

**Бешко Богдан Тарасович**

старший викладач кафедри інженерії програмного забезпечення та кібербезпеки

Державний торговельно-економічний університет, м. Київ, Україна

ORCID ID: 0000-0001-6599-0808

b.beshko@knuca.edu.ua

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗУВАННЯ РИНКУ ЦИФРОВИХ КРИПТОВАЛЮТ

Анотація. З розвитком фінансових інститутів дане прикладне ПЗ та супутні інформаційні технології використовуються не лише фахівцями, а й простими громадянами для вирішення завдань, які ще кілька років тому здавалися під силу лише фахівцям математикам, що спеціалізуються, наприклад, на побудові моделей прогнозування. Можна відзначити, що колаборація ІТ з прикладним програмним забезпеченням, а також з математичним апаратом, найбільш типовим для завдань прогнозування дає хороші результати. Зокрема, це стосується і ринку ЦКВ. Дослідження присвячено питанню проблематики підходів до вибору методів та стратегій аналізу та прогнозування ринків ЦКВ є актуальним питанням сьогодення. Далеко не всі можливі методи та стратегії мають достатнє висвітлення у науковому інфопросторі, що спонукає до необхідності аналізу та систематизації уже існуючої інформації в даній сфері. Відповідно, основною метою дослідження є аналіз та систематизація теоретичних засад існуючих підходів до прогнозування ринку ЦКВ. Було проведено аналіз та систематизація теоретичних засад існуючих підходів до прогнозування ринку ЦКВ. Було окреслено узагальнені переваги та недоліки структурних методів та моделей, що використовуються для складання прогнозів на ринку. Було проведено порівняльний аналіз моделей ШНМ в розрізі використання їх для задач аналізу ринку. Серед проаналізованих моделей ШНМ є такі: CNN-2l, CNN-3l, LSTM, sLSTM, BiLSTM, GRU, CLSTM, MLP та RFBNN. Проведений аналіз та тестування існуючих моделей надав результати, що надають широкий простір для подальшого дослідження та вивчення.

Ключові слова: інформаційні технології, прикладне програмне забезпечення, цифрові валюти, криптовалюта, штучні нейронні мережі

ВСТУП

Інформаційні технології (ІТ) у поєднанні з різного роду прикладним програмним забезпеченням (ППЗ), застосовуються в багатьох видах діяльності людини. З розвитком фінансових інститутів дане прикладне ПЗ та супутні інформаційні технології використовуються не лише фахівцями, а й простими громадянами для вирішення завдань, які ще кілька років тому здавалися під силу лише фахівцям математикам, що спеціалізуються, наприклад, на побудові моделей прогнозування. Можна відзначити, що колаборація ІТ з прикладним програмним забезпеченням, а також з математичним апаратом, найбільш типовим для завдань прогнозування дає хороші результати. Зокрема, це стосується і ринку ЦКВ.

Постановка проблеми. Проблематика підходів до вибору методів та стратегій аналізу та прогнозування ринків цифрових криптовалют (ЦКВ) є актуальним питанням сьогодення. Далеко не всі можливі методи та стратегії мають достатнє висвітлення у науковому інфопросторі, що спонукає до необхідності аналізу та систематизації уже існуючої інформації в даній сфері.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розглядаючи ретроспективу розвитку ринку цифрових криптовалют (далі ЦКВ), можна досить швидко переконатися, що



інтерес до цього ринку стрімко зростає протягом невеликого відрізка часу. На даному часовому інтервалі інтерес до ЦКВ початково виявляли виключно ентузіасти [1-4], але згодом цей ринок зацікавив дуже широке коло інвесторів [5-8]. Причому сьогодні вже багато держав та їхні фінансові організації, наприклад, банки, кредитні та страхові компанії мають у своїх активах ЦКВ [9-11]. Також багато держав та їхні фінансові організації обговорюють питання про повне визнання ЦКВ як повноцінного платіжного засобу і, відповідно, просувають ідею розвитку повноцінних платіжних систем для ЦКВ на державному рівні. Сьогодні у світі активно функціонують спеціалізовані криптовалютні біржі [12-14]. Такі біржі сприяють веденню торгів між приватними інвесторами і окремими компаніями, які визнають ЦКВ як легітимні платіжні засоби [15-17].

Мета статті. Метою дослідження є аналіз та систематизація теоретичних засад існуючих підходів до прогнозування ринку ЦКВ.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Можна зазначити певну аналогію між класичною біржовою діяльністю та діяльністю бірж, що займаються угодами з ЦКВ. Однак динаміка зміни цін на ринку ЦКВ не співставна з динамікою зміни цін на класичних біржових майданчиках. А це робить завдання прогнозування курсів ЦКВ та аналізу ризиків інвестування у ЦКВ надзвичайно актуальним.

Дослідників у своїх публікаціях висвітлювали поняття ЦКВ у різних аспектах: економічному [18, 19], юридичному [20, 21], міжнародному [22, 23], з погляду інформаційної безпеки [24-30] та ін.

Оскільки інтерес до прогнозування постійно зростає, то на сьогоднішній день можна нарахувати понад сто методів та відповідних моделей, які використовуються для складання прогнозів на ринку ЦКВ.

Методи прогнозування можна розбити на цілому дві досить великі підгрупи. Відповідно, це інтуїтивні та формалізовані методи.

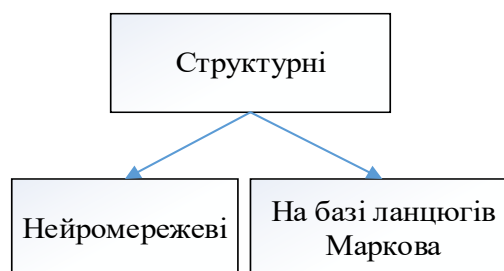
Інтуїтивні методи прогнозування ґрунтуються на судженнях експертів. Отже апіорі є суб'єктивними. Такі думки експертів виправдані якщо об'єкт дослідження складний і погано підлягає формалізації з урахуванням математичного апарату. Або в діаметрально протилежній ситуації. Коли об'єкт дослідження досить простий і його опис з використанням математичних підходів не виправдано, наприклад, з праці чи тимчасових витрат.

На поточний момент часу залишається до кінця не вирішеним наукове завдання пошуку та розробки спеціального інструментарію, що дозволяє передбачати та прогнозувати коригування курсів ЦКВ

Зазначимо, що в науково-публікаційному просторі вкрай рідко можна зустріти роботи, які присвячені тематиці використання альтернативних методів прогнозування. Наприклад, прогнози на основі застосування теорії ігор, ланцюгів Маркова нечіткої логіки та ін. Вкрай рідко зустрічаються і роботи із застосування штучних нейронних мереж для складання прогнозу курсів ЦКВ та ризиків для інвестора. Переважно в [17-33] розглядаються питання, що носять скоріше суто дослідницький характер і, спрямовані на експертне оцінювання перспектив розвитку ринку ЦКВ.

Аналізуючи переваги та недоліків структурних моделей, можна зазначити, що в цих моделях функціональні залежності задаються структурно між відомими зовнішніми факторами і майбутніми значеннями відповідних часових рядів. На Рисунку 1 представлені структурні моделі, що найчастіше використовуються. А в таблиці в Таблиці

1. на підставі аналізу попередніх досліджень [34-41] узагальнено переваги та недоліки таких моделей.



*Рис.1. Схема класифікації структурних методів
 Джерело: агреговано автором за даними [34-41]*

Таблиця 1

Узагальнені переваги та недоліки структурних методів та моделей, що використовуються для складання прогнозів на ринку

№	Метод / модель	Переваги	Недоліки
1	Нейромережеві	1) нелінійність моделей; 2) масштабованість, 3) висока адаптивність розроблених нейронних мереж (НМ) для однотипних завдань, наприклад щодо завдань програмування; 4) однаковість методів проектування нейронних мереж; 5) безліч прикладів застосування НМ.	1) подібні моделі часто не «прозорі»; 2) для низки завдань можуть виникнути труднощі при виборі архітектури СР; 3) досить високі вимоги до навчальних вибірок; 4) складність вибору алгоритму/алгоритмів, які використовуються під час навчання; 5) ресурсомісткість (насамперед витрати часу) процесів навчання.
2	На базі ланцюгів Маркова	1) простота; 2) гнучкість; 3) рівність під час аналізу подібних моделей.	1) відсутність можливості моделювати процеси з «довгою» пам'яттю.

Джерело: складено автором на підставі аналізу публікацій [44-51]

Більшість моделей та методів, які складають основу обчислювальних модулів за прогнозами для онлайн-платформ базуються на статистичних підходах. Якщо проаналізувати ретроспективу новин і публікацій [1-5, 7-15] то можна перейти до висновку - попит на ЦКВ формується в багатьох випадках на тлі повідомлень новин про нові інновації або розробки, які анонсуються компаніями, що спеціалізуються на ІТ або інших нових технологіях [20, 24-29].

Популярність ЦКВ у соціальних мережах, постійна реклама у ЗМІ та хороші новини для потенційних нових інвесторів на даному ринку є додатковою ознакою



стабільності чи потенційного зростання курсу ЦКВ. Чим більше гравців на біржах, які займаються торгівлею ЦКВ, знає про тенденції на ринку, тим більше людей мають наміри вкладати свої фінансові ресурси або спробувати грати на біржах ЦКВ. Такий підхід до розгляду ситуації з точки зору умовної гри робить перспективним завдання опису прогнозів та ризиків для гравців на основі теорії ігор [30]. Такий підхід, як було показано в роботах [30, 31] добре підходить для ситуацій, коли необхідно враховувати ймовірності спекулятивних стрибків курсу.

Проблема прогнозування курсів ЦКВ, а також окремі завдання в рамках загальної проблеми, наприклад, розвиток ІТ та спеціалізованого ПЗ, залишаються відкритими та актуальними для вчених.

Як було показано в роботах [1-10] курси ЦКВ залежать від курсів за попередні періоди. Отже, подібні прогнозні моделі апіорі повинні включати можливості щодо додаткового залучення авторегресії. Така комбінація методів та моделей дає досить точні прогнози для короткострокового прогнозування, але передбачити прогноз на більш довгий період та велику кількість індикаторів практично неможливо [33].

Ключовою проблемою прогнозних моделей на основі тимчасових рядів залишається та обставина, що для складання якісного прогнозу на такому чутливому ринку як ринок ЦКВ необхідно виконати передобробку даних [28, 33].

Для вирішення подібного завдання, пов'язаного з передобробкою добре підходить апарат штучних нейронних мереж (ШНМ). ШНМ здатна оперативно перевчитися, даючи можливість моделі на основі часових рядів видавати адекватний прогноз із мінімальною похибкою [33].

Однак, якщо ШНМ спроектована без урахування можливих змін ситуації на ринку, вона погано справлятиметься із завданням перенавчання. Тому доцільно доповнити класичну ШНМ моделями, наприклад, на основі теорії ігор, що апіорі підходять для ситуацій на ринку ЦКВ. І дійсно теорії ігор, як уже було неодноразово показано на практиці, а також у ряді наукових публікацій [30, 31, 33] чудово зарекомендувала себе в моделях, що описують виникнення на ринку принципово нової ситуації. У такому разі застосування ШНМ у поєднанні з іншими методами та моделями, наприклад, апаратом теорії ігор або тимчасовими рядами, здатне забезпечити достатню представницькість передісторії ряду та у загальному сенсі його стаціонарність.

Якщо розглядати досвід застосування ШНМ для прогнозування ринку, слід звернути увагу на такі фундаментальні дослідження з цього напрямку, як роботи [12-14]. У цих роботах авторами розглядалися базові принципи використання ШНМ для передбачення фінансових рядів. Але автори практично не розглядали ЦКВ, зосередивши свою увагу на ринку акцій. Ефективність застосування розроблених у рамках цих досліджень ШНМ, пояснювалася здатністю ШНМ уловлювати нелінійні залежності. А саме ця обставина, на думку авторів, є ключовою у фінансовій сфері. Це пояснюється тим, що такі моделі добре адаптуються і на інші схожі ринки, наприклад, традиційні валюти чи ЦКВ.

У роботі [15] розглянуто досвід застосування ШНМ для прогнозування поведінки ЦКВ Ethereum. У ході досліджень та подальшого порівняння результатів як вхідні дані використовувалися котирування на момент закриття торгових сесії, а також середньозважені котирування, що фіксуються протягом торгів. У дослідженні автори порівнювали такі моделі (див. таб. 1.3.)

Таблиця 2

Порівняльний аналіз моделей ШНМ для прогнозування

№	Модель	Переваги	Недоліки
1	CNN-2l - Згорткова НМ. Така мережа складається з вхідного та вихідного рівнів (два згорткових шари). Також є кілька прихованих шарів. Приховані шари CNN-2l, як правило, включають серію згорткових шарів.	1) менша кількість ваг, що настроюються 2) зручне розпаралелювання обчислень 3) навчання можна здійснити, використовуючи класичний метод зворотного поширення помилки.	1) підходять для завдань розпізнавання та класифікації зображень; 2) багато параметрів ШНМ, що варіюються.
2	CNN-3l - три згорткових шара).	Аналогічно до CNN-2l	Аналогічно до CNN-2l
3	LSTM - (Long short-term memory - Довга короткострокова пам'ять або LSTM) – різновид архітектури рекурентних НМ, здатних до навчання довгострокових залежностей. Автори: Зепп Хохрайтер, Юрген Шмидхубер (1997 г.)	1) підходить для вирішення завдань обробки та прогнозування часових рядів; 2) добре описана у літературі (наприклад, [15]).	1) переважно орієнтована на рішення завдання класифікації; 2) застосування LSTM виправдане, якщо важливі події розділені тимчасовими лагами з невизначеною тривалістю та чіткими границями.
4	sLSTM - стекова мережа з довготривалою короткочасною пам'яттю (SLSTM).	1) підходить для вирішення завдань обробки та прогнозування; 2) досить докладно описано.	1) багато параметрів ШНМ, що варіюються; 2) потрібно багато великих навчальних вибірок для отримання якісного результату прогнозування.
5	BiLSTM – двонаправлена LSTM або biLSTM – це модель обробки даних, що складається з двох LSTM: перша приймає вхідні дані у прямому напрямку, друга – у зворотному.	1) ефективно збільшує обсяг інформації, доступної для ШНМ; 2) підходить для завдань прогнозування.	1) в основному орієнтована на вирішення завдання класифікації, що меншою мірою пристосовані для прогнозування; 2) застосування BiLSTM виправдане, якщо важливі події розділені тимчасовими лагами з невизначеною тривалістю та чіткими границями.
6	GRU – (Gated Recurrent Units, GRU - Керовані рекурентні блоки).	1) GRU подібний до LSTM, але має менше параметрів, ніж LSTM. 2) Добре описана у літературі.	Аналогічно LSTM
7	CLSTM – (Контекстна LSTM), розширення рекурентної ШНМ.	1) підходить для вирішення завдань обробки та прогнозування часових рядів; 2) добре описана у літературі (наприклад, [13, 14, 15]).	Аналогічно LSTM
8	MLP – багатошаровий перцептрон - це повнозв'язковий клас ШНМ із прямим зв'язком (ANN).	1) Найбільш поширена мережа, яка описана практично у всіх підручниках.	1) Важливо при конструюванні не помилитися з визначенням числа проміжних шарів та числа елементів у них.

		2) Можна легко реалізувати алгоритмічними мовами, наприклад, Python.	2) Не завжди можна отримати якісний прогноз при невеликій кількості шарів.
9	RFBNN - Real Full Binary Neural Network (RFBNN), метод, який дозволяє скорочувати обсяги пам'яті та обчислювальну потужність для завдань глибокого навчання (Deep Neural Networks).	1) Метод та відповідні ШНМ в основному орієнтовані на завдання класифікації; 2) дозволяє на 20-25% [13, 15] скорочувати обсяги пам'яті та обчислювальну потужність для завдань глибокого навчання.	1) ускладнення архітектури ШНМ; 2) Важливо при конструюванні не помилитися з визначенням числа проміжних шарів та числа елементів у них.

Джерело: складено автором на підставі аналізу публікацій [12-15, 33]

Як впливає з досліджень [12-15, 33] кращі результати в ході тестування були отримані для мереж LSTM і CLSTM, див. малюнки 1.4, 1.5, відповідно.

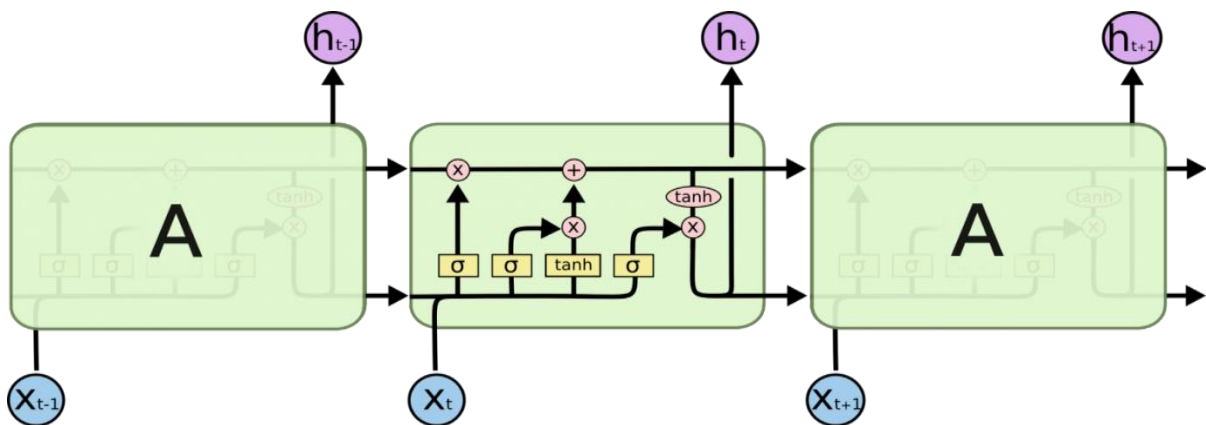


Рис.2. Принципова архітектура LSTM

Джерело: на основі даних [15]

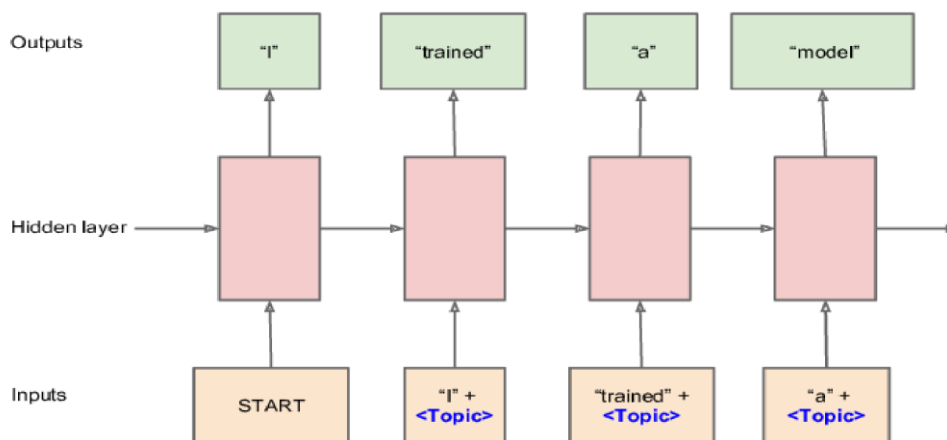


Рис.3. Принципова архітектура CLSTM

Джерело: на основі даних [14, 15]



Архітектура LSTM включала шар із 50 нейронів. Як функцію активації прийнята функція гіперболічного тангенсу. Для експериментальних досліджень можливість виключення нейронів була прийнята 0.2. Також застосовувалася L2 регуляризація, на яку значення становило 0.0001. Це на думку авторів достатньо для того, щоб вирішити проблему перенавчання.

У своїй роботі автори [15] головним завданням бачили передбачення того, як формуватиметься тренд руху ЦКВ. Однак, зауважимо, що завдання аналізу ризику для гравців втратити свої фінансові ресурси у разі зміни тренду або вхід на ринок великих гравців, які спекулюють ЦКВ, у принципі не ставилося, що дещо знижує цінність отриманих авторами результатів.

У [13, 14] автори будували ШНМ виходячи з пріоритетності завдання класифікації індикаторів. Насамперед їх цікавили відповіді питання – у якому напрямку рухатиметься вартість ЦКВ. При цьому як основні приймаються такі технічні параметри, характерні для біржової торгівлі ЦКВ: макроекономічні параметри та технічні індикатори.

Навчання ШНМ проводилося за реальними даними закриття торгів за певний часовий інтервал. Паралельно з цим у навчальну вибірку додавалися дані щодо макроекономічних показників, на які чуйно реагує ринок. Гібридна LSTM мережа показала кращі результати, ніж звичайна LSTM. Однак і навчання такої мережі зайняло більш тривалий час.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Було проведено аналіз та систематизація теоретичних засад існуючих підходів до прогнозування ринку ЦКВ. Було окреслено узагальнені переваги та недоліки структурних методів та моделей, що використовуються для складання прогнозів на ринку. Для подальшого детального аналізу було обрано нейромережевий підхід, як більш перспективний та сучасний, до аналізу ринків ЦКВ. Було проведено порівняльний аналіз моделей ШНМ в розрізі використання їх для задач аналізу ринку. Серед проаналізованих моделей ШНМ є такі: CNN-2l, CNN-3l, LSTM, sLSTM, BiLSTM, GRU, CLSTM, MLP та RFBNN. В процесі дослідження було встановлено, що кращі результати в ході тестування були отримані для мереж LSTM і CLSTM. Навчання ШНМ проводилося за реальними даними закриття торгів за певний часовий інтервал. Паралельно з цим у навчальну вибірку додавалися дані щодо макроекономічних показників, на які чуйно реагує ринок. Гібридна LSTM мережа показала кращі результати, ніж звичайна LSTM.

Провівши аналіз та тестування існуючих моделей було отримано результат, що напряму впливає на курс подальшого дослідження. В подальшому дослідженні буде проведено більш глибокий аналіз та тестування гібридної LSTM мережі для вирішення питань прогнозування ринків ЦКВ, з можливістю її подальшого використання, як складової, у розробці інструменту для прогнозування ЦКВ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 Примостка, О. О. (2016). Проблеми та перспективи інституційного регулювання ринку криптовалют. *Економіка. Фінанси. Менеджмент: актуальні питання науки і практики*, 5, 69-79. http://nbuv.gov.ua/UJRN/efmapnp_2016_5_8
- 2 Сословський, В. Г., Косовський, І. О. (2016). Ринок криптовалют як система. *Фінансово-кредитна діяльність: проблеми теорії та практики*, (2), 236-246.



- 3 Галушка, Є. О., Пакон, О. Д. (2017). Сутність криптовалют та перспективи їх розвитку. *Молодий вчений*, (4), 634-638.
- 4 Гладких, Д. М. (2017). Проблеми та перспективи розвитку ринку криптовалют в Україні. *Бизнес Информ*, 8(475), 254-258.
- 5 Verestova A., Vereshchahina H. (2021). Development of cryptocurrencies in the modern system of money circulation. *Економічні студії*, 1(31).
- 6 Мінц, О. Ю. Системно-динамічний аналіз ринку криптовалют. In *Materials of International scientific-practical conference* (p. 245).
- 7 Федорова, Ю. В. (2018). Криптовалюти та їх місце у фінансовій системі. *Економіка і суспільство*, (15), 771-774.
- 8 Москальов, А., Попова, Е. (2018). Криптовалюта на сучасній економічній арені та перспективи розвитку bitcoin, ethereum, ripple. *Молодий вчений*, 3(55), 680-684.
- 9 Васильчак, С. В., Куницька-Ляш, М. В., Дубина, М. П. (2017). Використання криптовалют в сучасних економічних системах України: перспективи та ризики. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені СЗ Гжицького. Серія: Економічні науки*, 19(76), 19-25.
- 10 Васильчишин, О. Б., Кекіш, І. П. (2017). Феномен криптовалют у зв'язку із сучасними теоретичними та правовими викликами. *Вісник Одеського національного університету. Серія: Економіка*, 22(10), 170-178.
- 11 Урбанович, В., Яковишина, Н. (2018). Криптовалюта в Україні та в світі: стан, регулювання і перспективи розвитку. *Молодий вчений*, 5(57), 334-337.
- 12 Alonso-Monsalve, A. Suárez-Cetrulo, L., Cervantes, A., Quintana, D. (2020). Convolution on neural networks for high-frequency trend prediction of cryptocurrency exchange rates using technical indicators. *Expert Systems with Applications*, 149, 113250. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113250>.
- 13 Huang, W., Lai, K. K., Nakamori, Y., Wang, S., Yu., L. (2007). Neural networks in finance and economics forecasting. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 6(1), 113-140. <https://doi.org/10.1142/S021962200700237X>
- 14 Neely, Ch., Rapach, D., Tu, J., Zhou, G. (2011). Forecasting the Equity Risk Premium: The Role of Technical Indicators. *Management Science*, 60. <https://doi.org/10.2139/ssrn.1787554>.
- 15 Zoumpikas, T., Houstis, E., Vavalis, M. (2020). Eth analysis and predictions utilizing deep learnin. *Expert Systems with Applications*, 162, 113866. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113866>
- 16 Несен, О. В., Цірук, К. А. (2018). Проблемні аспекти використання криптовалют в Україні та світі. *Молодий вчений*, 5(2), 735-738.
- 17 Зінченко, О. В. (2017). Щодо законодавчого врегулювання відносин у сфері обігу криптовалют. *Часопис Київського університету права*, (4), 145-147.
- 18 Ertz, M., Boily, É. (2019). The rise of the digital economy: Thoughts on blockchain technology and cryptocurrencies for the collaborative economy. *International Journal of Innovation Studies*, 3(4), 84-93. <https://doi.org/10.1016/j.ijis.2019.12.002>
- 19 Bunjaku, F., Gjorgieva-Trajkovska, O., Miteva-Kacarski, E. (2017). Cryptocurrencies—advantages and disadvantages. *Journal of Economics*, 2(1), 31-39. <https://www.doi.org/10.46763/JOE>
- 20 Sapovadia, V. (2015). Legal Issues in Cryptocurrency. (pp. 253-266). *Academic Press*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802117-0.00013-8>.
- 21 Haynes, A., Yeoh, P. (2020). Cryptocurrencies and Cryptoassets: Regulatory and Legal Issues. *Taylor & Francis*. <https://doi.org/10.4324/9781003034599>.
- 22 Lansky, J. (2018). Possible State Approaches to Cryptocurrencies. *Journal of Systems Integration*, 8. <https://doi.org/10.20470/jsi.v9i1.335>.
- 23 Busse, K., Tahaei, M., Krombholz, K., von Zezschwitz, E., Smith, M., Tian, J., Xu, W. (2020). Cash, Cards or Cryptocurrencies? A Study of Payment Culture in Four Countries. In *2020 IEEE European Symposium on Security and Privacy Workshops (EuroS&PW)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/eurospw51379.2020.00035>.
- 24 Navamani, T. M. (2021). A Review on Cryptocurrencies Security. *Journal of Applied Security Research*, 1-21. <https://doi.org/10.1080/19361610.2021.1933322>.
- 25 Zhang, Y., Gai, K., Qiu, M., Ding, K. (2020). Understanding Privacy-Preserving Techniques in Digital Cryptocurrencies. In *Algorithms and Architectures for Parallel Processing* (p. 3-18). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-60248-2_1
- 26 Tredinnick, L. (2019). Cryptocurrencies and the blockchain. *Business Information Review*, 36(1), 39-44. <https://doi.org/10.1177/0266382119836314>
- 27 Morisse, M. (2015). Cryptocurrencies and bitcoin: Charting the research landscape. In *Conference: Twenty-first Americas Conference on Information Systems At: Puerto Rico*.



- 28 Bucko, J. O. Z. E. F., Palová, D., Vejacka, M. (2015). Security and trust in cryptocurrencies. *In Central European Conference in Finance and Economics* (pp. 14-24).
- 29 Zhang, P., Schmidt, D. C., White, J., Dubey, A. (2019). Consensus mechanisms and information security technologies. *Advances in Computers*, 115, 181-209. <https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2019.05.001>
- 30 Z. Liu *et al.* (2019). A Survey on Blockchain: A Game Theoretical Perspective. *IEEE Access*, 7, 47615-47643. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2909924.
- 31 Liu, Z., Luong, N. C., Wang, W., Niyato, D., Wang, P., Liang, Y. C., Kim, D. I. (2019). A survey on applications of game theory in blockchain. *arXiv preprint arXiv:1902.10865*.
- 32 Merwe, A. V. D. (2021). Cryptocurrencies and Other Digital Asset Investments. In *The Palgrave Handbook of FinTech and Blockchain* (pp. 445-471). *Palgrave Macmillan, Cham*. DOI: 10.1007/978-3-030-66433-6_20
- 33 Khedr, A. M., Arif, I., El-Bannany, M., Alhashmi, S. M., Sreedharan, M. (2021). Cryptocurrency price prediction using traditional statistical and machine-learning techniques: A survey. *Intelligent Systems in Accounting, Finance and Management*, 28(1), 3-34. DOI: 10.1002/isaf.1488
- 34 Abraham, M. (2020). Dipple, S., Choudhary, A., Flamino, J., Szymanski, B. K., & Korniss, G. (2020). Using correlated stochastic differential equations to forecast cryptocurrency rates and social media activities. *Applied Network Science*, 5(1), 1-30. DOI: 10.1007/s41109-020-00259-1
- 35 Zhang, Z., Dai, H. N., Zhou, J., Mondal, S. K., García, M. M., Wang, H. (2021). Forecasting cryptocurrency price using convolutional neural networks with weighted and attentive memory channels. *Expert Systems with Applications*, 183, 115378. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115378>
- 36 Wu, K., Wheatley, S., Sornette, D. (2018). Classification of cryptocurrency coins and tokens by the dynamics of their market capitalizations. *Royal Society open science*, 5(9), 180381. DOI: 10.1098/rsos.180381
- 37 Sebastião, H., Godinho, P. (2021). Forecasting and trading cryptocurrencies with machine learning under changing market conditions. *Financial Innovation*, 7(1), 1-30. DOI: 10.1186/s40854-020-00217-x
- 38 Koki, C., Leonardos, S., Piliouras, G. (2022). Exploring the predictability of cryptocurrencies via Bayesian hidden Markov models. *Research in International Business and Finance*, 59, 101554. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2021.101554>
- 39 Mallqui, D. C., Fernandes, R. A. (2019). Predicting the direction, maximum, minimum and closing prices of daily Bitcoin exchange rate using machine learning techniques. *Applied Soft Computing*, 75, 596-606. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.11.038>
- 40 Mannaro, K., Pinna, A., Marchesi, M. (2017). Crypto-trading: Blockchain-oriented energy market. In *2017 AEIT International Annual Conference*. IEEE. <https://doi.org/10.23919/aeit.2017.8240547>.
- 41 Fang, F., Ventre, C., Basios, M., Kanthan, L., Martinez-Rego, D., Wu, F., Li, L. (2022). Cryptocurrency trading: a comprehensive survey. *Financial Innovation*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s40854-021-00321-6>

**Bohdan Bebeshko**

Senior Lecturer of the Department of Software Engineering and Cybersecurity

State University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine

ORCID ID: 0000-0001-6599-0808

b.bebeshko@knute.edu.ua**ANALYSIS OF DIGITAL CRYPTOCURRENCY MARKET FORECASTING METHODS AND MODELS**

Abstract. With the development of financial institutions, this application software and related information technologies are used not only by specialists, but also by ordinary citizens to solve tasks that a few years ago seemed to be within the competence of only mathematicians specializing, for example, in building forecasting models. It can be noted that the collaboration of IT with application software, as well as with the mathematical apparatus most typical for forecasting tasks, gives good results. In particular, this applies to the Central Bank market. The study is devoted to the problem of approaches to the selection of methods and strategies for analysis and forecasting of the central bank markets, which is an urgent issue today. Far from all possible methods and strategies have sufficient coverage in the scientific information space, which prompts the need to analyze and systematize already existing information in this field. Accordingly, basically, the purpose of the study is to analyze and systematize the theoretical foundations of existing approaches to forecasting the CCV market. An analysis and systematization of the theoretical foundations of existing approaches to forecasting the CCV market was carried out. Generalized advantages and disadvantages of structural methods and models used for making market forecasts were outlined. A comparative analysis of ANN models was carried out in terms of their use for market analysis tasks. Among the analyzed ANN models are the following: CNN-2l, CNN-3l, LSTM, sLSTM, BiLSTM, GRU, CLSTM, MLP and RFBNN. The analysis and testing of existing models provided results that provide a wide scope for further research and study.

Keywords: information technologies, application software, digital currencies, cryptocurrency, artificial neural networks.

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

- 1 Prymostka, O. O. (2016). Problems and prospects of institutional regulation of the cryptocurrency market. *Economy. Finances. Management: topical issues of science and practice*, 5, 69-79.
- 2 Soslovsky, V. G., Kosovsky, I. O. (2016). Cryptocurrency market as a system. *Financial and credit activity: problems of theory and practice*, (2), 236-246.
- 3 Galushka, E. O., Pakon, O. D. (2017). The essence of cryptocurrencies and prospects for their development. *Young scientist*, (4), 634-638.
- 4 Gladkikh, D. M. (2017). Problems and prospects for the development of the cryptocurrency market in Ukraine. *Business Inform*, 8(475), 254-258.
- 5 Berestova A., Vereshchahina H. (2021). Development of cryptocurrencies in the modern system of money circulation. *Economic studies*, 1(31).
- 6 Mints, O. Yu. System-dynamic analysis of the cryptocurrency market. *In Materials of International scientific-practical conference* (p. 245).
- 7 Fedorova, Yu. V. (2018). Cryptocurrencies and their place in the financial system. *Economy and society*, (15), 771-774.
- 8 Moskalyov, A., Popova, E. (2018). Cryptocurrency in the modern economic arena and prospects for the development of bitcoin, ethereum, ripple. *Young scientist*, 3(55), 680-684.
- 9 Vasylychak, S. V., Kuniytska-Ilyash, M. V., Dubina, M. P. (2017). The use of cryptocurrencies in modern economic systems of Ukraine: prospects and risks. *Scientific bulletin of SZ Gzhitsky Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology. Series: Economic Sciences*, 19(76), 19-25.
- 10 Vasylychshyn, O. B., Kekish, I. P. (2017). The phenomenon of cryptocurrencies in connection with modern theoretical and legal challenges. *Bulletin of Odessa National University. Series: Economics*, (22, Issue 10), 170-178.
- 11 Urbanovich, V., Yakovyshyn, N. (2018). Cryptocurrency in Ukraine and in the world: state, regulation and development prospects. *Young scientist*, 5(57), 334-337.



- 12 Alonso-Monsalve, A. Suárez-Cetrulo, L., Cervantes, A., Quintana, D. (2020). Convolution on neural networks for high-frequency trend prediction of cryptocurrency exchange rates using technical indicators. *Expert Systems with Applications*, 149, 113250. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113250>.
- 13 Huang, W., Lai, K. K., Nakamori, Y., Wang, S., Yu., L. (2007). Neural networks in finance and economics forecasting. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 6(1), 113–140. <https://doi.org/10.1142/S021962200700237X>
- 14 Neely, Ch., Rapach, D., Tu, J., Zhou, G. (2011). Forecasting the Equity Risk Premium: The Role of Technical Indicators. *Management Science*, 60. <https://doi.org/10.2139/ssrn.1787554>.
- 15 Zoumpikas, T., Houstis, E., Vavalis, M. (2020). Eth analysis and predictions utilizing deep learnin. *Expert Systems with Applications*, 162, 113866. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113866>
- 16 Nesen, O. V., Tsiruk, K. A. (2018). Problematic aspects of the use of cryptocurrencies in Ukraine and the world. *Young scientist*, 5(2), 735-738.
- 17 Zinchenko, O. V. (2017). Regarding the legislative regulation of relations in the field of circulation of cryptocurrencies. *Journal of the Kyiv University of Law*, (4), 145-147.
- 18 Ertz, M., Boily, É. (2019). The rise of the digital economy: Thoughts on blockchain technology and cryptocurrencies for the collaborative economy. *International Journal of Innovation Studies*, 3(4), 84-93. <https://doi.org/10.1016/j.ijis.2019.12.002>
- 19 Bunjaku, F., Gjorgieva-Trajkovska, O., Miteva-Kacarski, E. (2017). Cryptocurrencies–advantages and disadvantages. *Journal of Economics*, 2(1), 31-39. <https://www.doi.org/10.46763/JOE>
- 20 Sapovadia, V. (2015). Legal Issues in Cryptocurrency. (pp. 253-266). *Academic Press*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802117-0.00013-8>.
- 21 Haynes, A., Yeoh, P. (2020). Cryptocurrencies and Cryptoassets: Regulatory and Legal Issues. *Taylor & Francis*. <https://doi.org/10.4324/9781003034599>.
- 22 Lansky, J. (2018). Possible State Approaches to Cryptocurrencies. *Journal of Systems Integration*, 8. <https://doi.org/10.20470/jsi.v9i1.335>.
- 23 Busse, K., Tahaei, M., Krombholz, K., von Zezschwitz, E., Smith, M., Tian, J., Xu, W. (2020). Cash, Cards or Cryptocurrencies? A Study of Payment Culture in Four Countries. In *2020 IEEE European Symposium on Security and Privacy Workshops (EuroS&PW)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/eurospw51379.2020.00035>
- 24 Navamani, T. M. (2021). A Review on Cryptocurrencies Security. *Journal of Applied Security Research*, 1-21. <https://doi.org/10.1080/19361610.2021.1933322>.
- 25 Zhang, Y., Gai, K., Qiu, M., & Ding, K. (2020). Understanding Privacy-Preserving Techniques in Digital Cryptocurrencies. In *Algorithms and Architectures for Parallel Processing* (p. 3–18). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-60248-2_1
- 26 Tredinnick, L. (2019). Cryptocurrencies and the blockchain. *Business Information Review*, 36(1), 39-44. <https://doi.org/10.1177/0266382119836314>
- 27 Morisse, M. (2015). Cryptocurrencies and bitcoin: Charting the research landscape. In *Conference: Twenty-first Americas Conference on Information Systems At: Puerto Rico*.
- 28 Bucko, J. O. Z. E. F., Palová, D., Vejacka, M. (2015). Security and trust in cryptocurrencies. In *Central European Conference in Finance and Economics* (pp. 14-24).
- 29 Zhang, P., Schmidt, D. C., White, J., Dubey, A. (2019). Consensus mechanisms and information security technologies. *Advances in Computers*, 115, 181-209. <https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2019.05.001>
- 30 Z. Liu *et al.* (2019). A Survey on Blockchain: A Game Theoretical Perspective. *IEEE Access*, 7, 47615-47643. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2909924.
- 31 Liu, Z., Luong, N. C., Wang, W., Niyato, D., Wang, P., Liang, Y. C., Kim, D. I. (2019). A survey on applications of game theory in blockchain. *arXiv preprint arXiv:1902.10865*.
- 32 Merwe, A. V. D. (2021). Cryptocurrencies and Other Digital Asset Investments. In *The Palgrave Handbook of FinTech and Blockchain* (pp. 445-471). *Palgrave Macmillan, Cham*. DOI: 10.1007/978-3-030-66433-6_20
- 33 Khedr, A. M., Arif, I., El-Bannany, M., Alhashmi, S. M., Sreedharan, M. (2021). Cryptocurrency price prediction using traditional statistical and machine-learning techniques: A survey. *Intelligent Systems in Accounting, Finance and Management*, 28(1), 3-34. DOI: 10.1002/isaf.1488
- 34 Abraham, M. (2020). Dipple, S., Choudhary, A., Flamino, J., Szymanski, B. K., & Korniss, G. (2020). Using correlated stochastic differential equations to forecast cryptocurrency rates and social media activities. *Applied Network Science*, 5(1), 1-30. DOI: 10.1007/s41109-020-00259-1
- 35 Zhang, Z., Dai, H. N., Zhou, J., Mondal, S. K., García, M. M., Wang, H. (2021). Forecasting cryptocurrency price using convolutional neural networks with weighted and attentive memory channels. *Expert Systems with Applications*, 183, 115378. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115378>



- 36 Wu, K., Wheatley, S., Sornette, D. (2018). Classification of cryptocurrency coins and tokens by the dynamics of their market capitalizations. *Royal Society open science*, 5(9), 180381. DOI: 10.1098/rsos.180381
- 37 Sebastião, H., Godinho, P. (2021). Forecasting and trading cryptocurrencies with machine learning under changing market conditions. *Financial Innovation*, 7(1), 1-30. DOI: 10.1186/s40854-020-00217-x
- 38 Koki, C., Leonardos, S., Piliouras, G. (2022). Exploring the predictability of cryptocurrencies via Bayesian hidden Markov models. *Research in International Business and Finance*, 59, 101554. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2021.101554>
- 39 Mallqui, D. C., Fernandes, R. A. (2019). Predicting the direction, maximum, minimum and closing prices of daily Bitcoin exchange rate using machine learning techniques. *Applied Soft Computing*, 75, 596-606. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.11.038>
- 40 Mannaro, K., Pinna, A., Marchesi, M. (2017). Crypto-trading: Blockchain-oriented energy market. In *2017 AEIT International Annual Conference*. IEEE. <https://doi.org/10.23919/aeit.2017.8240547>.
- 41 Fang, F., Ventre, C., Basios, M., Kanthan, L., Martinez-Rego, D., Wu, F., Li, L. (2022). Cryptocurrency trading: a comprehensive survey. *Financial Innovation*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s40854-021-00321-6>

