ентропія $\hat{H}(M-m, N-n)$ з відповідною імовірністю $\frac{(M-m)+(N-n)}{M+N}$. Таким чином, ентропія всієї вибірки після отримання інформації φ обчислюється за формулою (11).

Зменшення ентропії складатиме

$$IGain_c(\varphi, Y^l) = \hat{H}(M, N) - \hat{H}(M, N, m, n), \quad (13)$$

яке називається ентропійним інформаційним виграшем. Тобто це кількість інформації про поточне розділення дерева на два розбиття: «с» та «не с».

У BART вартість дерева визначається на основі критерію ранньої зупинки. В якості такого критерію використовується розширений байєсівський інформаційний критерій Q , за допомогою якого здійснюється мінімізація статистики:

$$EBIC = d \cdot \ln R(\hat{f}) + J \cdot [\ln(d) + 2 \ln(b)], \quad (14)$$

де $R(\hat{f})$ – середньоквадратична похибка; J – кількість параметрів налаштування моделі; d - кількість прикладів навчальної вибірки; b – величина, яка характеризує складність простору моделей (вона дорівнює добутку розміру дерева на кількість лагових змінних). У виразі (14) перший доданок – це максимальне значення логарифмічної функції, а другий є штрафом за складність моделі.

Розщеплення вузлів виконується до тих пір, поки значення статистики $EBIC$ зменшується (сума (13) не стане меншою за певне задане значення), або доки в кожному підпросторі не залишиться дуже мала (задана) кількість прикладів. Як в цілому для регресійних дерев C&RT, так і, зокрема, для BART, процедура спрощення (тобто ранньої зупинки розгалуження дерева) є важливішою, ніж для дерев класифікації. Це пояснюється тим, що дерева регресії, як правило, є більш складними та розгалуженими, оскільки діапазон значень досліджуваного показника (наприклад, ціни криптовалюти) значно ширше, ніж для якісних (категоріальних) даних.

Етап 3. Якщо обране розщеплення ефективно за ентропійним інформаційним виграшем, але не покращує модель, то потрібно виконати його та перейти до етапу 2. У противному випадку обирається фінальне дерево і процедура виконання алгоритму BART вважається завершеною.

Відмова від рекурсії в алгоритмі BART та перехід до ітераційної версії дозволяє глибоко контролювати процес побудови дерева, тобто забезпечує більш «м'який» контроль процесу побудови дерева за рахунок:

- визначення довільного порядку розщеплення вузлів;
- впровадження правил/алгоритмів ранньої зупинки, які аналізують як окремі вузли, так і усе дерево регресії в цілому;
- зупинки побудови дерева авторегресії в будь-який час.

Оскільки кінцевою метою наведеного алгоритму є прогнозування, то запропоновано будувати на вузлах-листях стандартну авторегресійну модель класу *ARIMA*, яка є базовою галузевою моделлю аналізу та моделювання часових рядів.

Розділ 3 «Прикладна реалізація системи моделей оцінки та прогнозування криптовалют» присвячений практичній реалізації розроблених систем моделей, зокрема, в цьому розділі проведено статистичний аналіз, моніторинг та прогнозування динаміки криптовалют та здійснено оцінювання ефективності інвестування у криптоактиви на основі розроблених моделей.

На даний час існує понад 2000 видів криптовалют (станом на 01 грудня 2018 року). Тому для практичної реалізації було обрано 9 коїнів за такими критеріями (табл. 1):

- приналежність криптовалюти до класу альткоїнів та форків (згідно наведеної класифікації в розділі 1.2);
- рейтинг (місце) криптоінструменту у топ-30 криптовалют за рівнем їх капіталізації на крипторинку.

Окрім зазначених криптовалют, у роботі були використані динамічні ряди двох класичних інструментів з метою порівняння результатів моделювання: фондового індексу *Nikkeu* та обмінних курсів акцій *Apple*.

Таблиця 1

Основні характеристики обраних для дослідження криптовалют

№ п/п в Топ-30	Криптовалюти			Обсяг капіталізації, % до загальної капіталізації	Закон розподілу	Горизонт прогнозу, днів
1	Bitcoin	BTC		53,29%	Гіперболічний (або степеневий)	29-34
3	Ethereum	ETH	альт BTC	9,91%		28-31
7	Litecoin	LTC	альт BTC	1,65%		28-33
2	Ripple	XRP	альт BTC	10,77%	Логнормальний	35-37
11	NEM		альт BTC	0,91%		34-36
9	Stellar	XLM	форк XRP	1,51%	Стьюдента (або t -розподіл)	27-31
24	Dogecoin	DOGE	форк LTC	0,20%		26-29
37	Namecoin	NMC	форк BTC	0,02%	Лапласа	27-29
18	Expanse	EXP	форк ETH	0,38%		27-30
	<i>Загалом</i>			<i>78,64%</i>		

Джерело: побудовано та розраховано автором

Проведений аналіз досліджуваних часових рядів криптовалют як за допомогою стандартних статистичних тестів, так і з використанням методу максимальної правдоподібності на основі імітаційного моделювання, наведеного у розділі 2, дозволяє відхилити гіпотезу про підпорядкованість як рядів цін, так і логарифмів цін, нормальному закону розподілу для переважної більшості криптовалют. Підсумкові результати щодо законів розподілу для логарифмів цін наведено у табл. 1.

Окрім цього, досліджувані ряди цін виявились нестационарними та персистентними, що свідчить про наявність довгочасових кореляцій та трендостійкості. Підсумкові результати оцінки горизонту прогнозу з використанням *V*-статистики (8) також наведено у табл.1.

Отже, згідно з одержаними результатами в середньому для досліджуваних криптовалют горизонт прогнозу складає приблизно 30 діб (при використанні щоденних спостережень). Одержані оцінки дають цільові орієнтири при застосуванні розроблених прогнозних моделей.

Для практичного виконання поставлених завдань, в якості базового інструменту, були обрані хмарне середовище Microsoft Azure Machine Learning Studio, Microsoft Power BI та скрипт R Studio. Ці сервіси дають розширені можливості розв'язання різноманітних прикладних задач за рахунок як вбудованих стандартних функціоналів, так і підключення додаткових служб (рис. 5).

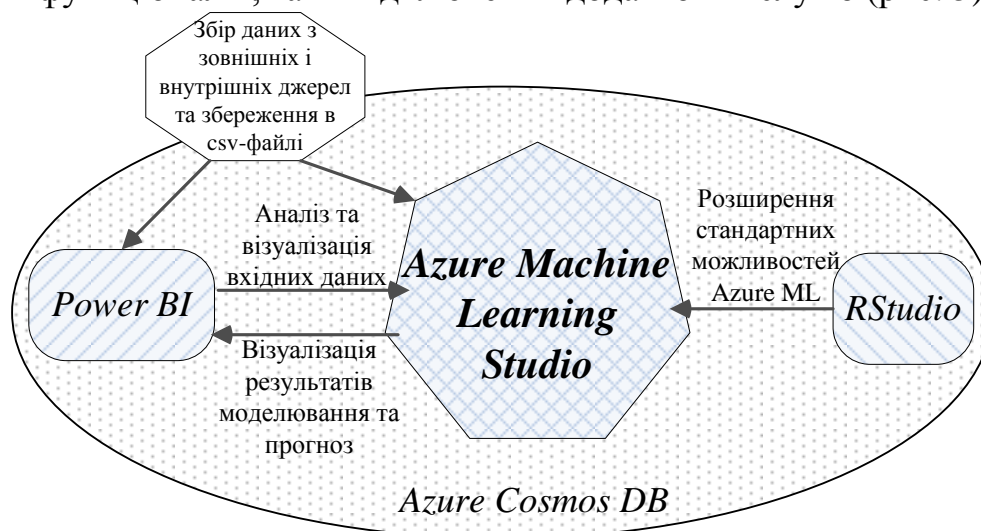


Рис. 5. Комплекс використаних в дисертаційній роботі програмних засобів
Джерело: побудовано автором

В роботі проведено три групи експериментів: для моделей *BART*, *ARIMA* та *ARFIMA* для 11 часових рядів. Незважаючи на відмінності в специфікації цих моделей, процедура проведення кожного експерименту підпорядкована загальному алгоритму дослідження на основі стандарту CRISP-DM (рис.3).

Оскільки усі три типи моделей для здійснення прогнозу використовують лише минулі спостереження досліджуваного часового ряду, то одним із головних завдань їх ідентифікації є вибір глибини лагу p . Згідно з результатами багатьох емпіричних досліджень, для «традиційних» фінансових активів (фіатних валют, фондових та товарних індексів, курсів акцій тощо), які торгуються протягом 5-ти робочих днів на тиждень, існує сезонний лаг, який є кратним 5, якщо використовувати щоденні спостереження.

Оскільки криптовалюти торгуються у режимі 24/7, то цілком очікуваним буде наявність сезонного лагу, кратного 7 дням. Проведення кореляційного аналізу із використанням автокореляційної та часткової автокореляційної функції підтвердило гіпотезу: для переважної більшості досліджуваних криптовалют наявні статистично значущі кореляції на лагах 7, 14, 21, 28, окрім цього існують кореляції і на деяких інших лагах.

Для аналізу обрано щоденні котирування з 01 серпня 2015 року по 01 жовтня 2018 року. Для моделювання використовувались ціни закриття, які були взяті як в абсолютному значенні, так і у натуральних логарифмах, що дозволяє стабілізувати

варіативність (дисперсію) досліджуваних рядів. Такий часовий період було обрано з метою забезпечення однакової довжини усіх часових рядів (1158 спостережень). Окрім цього, обраний період характеризується різноманітними типами динамічних режимів: від повільного до стрімкого зростання, аномального падіння, а потім стабілізації (рис. 5).

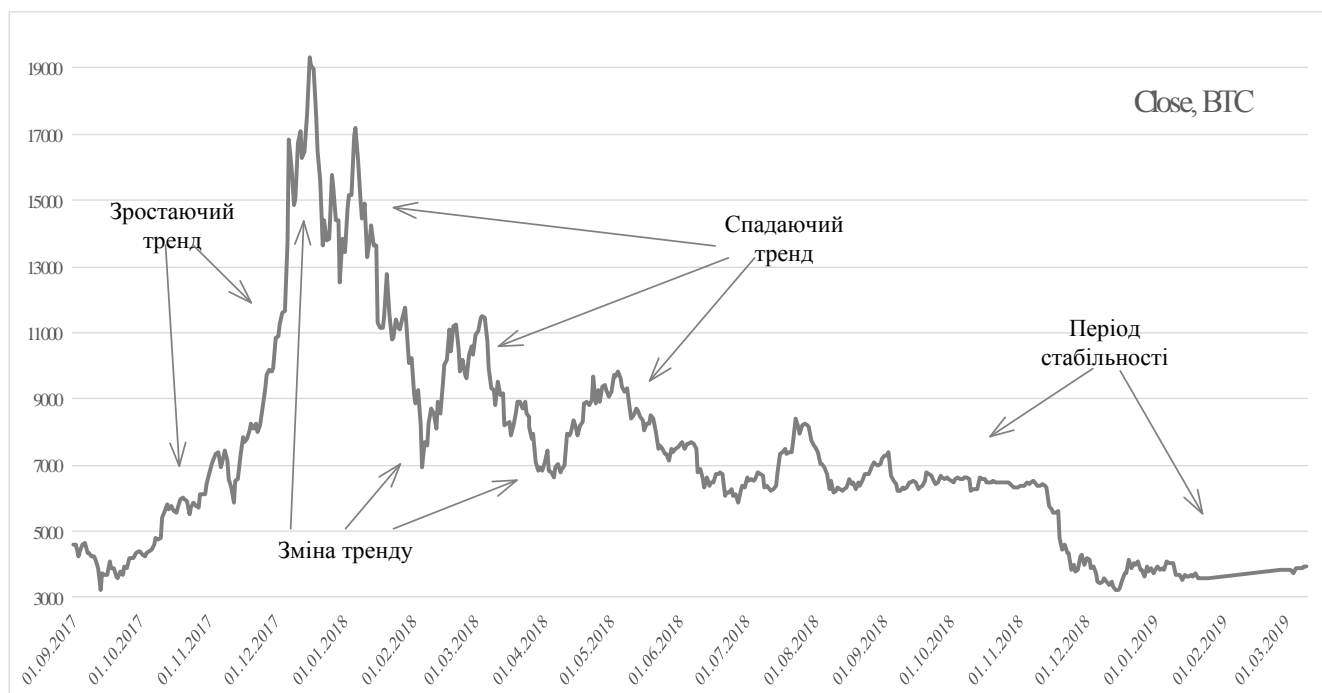


Рис. 5. Динаміка часового ряду BTC з 01.09.2017 року по 01.09.2018 року
Джерело: побудовано автором за даними <https://finance.yahoo.com>

Перші 1097 спостережень для побудованих моделей було розділено у співвідношенні 80% на 20% між навчальною та тестовою вибіркою і використано для підгонки, навчання моделей і оцінювання їх параметрів, а останні 60 спостережень зарезервовано для валідації моделей та оцінки якості прогнозу на основі середньої абсолютної процентної похибки (*MAPE*) та середньоквадратичної похибки (*RMSE*). Модельні експерименти проведено як для досліджуваного часового інтервалу, так і для підперіодів, що характеризувались різними типами динаміки досліджуваних рядів (рис. 5).

Підсумкові результати точності моделювання (глибина лагу $p=7$) для найбільш капіталізованих (ТОП-3 за 2018 рік) та привабливих для трейдингу криптовалют наведено у табл. 2.

Оскільки з точки зору трейдингу викликає цікавість передбачення напряму зміни ціни або тренду, а не її чисельне значення, то для практичної реалізації моделі *BART* також здійснено задачу прогнозу напряму зміни ціни на цей же період. Тобто було проведено прогнозування зростання (клас *positive*, *P*) або спадання курсу (клас *negative*, *N*) відповідної криптовалюти на наступний день за технологією одно крокового прогнозу без переналаштування параметрів моделі.

Для оцінювання точності використано метрику *Accuracy*, що інтерпретується як частка правильно спрогнозованих значень серед усіх передбачень:

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{P + N}, \quad (15)$$

де TP та TN – кількість правильно спрогнозованих значень позитивного та негативного класу відповідно, P та N – реальна кількість значень для кожного з класів. Результати цієї метрики наведено у табл.2.

Таблиця 2

Результати оцінки точності прогнозу для періоду з 01.08.18 по 01.10.18 рр.

	BTC			ETH			XRP		
	MAPE, %	RMSE	Accur, %	MAPE, %	RMSE	Accur, %	MAPE, %	RMSE	Accur, %
Тенденція зміни ціни - перехідна									
BART-7	2,47	212,31	64	3,78	15,09	62	4,66	0,0227	58
ARIMA	3,21	246,5	55	4,52	18,15	54	4,88	0,0228	54
ARFIMA	2,65	211,6	59	3,8	15,26	59	5,22	0,0232	56

Джерело: розраховано автором за результатами моделювання

Як свідчать результати табл. 2, точність прогнозу за алгоритмом *BART* виявилась вищою для усіх досліджуваних рядів, ніж для моделей *ARIMA* та *ARFIMA*. При цьому середнє значення метрики *Accuracy* за моделлю *BART* для більшості рядів криптовалют (за виключенням *Namescoin* та *Expanse*) склало 61%. Це дозволяє зробити висновок про ефективність її використання для задач короткострокового прогнозу динаміки криптовалют.

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. Здійснений 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.

9. Всебічний аналіз стану та динаміки ринку криптовалют, їх особливостей, переваг та недоліків дозволяє зробити висновок, що незважаючи на суттєві коливання їх курсової вартості та прогалів 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.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографія:

1. Даценко Н.В., Дербенцев В.Д., Ігнатова Ю.В. Криптовалюти для малого та середнього бізнесу — локомотив цифрової економіки. *Фінансово-кредитне забезпечення інноваційної діяльності малого та середнього бізнесу* / за заг. ред. М.І. Диби Київ, КНЕУ, 2018. С. 287-304. - (1,05 друк. арк., особисто автору – 0,6 друк. арк., проведено теоретичний аналіз передумов виникнення криптовалют, їх видів, таксономії та сучасний стан криптосупільства).

у наукових фахових виданнях:

2. Даценко Н.В. Порівняння аналітичного та числового методів для розв'язання економічних задач СМО. *Економіка: проблеми теорії та практики*. 2008. Вип. 242, т. 4. С. 782-790. – (0,6 друк.арк.).

3. Даценко Н.В. Динамічне оцінювання ентропії економічної системи. *Культура народів Причорномор'я. Сер. Економічні науки*. 2012. №231. С. 25-27. (0,7 друк арк.).
4. Даценко Н.В. Застосування дерев класифікації та регресії до прогнозування часових рядів фінансових інструментів. *Вчені записки*. 2018. №19. С.219-231 (0,9 друк арк.).

у наукових фахових виданнях,

що зареєстровані у міжнародних наукометричних базах:

5. Даценко Н.В., Ігнатова Ю.В., Поліщук Є.А. Моделювання потенціалу малих інноваційних підприємств. *Інвестиції: практика та досвід* (Index Copernicus, Scientific Indexing Services, Google Scholar). 2017. №1. С. 23-28. – (1,2 друк арк., особисто автору – 0,7 друк. арк., проведено перевірку даних щодо відповідності закону розподілу та моделювання з використанням інструментарію імітаційного моделювання.).
6. Datsenko N.V., Ignatova Iu.V., Rudyk N.V. Several methods for evaluating the investment attractiveness or small innovation enterprises. *Бізнес Інформ* (Ulrichsweb, Research Papers in Economics, РІНЦ, Index Copernicus, DOAJ, Academic Journals Database, Advanced Science Index, OAJI, GetInfo, BASE, OpenAire, Google Scholar, WorldCat, COPAC, Socionet, Open Access Library, J-Gate, ResearchBib). 2017. №4 (471). С. 171-177. – (1,2 друк арк., особисто автору – 0,8 друк. арк., розроблено процедуру використання інструментарію дескриптивної статистики та імітаційного моделювання).
7. Даценко Н. В., Бегун А. В., Ігнатова Ю.В., Рудик Н.В. Моделювання процесу оцінки ефективності підприємств малого та середнього бізнесу. *Моделювання та інформаційні системи в економіці* (Google Scholar). 2017. Вип. 93. С. 91-110. – (0,7 друк. арк., особисто автору – 0,5 друк. арк., проаналізовано динаміку часового ряду даних на основі декомпозиції та авторегресійних моделей).

в інших виданнях:

8. Даценко Н.В. Двовимірні квантові критичні явища прибутковості на фінансових ринках. *Інформаційні технології та моделювання в економіці: зб. наук. пр. II Всеукр. наук.-практ. конф., 15-17 травня 2007 р. Черкаси*. 2007. С.39-41. – (0,13 друк. арк.).
9. Даценко Н.В. Использование теории нечетких множеств в управлении предприятием. *Математичні методи, моделі та інформаційні технології в економіці: Матеріали I Міжн. наук.-метод. конф. Чернівці, 2009*. С.120-122. – (0,2 друк. арк.).
10. Даценко Н.В. Энтропийный подход оценивания экономической системы. *Анализ, моделирование, управление, развитие экономических систем: сб.труд. VI Межд. школы-симпозиума АМУР-2012. Симферополь: ТНУ им. В.И. Вернадского, 2012*. С. 139-140. – (0,12 друк. арк.).
11. Даценко Н.В. Системні аспекти визначення потенціалу. *Моніторинг, моделювання та менеджмент емерджентної економіки: Зб. наук. пр. IV Міжн. наук.-практ. конф., 10-12 вересня, 2014 р. Черкаси, 2014*. – С. 53-55. - (0,2 друк. арк.).

12. Даценко Н.В., Ігнатова Ю.В., Поліщук Є.А. Інновації та перспективи регіонального розвитку малого бізнесу. *Регіональний розвиток України: проблеми та перспективи*: матеріали IV Міжнар. наук.-практ. конф., 27-28 квітні 2017 р. Київ: КНЕУ, 2017. С 44-48. – (0,3 друк.арк., особисто автору – 0,2 друк. арк., запропоновано підхід до оцінки стартапів як інноваційних малих підприємств.).
13. Даценко Н.В., Вітлінський В.В., Ігнатова Ю. В. Ризик-менеджмент з використанням MS Excel: навч. посібник. Київ: КНЕУ, 2017. 203 с. – (9,6 друк. арк., особисто автором – 2 друк. арк., тема 6 «Модель оцінювання капітальних активів», тема 9 «Імітаційне моделювання», розробка завдань до лабораторних робіт).
14. Даценко Н.В. Аналіз фрактальних властивостей часових рядів криптовалют. *Сучасні інформаційні технології та системи в управлінні*: матеріали 1-ї міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, аспірантів і студентів., 19 – 20 квіт. 2018 р. Київ.: КНЕУ, 2018. С 87-91. – (0,2 друк. арк.).
15. Даценко Н.В., Ігнатова Ю.В. Алгоритм моделювання часових рядів криптовалют. *Моніторинг, моделювання та менеджмент емерджентної економіки*: матеріали 7-ої Міжнар. наук.-практ. конф., 23-25 травня 2018 р. Одеса-Черкаси, 2018. С. 99-102. – (0,18 друк. арк., особисто автором – 0,15 друк. арк., розглянуто методологія оцінювання горизонту прогнозу на основі методів фрактального аналізу).
16. Даценко Н.В., Мірошніченко І.В. Криптоінвестиції – ризики та перспективи. *Цифрова економіка*: зб. матеріалів нац. наук.-метод. конф., 4–5 жовтня 2018 р. Київ: ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана». С. 111-115. – (0,23 друк. арк., особисто автором – 0,2 друк. арк., на основі проведених розрахунків запропоновано використання криптовалют, як альтернативу класичним інвестиційним інструментам з метою диверсифікації активів).

АНОТАЦІЯ

Даценко Н.В. Система моделей оцінювання та прогнозування інноваційних фінансових інструментів (на прикладі криптовалют). – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата економічних наук за спеціальністю 08.00.11 – математичні методи, моделі та інформаційні технології в економіці. – ДВНЗ «Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана», Київ, 2019.

Дисертація присвячена подальшому розвитку теоретичних засад та розробці інструментарію моделювання та прогнозування динаміки інноваційних фінансових інструментів на прикладі криптовалют.

У дисертаційній роботі визначено роль та місце криптовалют на сучасному етапі розвитку світової економіки, уточнено категоріальний апарат та економічну сутність дефініції «криптовалюта», розроблено таксономію криптовалют на підставі їх технологічних та криптографічних властивостей.

Запропоновано концептуальний підхід до оцінювання та короткострокового прогнозування криптоактивів на основі міжгалузевого стандарту організації інтелектуального аналізу даних CRISP-DM.

Розроблено алгоритм бінарного авторегресійного дерева, який дозволяє здійснювати кусково-лінійну апроксимацію фазового простору вхідних лагових змінних та будувати власну авторегресійну модель для кожного сегменту.

Здійснено чисельну оцінку горизонту прогнозу із використанням фрактального та ентропійного аналізу та проведено модельні прогнозні розрахунки динаміки часових рядів криптовалют як із використанням моделей BART, так і моделей сімейства ARIMA-ARFIMA.

Проведене теоретичне та експериментальне дослідження засвідчило адекватність побудованих моделей та ефективність їх застосування з метою підтримки і прийняття управлінських рішень на крипторинку.

Ключові слова: інноваційні фінансові інструменти, криптовалюти, машинне навчання, дерева класифікацій та регресій, модель бінарного авторегресійного дерева, короткострокове прогнозування, фрактальний та ентропійний аналіз, горизонт прогнозу.

АННОТАЦІЯ

Даценко Н.В. Система моделей оцінювання і прогнозування інноваційних фінансових інструментів (на прикладі криптовалют). — Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук по специальности 08.00.11 — математические методы, модели и информационные технологии в экономике. — ГБУЗ «Киевский национальный экономический университет имени Вадима Гетьмана», Киев, 2019.

Диссертация посвящена дальнейшему развитию теоретических основ и разработке инструментария моделирования и прогнозирования динамики инновационных финансовых инструментов на примере криптовалют.

В диссертационной работе определены роль и место криптовалют на современном этапе развития мировой экономики, уточнены категориальный аппарат и экономическая сущность дефиниции «криптовалюта», разработаны таксономия криптовалют на основании их технологических и криптографических свойств. Проанализированы преимущества и недостатки криптовалют по отношению к фиатным деньгам, рассмотрены правовые аспекты регулирования криптоактивов в Украине и за рубежом, перспективы и потенциальные угрозы использования криптовалют и технологии блокчейн.

Предложен концептуальный подход к оценке и краткосрочному прогнозированию криптоактивов на основе межотраслевого стандарта организации интеллектуального анализа данных CRISP-DM, который является документированной и свободно распространенной моделью описания основных фаз, выполнение которых позволяет исследователям получить синергетический эффект от использования методов интеллектуального анализа данных, математического и компьютерного моделирования.

Проведенный в работе анализ модельного инструментария анализа и прогнозирования динамики криптовалют позволяет сделать вывод о перспективности применения методов машинного обучения (Machine Learning) в

сочетании с моделями временных рядов ARIMA, а также с использованием фрактального и энтропийного анализа.

Разработан алгоритм бинарного авторегрессионного дерева, который является обобщением моделей деревьев и классификаций. Предложенный алгоритм позволяет осуществлять кусочно-линейную аппроксимацию фазового пространства входных лаговых переменных и строить собственную авторегрессионную модель для каждого сегмента, при этом он лучше адаптирован для работы со скалярными и векторными временными рядами.

Проведено численную оценку горизонта прогноза с применением фрактального и энтропийного анализа и проведены модельные прогнозные расчеты динамики временных рядов криптовалют как с использованием моделей BART, так и моделей семейства ARIMA-ARFIMA. В результате проведенного анализа было выяснено, что для большинства криптовалют этот горизонт составляет порядка 30 дней.

Модельные эксперименты проводились как для 9 временных рядов криптовалют, так и 2-х классических активов (фондового индекса Nikkei и курса акций компании Apple), которые показали эффективность предложенного нами подхода к прогнозированию инновационных финансовых инструментов.

Проведенное теоретическое и экспериментальное исследование показало адекватность построенных моделей и эффективность их применения с целью поддержки и принятия управленческих решений на крипторынке.

Ключевые слова: инновационные финансовые инструменты, криптовалюта, машинное обучение, деревья классификации и регрессий, модель бинарного авторегрессионного дерева, краткосрочное прогнозирование, фрактальный и энтропийный анализ, горизонт прогноза.

SUMMARY

Datsenko N.V. Model system for evaluating and forecasting innovative financial assets (cryptocurrencies). – Manuscript.

The dissertation for obtaining scientific degree of candidate of economic sciences in specialty 08.00.11 – Mathematical methods, models and information technologies in the economics. – Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman, Kyiv, 2019.

The dissertation is devoted to the further development of theoretical basis and experimental tools for modeling and forecasting dynamics of innovative financial assets (cryptocurrencies).

The thesis is defined the role and place of cryptocurrencies in the current level of the world economy progress, clarifies the categorical apparatus and economic essence of the definition of «cryptocurrency», developed taxonomy of cryptocurrencies on the basis of their technological and cryptographic properties.

A conceptual approach to the evaluation and short-term forecasting of crypto-assets based on the CRISP-DM data mining inter-industry standard is proposed.

The binary autoregression tree algorithm (BART) is proposed. This model performs piecewise linear approximation phase space and build an autoregressive model for each segment.

Numerical estimation of the forecast horizon was calculated using fractal and entropy analysis, and cryptocurrencies time series forecasts were performed using BART and ARIMA-ARFIMA models.

The conducted theoretical and experimental study showed the adequacy of the built models and the effectiveness of their application in order to support making decisions on the crypto market.

Keywords: innovative financial assets, cryptocurrencies, machine learning, classification and regression trees, binary autoregressive tree model, short-term forecasting, fractal and entropy analysis, forecast horizon.