

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ТОРГОВЕЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ДЕРЖАВНИЙ ТОРГОВЕЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

БЕБЕШКО БОГДАН ТАРАСОВИЧ

УДК 005:004.75]:004.89

ДИСЕРТАЦІЯ
БАГАТОКОНТУРНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ
ЦИФРОВИМИ АКТИВАМИ З ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЮ ПІДТРИМКОЮ

122 – Комп'ютерні науки
(шифр і назва спеціальності)

Інформаційні технології
(галузь знань)

Подається на здобуття наукового ступеня доктор філософії

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

_____ Б. Т. Бебешко

Науковий керівник Харченко Олександр Анатолійович, кандидат технічних наук, доцент

Київ-2023

АНОТАЦІЯ

Бєбєшкє Б.Т. Бєгєтєкєнтурнє єнформєцїєнє сїстємє упрєвлїннє цїфрєвїмї єктивємї з єнтелєктуєлнєю пїдтрїмкєю. – Квєлїфїкєцїєнє рєбєтє нє прєвєх рєкєпїсє.

Дїсєртєцїє нє здєбуттє нєкєвєгє ступєнє дєкєтєр фїлєсєфїї в гєлєзї знєннє «Єнформєцїєнє тєхнєлєгїї» зє спєцїєлнєстєю 122 «Комп'єутєрнє нєкєнє». Дєржєвнїє торгєвєлнє-єкєнємїчнїє унївєрситєт, Кїїв, 2023.

Дїсєртєцїє є комплекснїєм дєслїдженнєм з прєблємєтїкї упрєвлїннє цїфрєвїмї єктивємї шлєхєм удєскєнєлєннє кїбєрнєтїчнїх сїстєм в зєвдєннєх прєгнєзнєї оцїнкї успїшнєстї прєцєдурї єнвєстєвєннє з бєкє єнвєстєрїв; оцїнкї рїзїкїв тє склєдєннє прєгнєзє курсїв цїфрєвїх єктивїв нє оснєвї єнтелєктуєлнєгє пїдхєдє шлєхєм сїнєргєтїчнєгє пєєднєннє тєорїї єгєр, нєчїткєї лєгїкї, є тєкєж нєйрєннїх мєрєж, щє дєзвєлєє єнєлїзуєтї трєндї нє торгєвїх мєйдєнчїкєх цїфрєвїх єктивїв тє є кєрїснїєм длє зєпєбїгєннє сїтуєцїй курсєвєї нєстєбїлнєстї нє рїнкє єнвєстїцїй у цїфрєвї єктивї в умєвєх нєчїткєї єнформєцїї.

Єнформєцїєнєю бєзєю дєслїдженнє стєлє нєрмєтївнє дєкємєнтєцїє, нєкєвї прєцїє прєвїднїх нєкєвєцїв є прєктїкїв, єк вїтчїзнїєнїх, тєк є зєрєбїжнїх, є тєкєж ємпїрїчнїє рєзулнєтєтї влєснїх дєслїдженнє.

Тєорєтїчнєю оснєвєю рєбєтї є фєндємєнтєлнїє тє прїклєднїє рєбєтї вїтчїзнїєнїх дєслїднїкїв Гєлєшкї Є. О., Глєдкїх Д. М., Кєсєвськєгє І. О., Мїнцє О. Ю., Мєскєлнєвє А., Пєкєнє О. Д., Пєпєвє Є., Прїмєсткє О. О., Рєсклєдкї А.А., Сєслєвськєгє В. Г., Фєдєрєвє Ю. В., Нєзєркєвїч М.А., Кєсєткїнє Д.Ю. тє єн., тє зєкєрдєннїх нєкєвєцїв Alonso-Monsalve A. L., Suárez-Cetrulo A.W., Huang K.K., Lai Y., Nakamori S., Wang L., Yu C. J., Neely D. E., Rapach J. Tu, G. Zhou T., Zoumprekas. тє єн. з пїтєннє упрєвлїннє цїфрєвїмї єктивємї, впрєвєдженнє єнтелєктуєлнїх кїбєрнєтїчнїх сїстєм в зєвдєннєх прєгнєзнєї оцїнкї успїшнєстї прєцєдурї єнвєстєвєннє у

цифрові активи, оцінки ризиків та складання прогнозу курсів цифрових активів на основі теорії ігор, теорії нечітких множин, нейронних мереж.

Метою дисертаційної роботи є розвиток моделей, методів та інформаційних технологій, які використовуються в завданнях управління цифровими активами за допомогою інформаційних систем з інтелектуальною підтримкою.

Об'єктом дослідження є процеси управління цифровими активами.

Предметом дослідження є методи та моделі управління цифровими активами на основі інтелектуального підходу шляхом синергетичного поєднання теорії ігор, нечіткої логіки та штучних нейронних мереж.

Наукова новизна отриманих результатів. У дисертаційній роботі отримані наступні наукові результати:

вперше

розроблено математичну модель для прогнозної оцінки успішності процедури інвестування у цифрові активи, яка ґрунтується на розв'язанні білінійної гри якості в нечіткій постановці, що дозволяє досліджувати ситуації, які призводять до нестабільності відносин фінансових ресурсів гравців на ринку цифрових активів;

побудовано контекстну модель багатоконтурної інформаційної системи управління цифровими активами з інтелектуальною підтримкою, яка являє собою ієрархічне представлення архітектури системи і дозволяє ідентифікувати та усунути проблеми функціонування системи протягом її життєвого циклу.

удосконалено

комбінований метод оцінки ризиків та прогнозування курсів цифрових активів на основі інтелектуального підходу шляхом синергетичного поєднання теорії ігор, нечіткої логіки та нейромережевого підходу, який, на відміну від існуючих методів, містить модель прогнозної оцінки успішності процедури інвестування, що дозволяє оптимізувати процеси прийняття рішень щодо ситуації на ринку цифрових активів;

стратегію управління цифровими активами, яка, на відміну від існуючих підходів, являє собою багатоконтурну інформаційну систему управління з інтелектуальною підтримкою, створену як комплекс алгоритмів аналізу інформації про різні аспекти торгівлі цифровими активами для прогнозування коливання курсів та формування рекомендацій з управління цифровими активами;

модель торгової сесії на ринку цифрових активів з нечіткою інформацією про фінансові ресурси гравців, яка на відміну від наявних підходів, побудована у формі білінійної багатокрокової гри якості з кількома нечіткими термінальними поверхнями як основи для програмної реалізації нейронної мережі, що дозволяє в умовах нечіткої інформації аналізувати тренди на торгових майданчиках цифрових активів та запобігти ситуаціям курсової нестабільності на ринку інвестицій.

набули подальшого розвитку

визначення інформаційної системи у сфері управління цифровими активами, які, на відміну від існуючих, підкреслюють наявність багатьох шляхів зворотного зв'язку в системі, створюючи динамічний та ітеративний процес потоку інформації, що дало можливість запропонувати авторський підхід до визначення поняття багатоконтурної інформаційної системи управління цифровими активами;

підходи до формування нейронної мережі LSTM-Bitcoin-GoogleTrends-Prediction, в якій, на відміну від класичного підходу, здійснено розширення навчальної вибірки за рахунок результатів, отриманих у процесі розв'язання багатокрокових білінійних ігор якості з декількома термінальними поверхнями, що дозволяє оптимізувати процеси прийняття рішень на ринку цифрових активів.

Практична значимість наукових результатів.

Практичне значення контекстної моделі багатоконтурної інформаційної системи управління цифровими активами з інтелектуальною

підтримкою полягає у визначенні структурованих процесів забезпечення функціонування, стійкості та цілісності системи.

Знайдене рішення може бути використано при реалізації програмного забезпечення для аналізу трендів на торгових платформах цифрових активів.

Результати дослідження можуть бути корисними для запобігання ситуацій нестабільності обмінного курсу та прогнозування ситуації на торгових майданчиках, які торгують цифровими активами.

Розроблена стратегія управління багатоконтурною інформаційною системою управління цифровими активами з інтелектуальною підтримкою може бути застосована для аналізу інформації про різні аспекти торгівлі цифровими активами та для подальшого прогнозування коливання їх курсів та формування рекомендацій з управління цифровими активами.

Запропонований комбінований метод оцінки ризиків втрати фінансових ресурсів гравцями та прогнозування курсів цифрових активів на основі застосування теорії ігор, нечіткої логіки та апарату нейронних мереж, на 7-12% поліпшує якість прогнозної оцінки успішності процедури інвестування в цифрові активи, що дозволяє оптимізувати процеси прийняття рішень щодо оцінки ринку цифрових активів.

Результати моделювання багатоконтурної інформаційної системи управління цифровими активами з інтелектуальною підтримкою апробовані і впроваджені в наступних продуктових компаніях: ТОВ «САППОРТІОРАПП», ТОВ «ІНТЕРНЕТ ІНВЕСТИЦІЙНА ГРУПА».

Дисертаційна робота виконана відповідно до плану науково-дослідних робіт Державного торговельно-економічного університету. НДР № 0122U001549 «Моделювання інтелектуальних систем управління діяльністю підприємств», (довідка від 29.08.2023 №1454/24), виконавцем якої є здобувач, а її результати включають наукові дослідження зазначеної теми.

Результати дисертаційного дослідження використано у навчальному процесі Державного торговельно-економічного університету.

Ключові слова: цифрові активи, управління, інформаційна система, інтелектуальна підтримка, нейронна мережа, теорія ігор, нечітка логіка, ризики, прогнозування, технологія блокчейн, стратегія, алгоритм, моделі.

SUMMARY

Bebeshko B.T. Multi-circuit information management system for digital assets with intellectual support. - Qualification work in the form of a manuscript.

Thesis for the degree of Doctor of Philosophy in the field of "Information Technology" by specialty 122 "Computer Science". State University of Trade and Economics, Kyiv, 2023.

Doctoral thesis is a comprehensive study of the issue of managing digital assets by improving cybernetic systems in tasks related to the predictive assessment of the success of investment procedures by investors; risk assessment and forecasting of digital asset rates based on an intellectual approach by synergistically combining game theory, fuzzy logic, and neural networks. This approach allows for analyzing trends in digital asset trading platforms and is useful for preventing situations of exchange rate instability in the digital asset investment market under conditions of vague information.

The information base of the study was made up of regulatory documentation, scientific works of leading scientists and practitioners, both domestic and foreign, as well as empirical results of own research.

The theoretical basis of the work is the fundamental and applied works of domestic researchers Galushka Ye. O., Gladkikh D. M., Kosovsky I. O., Minca O. Yu., Moskalova A., Pakon O. D., Popov E., Prymostka O. O., Roskladka A.A., Soslovsky V. H., Fedorov Yu. V., Nazarkevich M.A., Kasatkin D.Yu., and others, and foreign scientists Alonso-Monsalve A. L., Suárez-Cetrulo A.W., Huang K.K., Lai Y., Nakamori S., Wang L., Yu C. J., Neely D. E., Rapach J. Tu, G. Zhou T., Zoumpikas. and others on the issues of digital asset management, the introduction of intelligent cybernetic systems in the tasks of predictive assessment of the success of investing in digital assets, risk assessment and forecasting of digital asset rates based on game theory, fuzzy set theory, neural networks.

The purpose of doctoral thesis is to develop models, methods, and information technologies used in tasks of managing digital assets using information systems with intellectual support.

The object of study is the processes of managing digital assets.

The subject of the study is methods and models for managing digital assets based on an intellectual approach by synergistically combining game theory, fuzzy logic, and artificial neural networks.

The scientific novelty of the obtained results. In the given doctoral thesis, the following scientific results have been achieved:

For the first time:

- A mathematical model has been developed for the predictive assessment of the success of digital asset investment procedures. This model is based on solving a bilinear quality game in a fuzzy setting, allowing for the exploration of situations that lead to instability in the financial relations of market players in the digital asset market.

- A contextual model of a multi-loop information system for managing digital assets with intelligent support has been constructed. This model represents a hierarchical depiction of the system architecture and enables the identification and resolution of system functionality issues throughout its lifecycle.

Improved:

- An enhanced combined method for assessing risks and forecasting digital asset rates has been introduced. This method leverages an intellectual approach through the synergistic combination of game theory, fuzzy logic, and a neural network approach. Unlike existing methods, this includes a predictive model for assessing the success of the investment procedure, thereby optimizing decision-making processes regarding the digital asset market situation.

- A digital asset management strategy has been established, distinguished from existing approaches. This strategy is a multi-loop information management system with intelligent support, created as a set of algorithms for analyzing information on various trading aspects of digital assets. This is for predicting price fluctuations and forming digital asset management recommendations.

- A trading session model on the digital asset market with fuzzy information about the financial resources of the players has been constructed. Unlike existing

approaches, this is built in the form of a multi-step bilinear quality game with multiple fuzzy terminal surfaces as a foundation for the neural network software implementation. This allows for trend analysis on digital asset trading platforms under fuzzy information conditions, thus preventing situations of exchange rate instability in the investment market.

Further development has been achieved in:

- Defining the information system in the sphere of digital asset management, which, unlike existing ones, emphasizes the presence of multiple feedback mechanisms in the system. This creates a dynamic and iterative information flow process, allowing for the introduction of an original approach to the concept of a multi-loop information system for managing digital assets.

- Approaches to forming the LSTM-Bitcoin-GoogleTrends-Prediction neural network, in which, contrary to the classical approach, the training sample has been expanded due to results obtained in solving multi-step bilinear quality games with multiple terminal surfaces. This optimization facilitates decision-making processes in the digital asset market.

Practical significance of the scientific results. The practical importance of the contextual model of a multi-loop information system for managing digital assets with intellectual support lies in identifying structured processes to ensure its functionality, resilience, and integrity. The discovered solution can be employed in the implementation of software for trend analysis on digital asset trading platforms.

Research results can be beneficial in preventing situations of exchange rate instability and forecasting situations on trading venues that trade digital assets. The devised multi-loop digital asset management strategy with intellectual support can be applied for analyzing information on various trading aspects of digital assets and for subsequent prediction of their price fluctuations, as well as forming management recommendations for digital assets.

The proposed combined method for risk assessment of financial resource losses by players and forecasting digital asset rates, which employs game theory,

fuzzy logic, and neural network mechanisms, improves the quality of predictive evaluation of digital asset investment success by 7-12%. This enhancement allows for the optimization of decision-making processes concerning the digital asset market assessment.

Practical significance of the scientific results. The practical importance of the contextual model of a multi-loop information system for managing digital assets with intellectual support lies in identifying structured processes to ensure its functionality, resilience, and integrity. The discovered solution can be employed in the implementation of software for trend analysis on digital asset trading platforms.

Research results can be beneficial in preventing situations of exchange rate instability and forecasting situations on trading venues that trade digital assets. The devised multi-loop digital asset management strategy with intellectual support can be applied for analyzing information on various trading aspects of digital assets and for subsequent prediction of their price fluctuations, as well as forming management recommendations for digital assets.

The proposed combined method for risk assessment of financial resource losses by players and forecasting digital asset rates, which employs game theory, fuzzy logic, and neural network mechanisms, improves the quality of predictive evaluation of digital asset investment success by 7-12%. This enhancement allows for the optimization of decision-making processes concerning the digital asset market assessment.

Keywords: digital assets, management, information system, intellectual support, neural network, game theory, fuzzy logic, risks, forecasting, blockchain technology, strategy, algorithm, models.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Bebeshko V., Artificial intelligence face recognition for authentication./ Kryvoruchko, O., Bebeshko, V., Khorolska, K., Desiatko, A., Kotenko, N. (2020). Technical Sciences and Technologies, 2 (20), 139-148.

(Особистий внесок: побудова експериментальної архітектури згорткової нейронної мережі для аутентифікації з використанням TensorFlow).

2. Bebeshko, V. (2022). Аналіз методів та моделей прогнозування ринку цифрових криптовалют. Електронне фахове наукове видання «Кібербезпека: освіта, наука, техніка», 2(18), 163-174. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2022.18.163174>

3. Bebeshko, V. (2023). Навчання штучної нейронної мережі на основі даних оцінювання результативності та ризиків інвестування в цифрові активи. Електронне фахове наукове видання «Кібербезпека: освіта, наука, техніка», 3(19), 135–145. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2023.19.135145>

4. Бебешко Б.Т. Штучна нейронна мережа управління процедурою купівлі-продажу цифрових активів у нечіткій постановці. Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. 2023. Вип. № 2 (139). С. 70–79. <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2023.2.24>

5. Khorolska K., Lazorenko V., Bebeshko V., Desiatko A., Kharchenko O., Yaremych V. (2022) Usage of Clustering in Decision Support System. In: Raj J.S., Palanisamy R., Perikos I., Shi Y. (eds) Intelligent Sustainable Systems. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 213. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-2422-3_49

(Особистий внесок: модель на основі методу К-середніх із залежними рухами, що дозволяє давати конкретні рекомендації аналітикам у торгових проектах).

6. V. Bebeshko, K. Khorolska and A. Desiatko, "Analysis and Modeling of Price Changes on the Exchange Market Based on Structural Market Data," 2021 IEEE

8th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), 2021, pp. 151-156, doi: 10.1109/PICST54195.2021.9772208

(Особистий внесок: метод використання нейронних мереж у процесі моделювання та аналізу цін на фондовому ринку).

7. Bebeshko B., Malyukov V., Lakhno M., Skladannyi P., Sokolov V., Shevchenko S., Zhumadilova M (2022) Application of game theory, fuzzy logic and neural networks for assessing risks and forecasting rates of digital currency Journal of Theoretical and Applied Information Technology 31st December 2022. Vol.100. No 24 <http://www.jatit.org/volumes/Vol100No24/15Vol100No24.pdf>

(Особистий внесок: розроблена математична модель для вирішення задачі пошуку оптимальних стратегій інвестування в цифрові криптовалюти з боку інвестора/інвесторів на основі застосування теорії ігор, теорії нечітких множин і штучних нейронних мереж (ШНМ), розроблена модель, яка дозволяє отримати алгоритм прогнозування успішності процедури інвестування в цифрові активи інвестором, який потім може бути реалізований в одному з модулів інтелектуальної інформаційної системи для прогнозування курсів цифрових активів).

8. Lakhno, V., Akhmetov, B., Smirnov, O., Chubaievskyi, V., Khorolska, K., Bebeshko, B. (2023). Selection of a Rational Composition of Information Protection Means Using a Genetic Algorithm. In: Rajakumar, G., Du, KL., Vuppalapati, C., Beligiannis, G.N. (eds) Intelligent Communication Technologies and Virtual Mobile Networks. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 131. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-1844-5_2

(Особистий внесок: описано модифікований генетичний алгоритм для вирішення задачі багатокритеріальної оптимізації вибору та оптимізації кількості засобів захисту інформації).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

9. Bebeshko V. Cyberattacks prediction with incomplete data/ Bebeshko V., Khorolska K. // Безпека соціально-економічних процесів в кіберпросторі: зб. матеріалів Всеукр. наук.-практ. конф. (Київ, 27 бер. 2019 р.). – Київ : Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2019. – с.123-125

(Особистий внесок: запропонована структура, яка підвищує надійність системи, і майбутня робота може бути зосереджена на динамічних стратегіях навчання та автоматизованому оцінюванні для адаптації до нових нетрадиційних даних).

10. Bebeshko V. Use of AI in data protection/ Kryvoruchko O., Bebeshko V., Khorolska K. // Безпека ресурсів інформаційних систем: збірник тез I Міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів 16-17 квітня 2020 р.). – Чернігів : НУЧП, 2020. – с.15-18

(Особистий внесок: описано методи оцінки ризиків підтримки та розпізнавання та звітування про порушення безпеки).

11. Бебешко Б.Т., Лазоренко В.В., Хорольська К.В. Безпека інтелектуальної системи управління цифровими активами за допомогою методу k-means при дослідженні видобутку даних // Кібергігієна. Кібербезпека. Безпека держави: матеріали наукових семінарів (Київ, 27 листопада 2020 р.)/відп. ред. АМ Десятко.–Київ: Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2020.– с.34-36

(Особистий внесок: інтелектуального керування системами управління цифровими активами для досягнення надійності та ефективності, на основі інтелектуальної технології аналізу даних (Data Mining)).

12. Лазоренко В.В., Бебешко Б.Т., Хорольська К.В. Аналіз методів прогнозування кібератак // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2021) : матеріали тез доповідей XI Міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів, 26–27 травня 2021 р.) : у 2 т. / Національний університет «Чернігівська політехніка» [та ін.] ; відп. за вип.: Єрошенко Андрій Михайлович [та ін.]. – Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2021. – Т. 2. – 236 с. ISBN 978-617-7932-16-0

(Особистий внесок: порівняльний аналіз методів прогнозування кібератак).

13. Bebeshko B. Enhancing stock market predictive accuracy through the application of convolutional neural networks. Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference. Osaka, Japan. 2023. Pp.438-441 DOI: 10.46299/ISG.2023.1.6

14. Бебешко Б.Т., Хорольська К.В. Аналіз кіберстійкості фінансових ринків // Проблеми кібербезпеки інформаційно-телекомунікаційних систем: Збірник матеріалів доповідей та тез; м.Київ, 15-16 квітня 2021 року р.; Київський національний університет імені Тараса Шевченка / Редкол.: О.К. закусило. (голова) та ін.-К.:ВПЦ «Київський університет», 2021.-с.135-136
(*Особистий внесок*: висвітлення ідей щодо кіберстійкості фінансових фондових ринків, щоб обмежити ескалацію можливих ризиків кібератак, які становлять загрозу фінансовій стабільності).

*Наукові праці, які додатково відображають наукові результати
дисертації*

15. Бебешко Б.Т. UX-дизайн інформаційної системи підприємства торгівлі. / Котенко Н.О., Жирова Т.О., Десятко А.М., Хорольська К.В., Бебешко Б.Т., Тогжанова К.О. // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. 2020. Вип. № 3 (122). С. 107–112. DOI: 10.30929/1995-0519.2020.3.67-74

(*Особистий внесок*: описано зміст та місце кожної складової в процесі UX-дизайну).

16. Tetiana Zhyrova, Nataliia Kotenko, Volodymyr Tokar, Karyna Khorolska, Bohdan Bebeshko, (2021) Testing the Accessibility of Web-applications The International Scientific Journal «Computer Systems and Information Technologies» 2021, #3 DOI: <https://doi.org/10.31891/CSIT-2021-5-12>

(*Особистий внесок*: систематизовано існуючі підходи тестування доступності веб-додатків в залежності від особливих потреб користувача).

17. Lakhno V., Akhmetov B., Ydyryshbayeva M., Bebeshko B., Desiatko A., Khorolska K. (2021) Models for Forming Knowledge Databases for Decision

Support Systems for Recognizing Cyberattacks. In: Vasant P., Zelinka I., Weber GW. (eds) Intelligent Computing and Optimization. ICO 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1324. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68154-8_42

(Особистий внесок: описано шаблони байєсівських мереж, що дозволяють оперувати різними випадковими величинами та визначати ймовірність кіберзагрози або конкретного етапу вторгнення за заданих умов).

18. Zhyrova, T., Kotenko, N., Bebeshko, B., Khorolska, K., Shevchenko, S.(2022) Benchmarking between the DQL Index and the Web Application Accessibility Index using Automatic Test Tools CEUR Workshop Proceedings, 2022, 3288, pp. 110–116

(Особистий внесок: описано п'ять компонент індексу цифрової якості життя).

19. Bebeshko, B., Khorolska, K., Kotenko, N., Kharchenko, O., & Zhyrova, T. (2021). Use of neural networks for predicting cyberattacks. Paper presented at the CEUR Workshop Proceedings, 2923 213-223. <http://ceur-ws.org/Vol-2923/paper23.pdf>

(Особистий внесок: досліджено сучасні алгоритми для прогнозування кібератак, які працюють разом із системами прогнозування даних для усунення прогалин у неповному витoku даних).

ЗМІСТ

ЗМІСТ	16
СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ.....	17
ВСТУП.....	18
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА МОДЕЛЕЙ ОЦІНКИ РИЗИКІВ І ПРОГНОЗУВАННЯ КУРСІВ ЦИФРОВИХ ВАЛЮТ	25
1.1 АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ З ПРОГНОЗУВАННЯ КУРСІВ ЦИФРОВИХ АКТИВІВ ТА РИЗИКІВ ІНВЕСТУВАННЯ В НИХ	26
1.2. АНАЛІЗ ПРОГРАМНИХ ПЛАТФОРМ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ РИНКУ ЦИФРОВИХ АКТИВІВ НА ПРИКЛАДІ ЦИФРОВИХ КРИПТОВАЛЮТ.....	49
1.3. АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТТЯ БАГАТОКОНТУРНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ЦИФРОВИМИ АКТИВАМИ.....	57
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1	63
РОЗДІЛ 2. КОМБІНОВАНИЙ МЕТОД ОЦІНКИ РИЗИКІВ І ПРОГНОЗУВАННЯ КУРСІВ ЦИФРОВИХ АКТИВІВ НА ОСНОВІ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ ІГР, НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ТА НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ.....	66
2.1. Модель оцінювання результативності та ризиків інвестування у цифрові активи на основі комбінації теорії ігор та нечіткої логіки	67
2.2. Комплексне застосування ігрової моделі та нейронної мережі в задачі передбачення тренду котирувань цифрових криптовалют	92
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2	108
РОЗДІЛ 3 РЕАЛІЗАЦІЯ ІГРОВОЇ МОДЕЛІ ТОРГОВЕЛЬНОЇ СЕСІЇ НА РИНКУ ЦИФРОВИХ АКТИВІВ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ	110
3.1. Модель багатоконтурної інформаційної системи управління цифровими активами з інтелектуальною підтримкою	113
3.2. Управління процедурою купівлі-продажу цифрових активів у нечіткій постановці.....	130
3.3. Управління процедурою купівлі-продажу цифрових криптовалют на основі нейронної мережі у нечіткій постановці.....	154
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3	172
ВИСНОВКИ.....	175
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	178
ДОДАТКИ.....	192
СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА.....	201

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ

- ЕОМ – електронна обчислювальна машина
- ІЕ – імітаційний експеримент
- ІТ – інформаційні технології
- НЛ – нечітка логіка
- НМ – нейронна мережа
- ОС – операційна система
- ПЗ – програмне забезпечення
- ПК – персональний комп'ютер
- ПП – програмний продукт
- ППЗ – прикладне програмне забезпечення
- ПФЕ – повнофакторний експеримент
- СППР – система підтримки прийняття рішень
- ФА – функція активації
- ФР – фінансовий ресурс
- ЦА – цифровий актив
- ЦКВ – цифрові криптовалюти
- ШНМ – штучна нейронна мережа

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасні технології багато в чому визначають зміни у тих сферах, які історично здавалися непорушними та стійкими. Багато змін виявилися можливими завдяки новим досягненням у галузі цифровізації та штучного інтелекту, об'єднаних загальним поняттям «цифрова економіка». Авторським баченням цифрової економіки, в розрізі даного дослідження, будемо розуміти «цифровізацію всіх сфер економіки та соціального життя, яке, своєю чергою, означає повсюдне створення цифрової інфраструктури». Цифровізація економіки та суспільних відносин призводить до формування нових видів активів, які часто називають загальним терміном «цифрові активи», що існують виключно в цифровій формі, без фізичного аналога та зберігаються в цифрових гаманцях замість фізичних банківських рахунків.

Наразі проблема полягає в розумінні характерних рис нових активів, що впливають на їх ринкову вартість та дозволяють ефективно здійснювати управління цифровими активами на основі інтелектуального підходу. Зацікавлення ринком цифрових активів стрімко зросло протягом останнього часу. На сьогоднішній день, багато країн та їхні фінансові установи, включаючи банки, кредитні установи та страхові компанії, вже включили до своїх портфелів цифрові активи. З оглядом на зацікавленість гравців у цьому ринку, як показав аналіз попередніх досліджень, досі є потреба у розвитку методологічного та прикладного інформаційного інструментарію, які сприяють прийняттю раціональних рішень гравцями на ринку цифрових активів. Саме тому, на нашу думку, перспективним є напрям, що передбачає розвиток комбінованих методів розв'язання задачі отримання прогнозу за курсами цифрових активів. Як базове середовище для реалізації управління вартістю цифрових активів доцільно визначити цифрове середовище, яке використовує децентралізовані фінансові сервіси та дозволяє реалізувати комплексний алгоритм прийняття рішень з управління цифровими активами

з інтелектуальною підтримкою, що базуються на методах машинного навчання та використання сервісів, що реалізують смартконтракти, необхідні для вартісно орієнтованого управління цифровими активами. Саме тому тема дисертаційного дослідження є актуальною.

Теоретико-методологічною основою розв'язання проблем управління цифровими активами є фундаментальні та прикладні роботи вітчизняних Назаркевич М.А., Галушка Є. О., Гладких Д. М., Косовський І. О., Роскладки А.А., Мінц О. Ю., Москальова А., Пакона О. Д., Попова Е., Примостки О. О., Сословський В. Г., Федорова Ю. В., Касаткіна Д.Ю. та ін., та закордонних науковців Alonso-Monsalve A. L., Suárez-Cetrulo A.W., Huang K.K., Lai Y., Nakamori S., Wang L., Yu C. J., Neely D. E., Rapach J. Tu, G. Zhou T., Zoumprekas. та ін. з питань управління цифровими активами, впровадження інтелектуальних кібернетичних систем в завданнях прогнозової оцінки успішності процедури інвестування у цифрові активи, оцінки ризиків та складання прогнозу курсів цифрових активів на основі теорії ігор, теорії нечітких множин, нейронних мереж.

Метою дисертаційної роботи є розвиток моделей, методів та інформаційних технологій, які використовуються в завданнях управління цифровими активами за допомогою інформаційних систем з інтелектуальною підтримкою.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

1. Провести аналіз методів, моделей та інформаційних технологій, які використовуються для оцінки ризиків та прогнозування курсів цифрових активів.
2. Розробити новий підхід до визначення багатоконтурної інформаційної системи управління цифровими активами.
3. Розробити математичну модель прогнозової оцінки успішності процедури інвестування в цифрові активи.
4. Удосконалити методіку оцінки ризиків та прогнозування курсів цифрових активів на основі інтелектуального підходу шляхом

комплексного застосування теорії ігор, нечіткої логіки та штучних нейронних мереж.

5. Розробити проєкт багатоконтурної інформаційної системи управління цифровими активами з інтелектуальною підтримкою, яка ґрунтується на використанні штучної нейронної мережі, дослідити її архітектуру та принципи функціонування.

6. Визначити нові підходи до моделювання торгової сесії на ринку цифрових активів з нечіткою інформацією.

Об'єктом дослідження є процеси управління цифровими активами.

Предметом дослідження є методи та моделі управління цифровими активами на основі інтелектуального підходу шляхом синергетичного поєднання теорії ігор, нечіткої логіки та штучних нейронних мереж.

Методи дослідження.

Для реалізації завдань дослідження використовувались такі методи: теоретичний аналіз джерел інформації (для аналізу методів, моделей та інформаційних технологій, які використовуються для оцінки ризиків та прогнозування курсів цифрових активів, обґрунтування теоретико-методологічних підходів щодо розв'язання завдань дисертаційного дослідження); методи теорії ігор та нечіткої логіки (для побудови моделей розв'язання завдання вибору раціональних стратегій інвестування у цифрові активи); методи теорії нейронних мереж (використовуються для розробки нейронної мережі), яка використовується у завданні оцінки ризиків втрати фінансових ресурсів гравцями та прогнозування курсів цифрових активів; методи прикладної статистики, оптимізації та комп'ютерного моделювання (для імітаційного моделювання ризиків втрати фінансових ресурсів гравцями та прогнозування курсів цифрових активів); принципи та методи об'єктно-орієнтованого програмування (для створення інформаційної системи з управління цифровими активами, аналізу інформації про різні аспекти торгівлі цифровими активами, подальшого прогнозування

коливання курсів цифрових активів та формування рекомендацій з управління цифровими активами).

Наукова новизна отриманих результатів.

У дисертаційній роботі отримані наступні наукові результати:

вперше

розроблено математичну модель для прогнозної оцінки успішності процедури інвестування у цифрові активи, яка ґрунтується на розв'язанні білінійної гри якості в нечіткій постановці, що дозволяє досліджувати ситуації, які призводять до нестабільності відносин фінансових ресурсів гравців на ринку цифрових активів;

побудовано контекстну модель багатоконтурної інформаційної системи управління цифровими активами з інтелектуальною підтримкою, яка являє собою ієрархічне представлення архітектури системи і дозволяє ідентифікувати та усунути проблеми функціонування системи протягом її життєвого циклу.

удосконалено

комбінований метод оцінки ризиків та прогнозування курсів цифрових активів на основі інтелектуального підходу шляхом синергетичного поєднання теорії ігор, нечіткої логіки та нейромережевого підходу, який, на відміну від існуючих методів, містить модель прогнозної оцінки успішності процедури інвестування, що дозволяє оптимізувати процеси прийняття рішень щодо ситуації на ринку цифрових активів;

модель торгової сесії на ринку цифрових активів з нечіткою інформацією про фінансові ресурси гравців, яка на відміну від наявних підходів, побудована у формі білінійної багатокрокової гри якості з кількома нечіткими термінальними поверхнями як основи для програмної реалізації нейронної мережі, що дозволяє в умовах нечіткої інформації аналізувати тренди на торгових майданчиках цифрових активів та запобігти ситуаціям курсової нестабільності на ринку інвестицій;

стратегію управління цифровими активами, яка, на відміну від існуючих підходів, являє собою багатоконтурну інформаційну систему управління з інтелектуальною підтримкою, створену як комплекс алгоритмів аналізу інформації про різні аспекти торгівлі цифровими активами для прогнозування коливання курсів та формування рекомендацій з управління цифровими активами.

набули подальшого розвитку

визначення інформаційної системи у сфері управління цифровими активами, які, на відміну від існуючих, підкреслюють наявність багатьох шляхів зворотного зв'язку в системі, створюючи динамічний та ітеративний процес потоку інформації, що дало можливість запропонувати авторський підхід до визначення поняття багатоконтурної інформаційної системи управління цифровими активами;

підходи до формування нейронної мережі LSTM-Bitcoin-GoogleTrends-Prediction, в якій, на відміну від класичного підходу, здійснено розширення навчальної вибірки за рахунок результатів, отриманих у процесі розв'язання багатокрокових білінійних ігор якості з декількома термінальними поверхнями, що дозволяє оптимізувати процеси прийняття рішень на ринку цифрових активів.

Особистий внесок здобувача.

У дисертаційній роботі використано ідеї та положення, що є результатом особистого наукового пошуку здобувача.

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

Дисертаційна робота виконана відповідно до плану наукових досліджень Державного торговельно-економічного університету і є складовою частиною науково-дослідної теми №0122U001549 «Моделювання інтелектуальних систем управління діяльністю підприємств», у межах якої автором здійснено внесок у розробку моделі прогнозної оцінки успішності процедури інвестування у цифрові активи з боку інвесторів (довідка від 29.08.2023 №1454/24).

Практична значення отриманих наукових результатів.

Практичне значення контекстної моделі багатоконтурної інформаційної системи управління цифровими активами з інтелектуальною підтримкою полягає у визначенні структурованих процесів забезпечення функціонування, стійкості та цілісності системи.

Знайдене рішення може бути використано при реалізації програмного забезпечення для аналізу трендів на торгових платформах цифрових активів.

Результати дослідження можуть бути корисними для запобігання ситуацій нестабільності обмінного курсу та прогнозування ситуації на торгових майданчиках, які торгують цифровими активами.

Розроблена стратегія управління багатоконтурною інформаційною системою управління цифровими активами з інтелектуальною підтримкою може бути застосована для аналізу інформації про різні аспекти торгівлі цифровими активами та для подальшого прогнозування коливання курсів цифрових активів та формування рекомендацій з управління цифровими активами.

Запропонований комбінований метод оцінки ризиків втрати фінансових ресурсів гравцями та прогнозування курсів цифрових активів на основі інтелектуального підходу шляхом комплексного застосування теорії ігор, нечіткої логіки та апарату нейронних мереж, на 7-12% поліпшує якість прогнозовної оцінки успішності процедури інвестування в цифрові активи чи набір цифрових активів, що дозволяє оптимізувати процеси прийняття рішень щодо оцінки ринку цифрових активів.

Публікації.

Наукові результати та висновки дисертаційного дослідження підтверджуються публікаціями у наукових виданнях та їх апробацією на науково-практичних конференціях. Опубліковано 19 праць, з них: 6 статей опубліковано у фахових виданнях України категорії «Б», 1 в міжнародному фаховому виданні, 6 статей проіндексовані в міжнародній науково-

метричній базі Scopus та 6 тез доповідей на всеукраїнських і міжнародних наукових конференціях.

Апробація результатів дослідження.

Матеріали дисертаційного дослідження обговорювалися на всеукраїнських і міжнародних наукових конференціях. Зокрема: Всеукраїнській науково-практичній конференції «Безпека соціально-економічних процесів в кіберпросторі» (м.Київ, Україна, 2019), 8th International Scientific Conference «Information Technology and Implementation» Workshop, IT and I-WS 2021 (м.Київ, Україна, 2021), VI International Scientific and Practical Conference (м. Осака, Японія, 2023), 2021 Workshop on Cybersecurity Providing in Information and Telecommunication Systems, CPITS 2021 (м.Київ, Україна, 2021), Всеукраїнській науково-практичній конференції «Нові інформаційні технології управління бізнесом» (м.Київ, Україна, 2021), Intelligent Sustainable Systems (м. Тірунелвелі, Індія, 2021), Дев'ятій міжнародній науково-практичній конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» (м. Чернігів, Україна 2021), IEEE 8th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T) (Харків, 2021), Першій міжнародній науково-практичній конференції «Безпека ресурсів інформаційних систем» (м. Чернігів, Україна 2021), 6th International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies, ICICCT 2022 (м. Таміл Наду, Індія, 2022), 2022 Workshop on Cybersecurity Providing in Information and Telecommunication Systems, CPITS 2022 (м.Київ, Україна, 2022), Intelligent Communication Technologies and Virtual Mobile Networks (м. Таміл Наду, Індія, 2022).

Обсяг та структура роботи. Дисертація складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Дисертаційна робота має 46 рисунків, 24 таблиці, 6 додатків. Список використаних джерел містить 120 найменувань. Загальний обсяг роботи складає 205 сторінок, обсяг основного тексту – 177 сторінок.

РОЗДІЛ 1.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА МОДЕЛЕЙ ОЦІНКИ РИЗИКІВ І ПРОГНОЗУВАННЯ КУРСІВ ЦИФРОВИХ ВАЛЮТ

Цифровізація економіки та суспільних відносин призводить до формування нових видів активів, які часто називають загальним терміном «цифрові активи» (ЦА), що існують виключно в цифровій формі, без фізичного аналога та зберігаються в цифрових гаманцях замість фізичних банківських рахунків.

Криптовалюта – один з найпоширеніших видів цифрових активів. Криптовалюта – це тип цифрового активу, який використовує криптографію для захисту та перевірки транзакцій і контролю створення нових одиниць. Криптовалюти є цифровими валютами, які існують виключно в цифровій формі, без фізичного аналога. Їх можна купувати, продавати та обмінювати, як і будь-які інші активи, але вони зберігаються в цифрових гаманцях замість фізичних банківських рахунків. Інші приклади цифрових активів включають цифрові токени, цифрові предмети колекціонування та цифрові цінні папери. В даному дисертаційному дослідженні будемо розглянути цифрові активи на прикладі криптовалют.

Розглядаючи ретроспективу розвитку ринку цифрових криптовалют (ЦКВ), доволі швидко стає зрозумілим, що зацікавлення до цього ринку стрімко зросло протягом невеликого проміжку часу. Спочатку цікавість до цифрових криптовалют початково виявляли виключно ентузіасти [1-4], але згодом цей ринок зацікавив дуже широке коло інвесторів [5-8]. Сьогодні, у багатьох країнах і фінансових установах, таких як банки, кредитні і страхові компанії, вже присутні цифрові криптовалюти в їхніх активах. [9-11]. Також багато держав та їхні фінансові організації обговорюють питання про повне визнання цифрових криптовалют як цифрового активу та повноцінного платіжного засобу і, відповідно, просувають ідею розвитку повноцінних платіжних систем для цифрових криптовалют 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 цифрові активи як легітимні платіжні засоби [15-17].

Між класичною біржовою діяльністю і торгівлею цифровими активами існує певна аналогія, але важливо відзначити, що динаміка зміни цін на цифрових активах суттєво відрізняється від традиційних ринків. Це робить завдання прогнозування курсів цифрових активів і аналізу ризиків вкладання в них надзвичайно актуальними. Саме цим питанням присвячено дане дисертаційне дослідження.

1.1 Аналіз досліджень з прогнозування курсів цифрових активів та ризиків інвестування в них

Інформаційні технології у колаборації із різноманітним прикладним програмним забезпеченням, застосовуються в різних сферах діяльності людей. Спільно з розвитком фінансових інституцій, ці програми та відповідні інформаційні технології використовуються не тільки фахівцями, але і звичайними громадянами для вирішення завдань, які десятки років тому могли виконати тільки спеціалісти в області математики, наприклад, при створенні моделей прогнозування. Важливо відзначити, що поєднання інформаційних технологій з прикладним програмним забезпеченням і математичними методами, які зазвичай використовуються для прогнозування, найбільш ефективна. Це також стосується ринку цифрових активів, зокрема криптовалют.

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

У період з 2017 по 2018 рік курси цифрових криптовалют демонстрували феноменальні злети, що змусило багатьох фахівців звернути на нього увагу як альтернативний засіб інвестування. Проте за бурхливим зростанням траплялися і стрімкі втрати вартості таких цифрових активів. І хоча зацікавленість не слабшає, проте багато інвесторів стали задавати питання, як можна спрогнозувати курси таких цифрових активів, щоб мінімізувати ризики та можливі втрати своїх фінансових ресурсів, спрямованих на інвестування в цифрові криптовалюти.

Котирування цифрових активів на ринках знаходяться у прямій залежності від пропозиції та попиту. Централізовані органи, наприклад, центральні банки держав не впливають на цей процес.

З точки зору цифрових активів, криптовалюти є особливим типом цифрових активів, які мають деякі унікальні властивості порівняно з іншими типами цифрових активів. Наприклад, такі криптовалюти, як Bitcoin, Ethereum і Litecoin, розроблені як децентралізовані, тобто вони працюють у одноранговій мережі та не контролюються жодним центральним органом. Це робить їх стійкими до цензури та дозволяє здійснювати транзакції без посередників, таких як банки чи платіжні процесори.

Таким чином, відсутній адміністративний чи законодавчий ресурс, здатний обмежувати пікові значення на максимумі або мінімум курсу цифрових активів. Хоча відомі прецеденти, коли торги зупинялися, якщо зростання чи падіння курсу цифрового активу виходили психологічно прийнятні значення учасників торгів [31, 32].

Тож, однією з ключових рис, що відрізняє такі цифрові активи від традиційних платіжних коштів, є той факт, що жодна держава чи фінансові інститути, у тому числі міжнародні, наприклад, Світовий банк, або міжнародний валютний фонд не можуть забезпечувати вартість таких цифрових активів. Причому для національних валют це є типовим, коли центральний банк тієї чи іншої держави гарантує підтримку курсу та забезпечення національної валюти.

Враховуючи величезний інтерес з боку інвесторів на ринок цифрових активів, багато дослідників, що представляють різні напрями науки, починаючи від математиків і закінчуючи практикуючими психологами, стали приділяти феномену цифрових активів пильну увагу. Опубліковано тисячі статей [18-30], присвячених різним аспектам виникнення, розвитку та прогнозування бурхливого таких цифрових активів. Однак більша частина даних публікацій, згаданих вище за текстом цього розділу дисертації, зосередилася на питаннях визначення системи показників або критеріїв, які реально впливають на курси цифрових активів.

Як показав аналіз публікацій за останні роки, нині відсутня чітка методологічна основа, що дозволяє повною мірою дати вичерпний опис ринків цифрових активів, що ще важливіше, сформулювати однозначний прогноз про перспективи цього ринку. Адже саме ці перспективи і продукують захоплення інвесторів даним фінансовим ресурсом, як до джерела накопичення.

Зауважимо, що для багатьох завдань у різних галузях людської діяльності, прогноз, у тому числі в економіці чи торгівлі, є надзвичайно важливим. Оскільки якісний математично обґрунтований прогноз є важливим і для завдань інвестування в цифрові активи далі, в рамках поточного розділу дисертації, розглянемо питання щодо методів прогнозування для фінансового ринку.

В умовах постійно зростаючого інтересу до прогнозування, існує більше ста методів і відповідних моделей [5-35], які використовуються для складання прогнозів на ринку цифрових активів. Це особливо цікаво, оскільки в контексті мети дисертаційної роботи і, відповідно, поставлених завдань дослідження, виникає завдання про вибір оптимального методу для досліджуваних процесів на ринку цифрових активів.

Незважаючи на досить велику кількість методів і, відповідно, критеріїв різних класифікацій методів (див. рис. 1.1), що застосовуються в

прогнозуванні, більшість ніяк не застосовні до прогнозів щодо ринку цифрових активів.

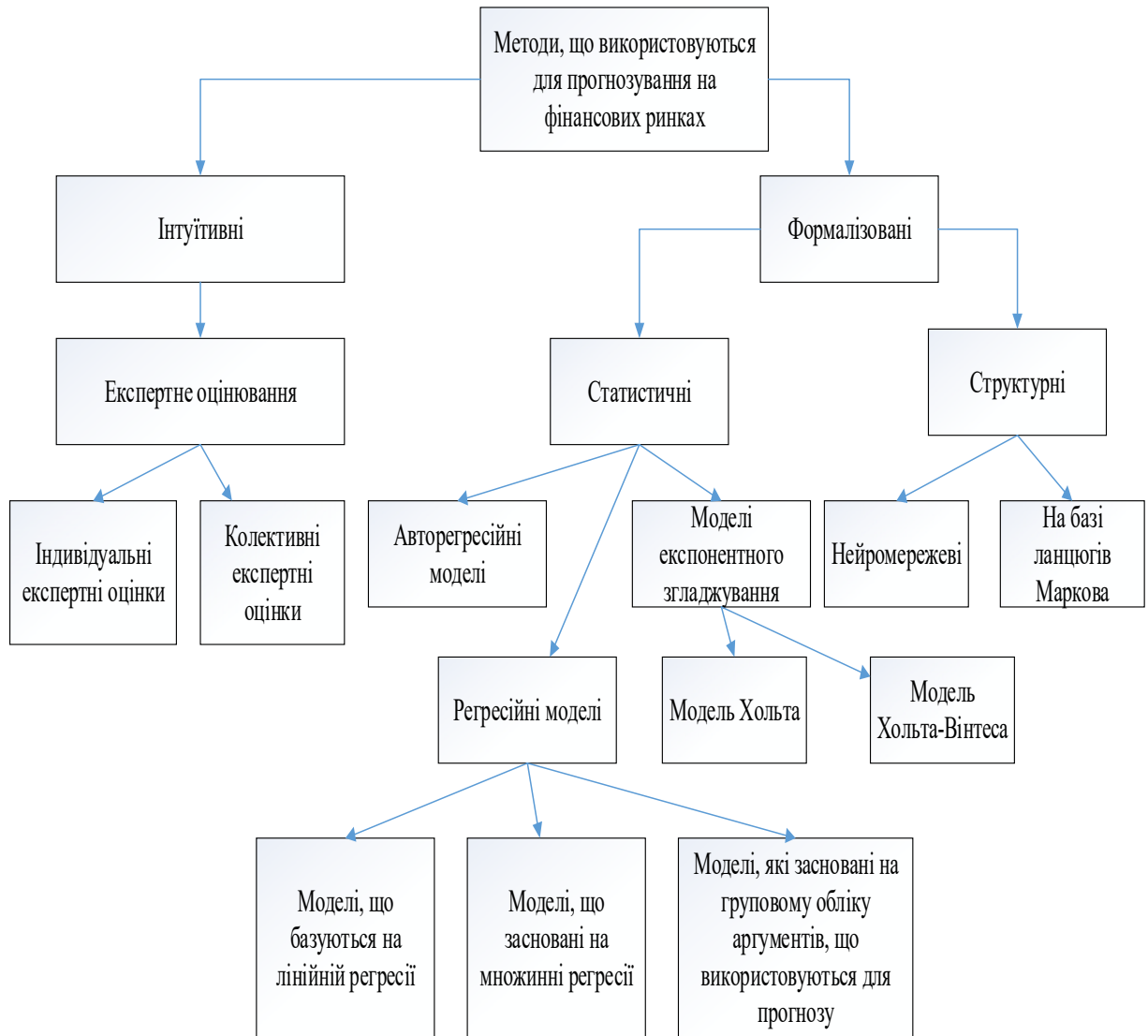


Рисунок 1.1 **Схема класифікації методів і моделей, які використовуються упорядкування прогнозів над ринком цифрових активів**

Джерело: агреговано автором за даними [5-35].

Кожен із рівнів, представлених на рисунку 1.1, поєднує у собі загальні методи. Зауважимо, що для такого об'єднання слід розглядати, наскільки формалізований той чи інший метод. А виходячи зі ступеня його формалізації, можна говорити про рівень математичної достовірності

прогнозів на ринку таких цифрових активів. За представленою схемою видно, що це методи прогнозування можна розбити на цілому дві досить великі підгрупи. Відповідно, це інтуїтивні та формалізовані методи. Поки що не зупиняємось на моделях, які використовуються у кожному з цих методів. Йдеться про це нижче.

Інтуїтивні методи прогнозування ґрунтуються на судженнях експертів. Враховуючи суб'єктивність думки експертів, такі підходи доцільні, коли об'єкт дослідження є складним і важко піддається математичній формалізації, або, навпаки, коли об'єкт дослідження вважається досить простим і використання математичних методів не є обґрунтованим, наприклад, через велику трудомісткість або часові обмеження.

Результатом застосування для прогнозування формалізованих методів фактично стає певна математична залежність. Ця математична залежність потім використовується під час упорядкування прогнозу. Формалізовані методи у завданнях прогнозування можна поділити на статистичні та структурні [33-43]. Причому в кожного методу є свої базові математичні моделі, які описуються різними авторами у публікаціях.

Наприклад, у роботах [34-37] досить докладно описуються формалізовані методи, що використовуються у завданнях прогнозування цифрових активів. Робота [33] містить вичерпний огляд попередніх досліджень щодо прогнозування цін на криптовалюту з 2010 по 2020 роки.

Статистичні моделі орієнтовані виключно на встановлення аналітичної залежності між відомими зовнішніми чинниками майбутніх значень часового ряду. На рисунку 1.2 представлено схему класифікації статистичних моделей, що використовуються в практиці прогнозування вартості цифрових активів.

В таблиці 1.1. на підставі аналізу попередніх досліджень [27-43] узагальнено переваги та недоліки таких моделей.



Рисунок 1.2 Схеми класифікації статистичних методів, що використовуються упорядкування прогнозів ринку цифрових активів
Джерело: агреговано автором за даними [27-43].

Таблиця 1.1

Узагальнені переваги та недоліки статистичних методів та моделей, що використовуються для складання прогнозів на ринку цифрових активів

№	Метод / модель	Преваги	Недоліки
1	Авторегресійні	<ul style="list-style-type: none"> - моделі мають чітке математико-статистичне обґрунтування; - докладно розроблена методика. Дотримуючись цієї методики можна підбирати конкретну модель, найбільш підходящу до досліджуваного часового ряду; - проста перевірка адекватності; - точкові та інтервальні прогнози не вимагають застосування процедур окремого оцінювання. 	<ul style="list-style-type: none"> - для побудови адекватних прогнозів потрібно щонайменше 40 спостережень; - неадаптивність моделей авторегресії; - великі часові витрати на побудову задовільної моделі.
2	Експонентного згладжування	-простота	- відсутність гнучкості.

3	Регресійні	<ul style="list-style-type: none"> - простота; - гнучкість; - одноманітність під час аналізу подібних моделей; - швидкість отримання прогнозу; - прозорість моделювання; - доступність для аналізу проміжних обчислень. 	<ul style="list-style-type: none"> - для низки завдань, що стосуються прогнозування курсів ЦКВ, важко визначити вид функціональної залежності
4	Прогнозування динаміки ЦА застосуванням інструментів стохастичного аналізу (кореляційного та регресійного) з використанням спеціальних моделей авторегресії (ARMA, ARIMA).	<ul style="list-style-type: none"> - простота; - гнучкість; - рівність під час аналізу подібних моделей; - швидкість отримання прогнозу; - прозорість моделювання; - доступність для аналізу проміжних обчислень. - велика кількість прикладного програмного забезпечення у сфері прогнозування курсу ЦКВ. 	<ul style="list-style-type: none"> - досліджуються лише лінійні залежності між результуючими параметрами та незалежними факторами; - одночасно змінюються поведінка, результуючі показники, незалежні фактори.

Джерело: складено автором на підставі аналізу публікацій [27-43]

У зв'язку з вищевикладеним та проведеним у таблиці 1.1 аналізом математичних методів, що найчастіше використовуються для прогнозування курсу ЦКВ, які є базовими для даного ринку, встановлено, що 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 мало 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 цифрових активів.

Перейдемо до аналізу переваг та недоліків структурних моделей. У цих моделях функціональні залежності задаються структурно між відомими зовнішніми факторами і майбутніми значеннями відповідних часових рядів. На рисунку 1.3 представлені структурні моделі, що найчастіше використовуються. А в таблиці в таблиці 1.2 на підставі аналізу досліджень [44-51] узагальнено переваги та недоліки таких моделей.

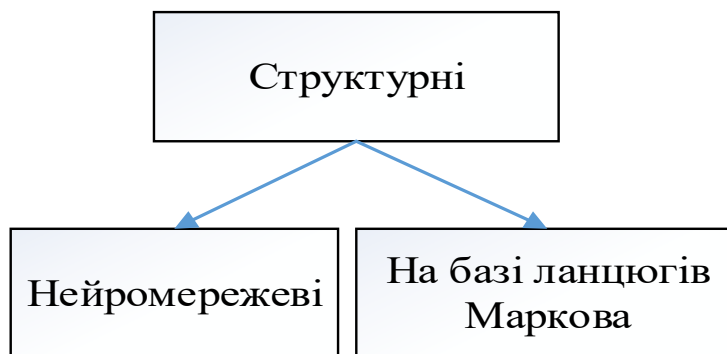


Рисунок 1.3 **Схема класифікації структурних методів**

Джерело: агреговано автором за даними [44-51]

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

Популярність цифрових активів у соціальних мережах, постійна реклама у засобах масової інформації 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 цифровими активами, 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. Ці стрибки зазвичай називаються «дампи» або «пампи». Стрибки, як правило, спровоковані діями на біржі ЦКВ великих трейдерів, які прагнуть максимізувати свій прибуток, та їх не цікавить реальна вартість на день торгів цифровим активом. У такій ситуації дії великих трейдерів спрямовані на те, щоб короткостроково вплинути на курс і відповідно заробити на його коливаннях.

Таблиця 1.2

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

№	Метод / модель	Переваги	Недоліки
1	Нейромережеві	<ul style="list-style-type: none"> - нелінійність моделей; - масштабованість, - висока адаптивність розроблених нейронних мереж (НМ) для однотипних завдань, наприклад щодо завдань програмування; - однаковість методів проектування нейронних мереж; - безліч прикладів застосування НМ. 	<ul style="list-style-type: none"> - подібні моделі часто не «прозорі»; - для низки завдань можуть виникнути труднощі при виборі архітектури НМ; - досить високі вимоги до навчальних вибірок; - складність вибору алгоритму/алгоритмів, які використовуються під час навчання; - ресурсомісткість (насамперед витрати часу) процесів навчання.
2	На базі ланцюгів Маркова	<ul style="list-style-type: none"> - простота; - гнучкість; - рівність під час аналізу подібних моделей. 	<ul style="list-style-type: none"> - відсутність можливості моделювати процеси з «довгою» пам'яттю.

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

Оскільки курси ЦКВ залежать виключно від попиту гравців на ринку, одним із способів адекватного прогнозування курсів є оцінка кількісна або інтуїтивна цього попиту. Далі на підставі такої оцінки можна виконувати аналіз того, яким саме чином попит визначає вартість конкретного цифрового активу або їх пар.

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 показав аналіз публікацій [2, 5, 9, 11, 15, 17, 22, 25] більшість дослідників залишаються відданими прогнозним моделям на основі кореляційно-регресійного аналізу. Проведення такого аналізу, як показано в [5-10, 18-21], дозволяє досліднику зробити висновок про вплив на курс ЦКВ того чи іншого показника. Однак за такого підходу, як було показано в [33], для гравця чи дослідника важливо точно розуміти, як кожен з індикаторів впливатиме на курс. Відповідно, потрібно додатково провести роботу зі встановлення причинно-наслідкових зв'язків між зміною курсу і тим чи іншим індикатором, або їх поєднанням.

Крім того, 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 часових рядів залишається та обставина, що для складання якісного прогнозу на такому чутливому ринку як ринок цифрових активів необхідно виконати попередню обробку даних [28, 33].

Для вирішення подібного завдання, пов'язаного з попередньою обробкою добре, підходить апарат нейронних мереж (НМ). Нейронна

мережа здатна оперативно перевчитися, даючи можливість моделі на основі часових рядів видавати адекватний прогноз із мінімальною похибкою [33].

Однак, якщо нейронна мережа спроектована без урахування можливих змін ситуації на ринку, вона погано справлятиметься із завданням перенавчання. Тому доцільно доповнити класичну нейронну мережу моделями, наприклад, на основі теорії ігор, що апріорі підходять для ситуацій на ринку цифрових активів. І дійсно теорії ігор, як уже було неодноразово показано на практиці, а також у ряді наукових публікацій [30-33] чудово зарекомендувала себе в моделях, що описують виникнення на ринку принципово нової ситуацій. У такому разі застосування НМ 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 нейронних мереж 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 НМ для передбачення фінансових рядів. Але автори практично не розглядали цифрові активи, зосередивши свою увагу на ринку акцій. Ефективність застосування розроблених у рамках цих досліджень НМ, пояснювалася здатністю НМ уловлювати нелінійні залежності. 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 цифрові криптовалюти.

У роботі [15] розглянуто досвід застосування нейронних мереж 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.)

Порівняльний аналіз моделей нейронних мереж 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.	<ul style="list-style-type: none"> - менша кількість ваг, що налаштовуються; - зручне розпаралелювання обчислень; - навчання можна здійснити, використовуючи класичний метод зворотного поширення помилки. 	<ul style="list-style-type: none"> - підходять для завдань розпізнавання та класифікації зображень; - 2Багато параметрів НМ, що варіюються.
2	CNN-3l - три згорткових шари).	- 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.)	<ul style="list-style-type: none"> - підходить для вирішення завдань обробки та прогнозування часових рядів; - добре описана у літературі (наприклад, [15]). 	<ul style="list-style-type: none"> - переважно орієнтована на рішення завдання класифікації; - 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).	<ul style="list-style-type: none"> - підходить для вирішення завдань обробки та прогнозування; - досить детально описана. 	<ul style="list-style-type: none"> - багато параметрів НМ, що варіюються; - 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.	<ul style="list-style-type: none"> - ефективно збільшує обсяг інформації, доступної для НМ; - підходить для завдань прогнозування. 	<ul style="list-style-type: none"> - в основному орієнтована на вирішення завдання класифікації, що меншою мірою пристосовані для прогнозування; - застосування BiLSTM виправдане, якщо важливі події розділені тимчасовими лагами з невизначеною тривалістю та чіткими границями.
6	GRU – (Gated Recurrent Units, GRU - Керовані рекурентні блоки).	<ul style="list-style-type: none"> - GRU подібний до LSTM, але має менше параметрів, ніж LSTM; - добре описана у літературі. 	- аналогічно LSTM

7	CLSTM – (Контекстна LSTM), розширення рекурентної ШНМ.	- підходить для вирішення завдань обробки та прогнозування часових рядів; - добре описана у літературі (наприклад, [13-15]).	- аналогічно LSTM
8	MLP – багат шаровий перцептрон - це повнозв'язковий клас НМ із прямим зв'язком (ANN).	- найбільш поширена мережа, яка описана практично у всіх підручниках; - можна легко реалізувати алгоритмічними мовами, наприклад, Python.	- важливо при конструюванні не помилитися з визначенням числа проміжних шарів та числа елементів у них; - 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).	- метод та відповідні НМ в основному орієнтовані на завдання класифікації; - дозволяє на 20-25% [13, 15] скорочувати обсяги пам'яті та обчислювальну потужність для завдань глибокого навчання.	- ускладнення архітектури НМ; - 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 випливає з досліджень [12-15, 33] кращі результати в ході тестування були отримані для мереж LSTM і CLSTM (див. рис. 1.4, 1.5, відповідно).

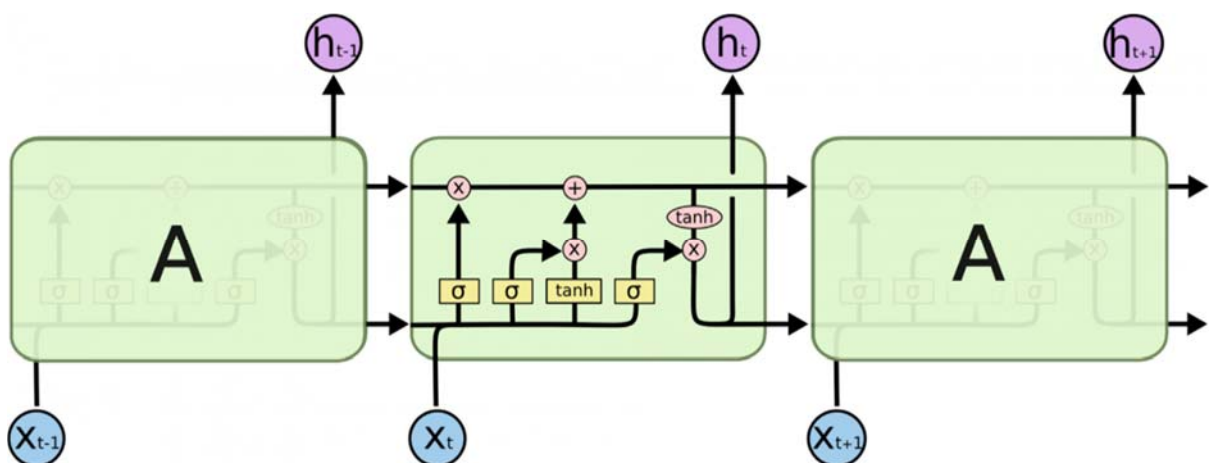


Рисунок 1.4 Принципова архітектура LSTM

Джерело: на основі даних [15]

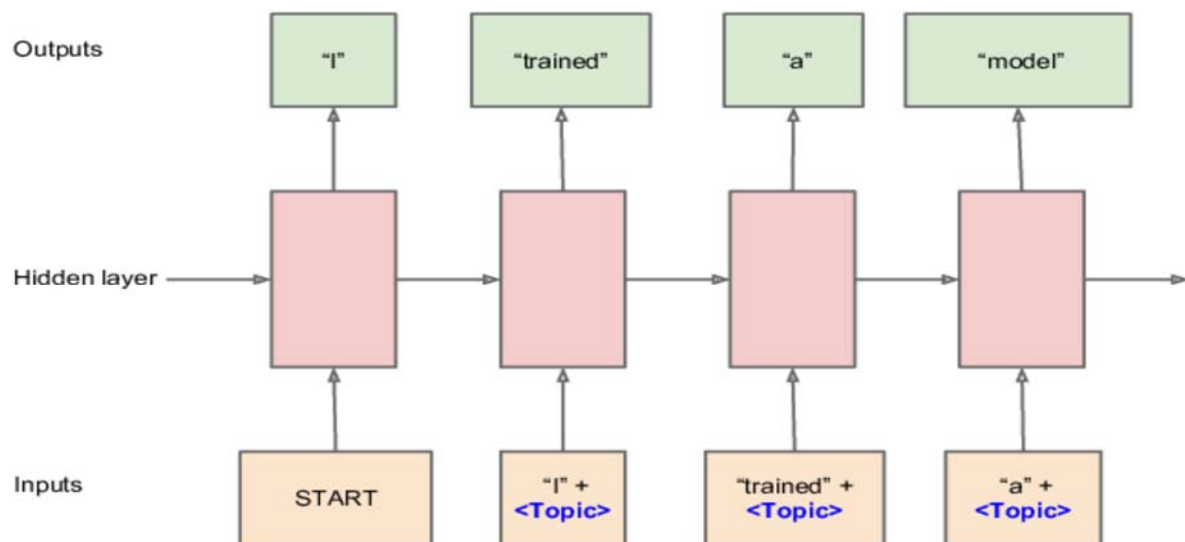


Рисунок 1.5 Принципова архітектура CLSTM

Джерело: на основі даних [14, 15]

Архітектура LSTM включала шар із 50 нейронів. У якості 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 цифрових активів. Однак, зауважимо, що завдання аналізу ризику для гравців втратити свої фінансові ресурси у разі зміни тренду або вхід на ринок великих гравців, які спекують цифровими активами, власне, не ставилося, що дещо знижує цінність отриманих авторами результатів.

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

Навчання нейронної мережі 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.

Ризик втрати фінансових ресурсів (ФР) для інвестора – це одна з ключових особливостей ринку цифрових активів.

Деривативи дають гравцям над ринком цифрових активів засоби передачі своїх ризиків іншій стороні, (хеджування). Одним із найяскравіших прикладів за останні десятиліття можна вважати падіння ринку нерухомості в США у 2008 році, коли позабіржові угоди на ринках кредитування, насамперед нерухомості, стали зазнавати невдач.

Результатом стала всесвітня економічна криза, спричинена безконтрольним зростанням рівня ризиків операцій із кредитування.

Подібна аналогія мимоволі запрошується і під час аналізу ситуації на ринках цифрових активів. Фінансові ринки вже частково страждають від звинувачень у спекулятивному завищенні вартості цифрових активів з різних боків. Вже є ризики, пов'язані з [1, 5, 7, 9, 12, 14, 21, 25, 29, 31]:

- 1) нерегульованістю ринків цифрових активів;
- 2) шахрайством та реалізацією великими гравцями схем підвищення курсу ЦКВ з наступним ціновим обвалом (або схема pump and dump);
- 3) технологічними складнощами ринків цифрових активів, що особливо очевидно нових гравців;
- 4) новизною як самих ринків, так і технологічних інструментів, зокрема програмного забезпечення, що використовується для реалізації операцій.

Наразі припущення про те, чи зростатиме вартість ЦКВ, плавно зменшуватимуться, чи обвалиться, активно обговорюється не лише аналітиками, а й рядовими учасниками ринку. Точні прогнози у сфері ринкової торгівлі ЦКВ складні та ризиковані. Продавці ЦКВ можуть і

володіти відповідними активами. Вони можуть лише виконувати контракти, надаючи покупцям право вирішувати набувати ЦКВ за запропонованою ціною чи ні.

Ринок угод цифрових активів дає гравцям з досвідом управління ризиками здійснювати більше операції з криптовалютами. Але це зовсім не означає, що ризик нівелюється. Швидкість, з якою цифрові активи завоювали популярність на фінансових ринках більшості держав, значно випередили можливості традиційних гравців, присутніх на ринках. За останні кілька років на цифрові активи стали звертати увагу і банки як приватні, так і державні [1-7, 13, 16, 27].

Цифрові активи певною мірою вважатимуться ідеальним позабіржовою похідною, яка характеризується рядом ознак:

- 1) високий рівень ризиків;
 - 2) висока величина потенційного виграшу;
 - 3) слабка регулювання ринку;
 - 4) низький рівень поточної ліквідності;
- та ін.

Вочевидь, всі перелічені показники вносять певну ризикованість під час укладання угод для гравців, але розміри потенційного прибутку, зазвичай, перевищують інші побоювання угод з цифровими активами.

Аналіз публікацій, присвячених ризикам на ринку цифрових активів, наприклад [2, 17, 23, 31-41], показав, що успіх і прибутковість для інвестора угоди значною мірою визначається розумінням і ставленням до потенційних ризиків. Цей аспект вивчення проблематики, що з прогнозуванням курсів ЦКВ, викликає особливий інтерес у тих завдань дослідження. І, відповідно, заслуговує на всебічне вивчення в рамках поточного розділу дисертаційної роботи.

Ризики над ринком цифрових активів мають своє самостійне як практичне, і теоретичне значення. Оскільки, ризики є важливою складовою теорії та практики управління.

Ризики, пов'язані з ринком цифрових активів, а тим більше в сукупності з магістральним завданням дослідження – моделлю прогнозування трендів цифрових активів – це складне явище. В основі ризиків ринку цифрових активів (ЦА) лежить множина неспівпадаючих факторів, а найчастіше протилежних реальних факторів. Це зумовлює існування різних визначень ризиків ринку цифрових активів, причому з позиції різних учасників ринку.

Аналіз тлумачень ризику, наведених у роботах [2, 17, 23, 31-41, 44-47, 50-56] дозволив виявити характерні особливості:

- 1) наявність невизначеності, властиве ринкам ЦА;
 - 2) можливість альтернативних варіантів інвестування для гравців на ринку ЦА;
 - 3) можливість завчасного аналізу результатів угоди;
 - 4) досить високий рівень виникнення збитків по угодам;
 - 5) ймовірність отримання високих прибутків;
- та ін.

На основі аналізу публікацій [2, 17, 23, 31-41, 44-47, 50-56], у яких порушувалися питання оцінки ризиків при реалізації операцій на ринку цифрових активів, була сформована наступна зведена таблиця, що містить переваги та недоліки окремих математичних методів та моделей, що використовуються для оцінки ризиків по операціях із цифровими активами (див. таб. 1.4.)

Таблиця 1.4

**Порівняльний аналіз методів та моделей для оцінки ризиків,
характерних при операціях на ринку цифрових активів**

№	Метод/Модель	Переваги	Недоліки
1	Статистичні методи та моделі аналізу ризиків інвестування в ЦКВ	- дозволяють виконувати аналіз та оцінку варіантів угоди на ринку цифрових активів та врахувати безліч факторів ризику в межах одного підходу;	- необхідність використання імовірнісних характеристик; - застосування можливе і виправдане тільки в ситуації, коли гравець має в

		- добре опрацьовані та описані у науковій літературі.	своєму розпорядженні достатній обсяг статистичної інформації щодо об'єкта аналізу.
2	Методи та моделі на основі аналізу доцільності витрат (інвестицій)	- визначення рівнів ризиків відповідно до даного методу та відповідних моделей, орієнтовані на ідентифікацію потенційних зон ризиків при угодах з цифровими активами; - добре опрацьовані та описані у науковій літературі.	- величина ризику прийнята як цілісна величина, відповідно мультискладова ризику угоди не розглядається; - відсутні можливості щодо детального обліку всіх факторів ризиків на ринку цифрових активів.
3	Методи експертних оцінок	- простота реалізації; - добре опрацьована методологія і є програмним інструментарієм для проведення оцінки.	- має суб'єктивний характер; - великі витрати часу на підготовку та реалізацію всіх етапів проведення експертного дослідження ризику; - відсутність комунікації між експертами може призвести до помилок при узгодженні думок експертів у складних ситуаціях.
4	Метод використання аналогів	- простота та швидке отримання результат; - опирається на прецеденти; - збільшення кількості прецедентів дає велику основу аналізу ризиків.	- для нових ЦКВ аналоги складно знайти та оцінити; - якщо немає аналогів, то відсутні можливості детального обліку всіх факторів ризиків на ринку цифрових активів.
5	Аналітичні методи оцінки ризиків над ринком цифрових активів	- величезна різноманітність, що робить їх привабливими для різних програмних платформ, що використовуються для оцінки ризиків.	- багато моделей досить складні сприйняття невідготовленими гравцями над ринком цифрових активів.
5.1	Імовірнісні	- можливий аналіз повного спектра сценаріїв над ринком цифрових активів; - збалансовані підходи; - взаємозалежності між елементами ринку цифрових активів враховуються у явному вигляді; - можна визначити кількісно вплив	- великі трудовитрати під час аналізу ризиків; - у низці ситуацій внаслідок великої невизначеності, отримання прийнятних результатів важко.

		невизначеностей на підсумкову оцінку ризиків.	
5.2.	Детерміновані	- всі аспекти ризиків розглядаються у явному вигляді; - добре описані у літературі моделі у межах даного методу.	- надлишкові вимоги до обчислювальних ресурсів; - не вирішено деяких питань, пов'язаних із залежностями дій гравців на ринку; - невизначеності при розрахунку ризиків не аналізуються систематично.
5.3	Дерево рішень	- забезпечується точне графічне уявлення всіх деталей оцінки ризиків; - можна визначити найкращі шляхи вирішення проблеми.	- складно аналізувати великі дерева; - застосування діаграми дерева рішень часто призводить до зайвого спрощення ситуації над ринком цифрових активів.
5.4	Імітаційне моделювання	- під час аналізу ризиків просте сприйняття результатів; - можливість адаптації методів та моделей до будь-якого розподілу вхідних даних; - можливість враховувати будь-які взаємозв'язки та взаємодії між факторами, що впливають на ризик.	- складно зібрати статистичні дані для моделювання ризику; - неоднозначність при виборі функцій розподілу змінних, що використовуються у розрахунках; - складно створити адекватну імітаційну модель; - точність рішення прямо пропорційна кількості ітерацій; - неможливо адекватно моделювати події з дуже високою чи низькою ймовірністю появи.
5.5	Оцінки ризиків, засновані на застосуванні нечіткої логіки (НЛ)	- долає недоліки та обмеження існуючих методів оцінки ризиків; - можна оперувати як нечіткими вхідними даними так і лінгвістичними умовами.	- суб'єктивність при виборі функцій належності та формуванні правил нечіткого введення при оцінці ризиків; - необхідність спеціального ПЗ.

Джерело: складено автором за даними [2, 17, 23, 31-41, 44-47, 50-56]

Як показав проведений у таблиці 1.4 аналіз, системи та моделі оцінки ризиків, у тому числі для ринку цифрових активів, які побудовані на основі застосування апарату нечіткої логіки (НЛ), можуть характеризуватися

логічністю та високою стійкістю. Особливо це цінним є для ситуацій, властивих ринку цифрових активів, коли аналіз ризиків для інвесторів виконується в умовах нестачі вихідних даних і знань про ситуацію на ринку. У цьому випадку саме апарат нечіткої логіки дає експертам можливість сфокусуватися на суті оцінки ризиків інвестування в цифрові активи. У свою чергу подібний аналіз включає і розгляд причинно-наслідкових зв'язків між ключовими факторами ринку, окремими показниками і факторами.

Так, наприклад, на рисунку 1.6 представлено схему найпростішого аналізу ризиків, засновану на застосуванні математичного апарату нечіткої логіки.

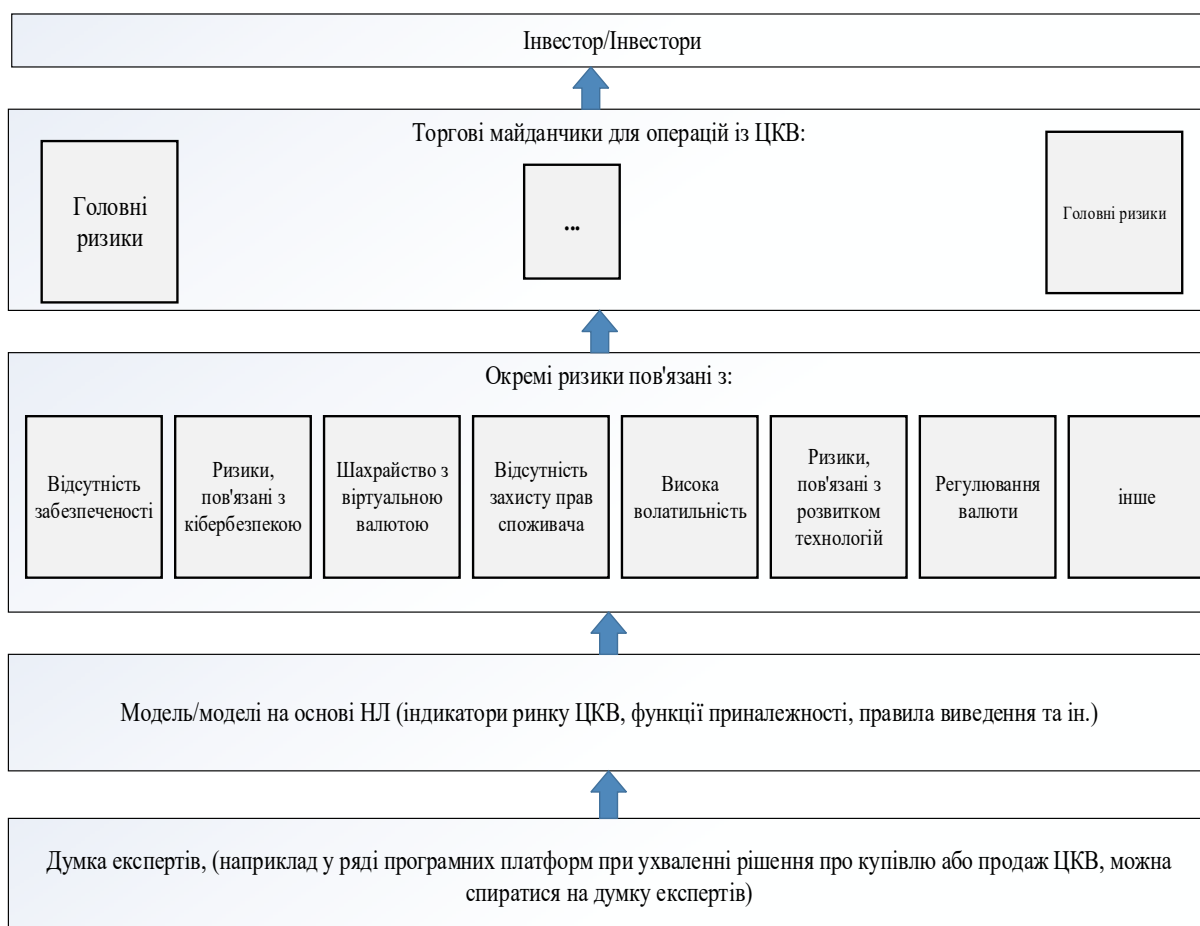


Рисунок 1.6 Структурна схема оцінки ризиків, характерних для операцій із цифровими активами

Джерело: розроблено автором

Показана на рисунку 1.6 структура є висхідною. В основі цієї структури лежать окремі ризики, які притаманні ринку цифрових активів. Потім виявлені ризики (таке виявлення може бути, наприклад, отримано при залученні експертних методів) згруповані на рівнях окремих бірж, які займаються торгівлею ЦКВ. Це дає можливість визначати основні ризики, пов'язані з інвестуванням у ЦКВ. Саме на ці ризики можна звертати увагу як окремим інвесторам, так і аналітикам, що спеціалізуються на прогнозуванні трендів над ринком цифрових активів.

Представлена на рисунку 1.6 ієрархічна структура оцінки ризиків над ринком може бути зіставлена з іншими видами ризиків, властивих фінансовим ринком. Це стає можливим, якщо при аналізі впливу кожного з ризиків ринку цифрових активів адаптувати одиниці виміру, що використовуються, до єдиного параметра, наприклад, ймовірності шкоди для інвестора або втрати фінансового ресурсу при виборі неправильної стратегії інвестування.

У разі застосування для оцінки ризиків апарату нечіткої логіки (НЛ) сумарні збитки можуть прогнозуватися або визначатися (наприклад, при використанні ігрової моделі, про що йтиметься в другому розділі дисертації) на основі результатів перетворення нечітких множин у чіткі числа. Нечіткі логічні моделі потенційно можуть описати сумарні втрати інвесторів у ЦКВ. Додатково крім визначення головного ризику втрати фінансового ресурсу, спрямованого інвестування в ЦКВ, можна з допомогою апарату НЛ, описати причини виникнення тієї чи іншої ризику, наприклад, із групи ризиків, показаних на рисунку 1.6. Цією інформацією може керуватися потенційний інвестор, який прагне мінімізувати свої ризики.

Варто зазначити, що цей метод на основі НЛ та відповідні моделі припускають, що всі експерти однаково трактують ризики на ринку цифрових активів. Якщо таке трактування серед експертів відрізнятиметься, то це вносить додаткову невизначеність в оцінку ризиків та прогнозування розвитку ситуації. І саме в цій ситуації слід звернути увагу на потенціал

застосування апарату теорії ігор як для вирішення, пов'язаного з прогнозуванням трендів ЦКВ, так і для моделювання ризиків.

Починаючи з кінця 90-х років минулого століття ринок цифрових активів став доступнішим для широких груп гравців. Це сталося завдяки наповненню ринку цифрових активів відповідними програмними платформами, частина з яких аналізується у наступному підрозділі роботи.

Як було показано в [1-10] ринки цифрових активів сьогодні певною мірою впливають і на соціальну поведінку людей. Разом з тим, як у [7-14], всім фінансових ринків, зокрема ринку цифрових активів, характерна невизначеність. Така невизначеність присутня як короткостроковому, так і у довгостроковому аспекті. Невизначеність украй небажана для інвесторів оскільки інвестори не схильні до ризиків, про що йшлося вище.

Якщо неможливо повністю нівелювати невизначеність, властиву ринку цифрових активів, її можна постаратися знизити. Побудова прогнозних оцінок ринку цифрових активів дозволить просунутися у цьому напрямі.

Автори робіт [52-63] досить детально розглянули застосування теоретико-ігрових підходів, до вирішення завдань інвестування в інформаційні технології, до яких можна віднести і базові технології ЦКВ. Біржі ЦКВ можна моделювати як стратегічну гру. У такій грі беру участь у найпростішому випадку два гравці: брокер та ринок. Перший гравець – це брокер. Брокер намагатиметься максимізувати свій вигаш. Послідовність у якій здійснюються угоди визначить вибір стратегій цього гравця [52-59].

На реальних торгових майданчиках ЦКВ інвестори вибудовують прогнози, виходячи зі свого досвіду і часто застосовуючи свої власні моделі. Можна вважати, що, наприклад, набір чистих стратегій першого гравця (тобто брокера) ґрунтується на реальних тимчасових рядах котирувань ЦКВ. Отже, гравець I отримає прибуток, лише в тому випадку, якщо зможе точно передбачити поведінку ринкового оточення, що є на торговій сесії. У

такому трактуванні це ринкове оточення і виконуватиме роль другого гравця.

Отже, враховуючи вище сказане, щоб побудувати прогноз трендів ЦКВ необхідно розглянути забезпечення зацікавлених сторін теоретико-ігровим інструментом.

Теорія ігор n -осіб [52-67] зазвичай називається кооперативною грою. Ця теорія ґрунтується на аналізі коаліцій між гравцями. Коаліції мають тимчасовий характер і формуються під час гри.

Але з погляду кінцевого гравця інвестора, чий інтереси, власне, і представляє брокер на торгових майданчиках ЦКВ, кожен учасник діє незалежно один від одного. Тобто формально відсутнє кооперування чи комунікація брокера з іншими гравцями над ринком цифрових активів.

Також відомі [52-67] так звані стратегічні ігри з обмеженою кількістю стратегій. У таких іграх для n -гравців визначено обмежений набір чистих стратегій.

На ринку цифрових активів можливе застосування гравцями та змішаних стратегій. Це ситуація, яка виражена ймовірністю прийняття рішень за змішаною стратегією, що характеризується набором невід'ємних чисел, сума яких дорівнює одиниці.

Можна розглянути стратегічні ігри з повторенням. У таких іграх гравці готові використовувати ризиковані стратегії та відмовитися від рівноважної стратегії. Якщо ігри повторюються у майбутньому, застосування таких ризикованих стратегій виправдано. Скінченна послідовність ідентичних ігор насправді очевидний випадок. Якщо кількість повторень гри обмежена, то гра сприймається як одиночна гра.

Таким чином, положення теорії ігор теж можна використовувати при вирішенні завдання пошуку оптимальних стратегій інвестування в ЦКВ або набір ЦКВ з боку інвестора. Причому, зауважимо, що з нашої точки зору ефекту можна досягти саме на основі застосування теорії ігор, теорії

нечітких множин та комп'ютерних систем імітаційного моделювання для прогнозування трендів на ринку цифрових активів.

У висновку даного підрозділу роботи наведемо порівняльний аналіз переваг та недоліків застосування теорії ігор для завдань прогнозування ринку цифрових активів.

Таблиця 1.5

Порівняльний переваг та недоліків застосування апарату теорії ігор для вирішення завдань прогнозування на ринку цифрових активів

Метод/Модель	Переваги	Недоліки
<ul style="list-style-type: none"> - моделі парних ігор; - кооперативні ігри; - змішані ігри; та інші. 	<ul style="list-style-type: none"> - добре описані у літературі; - застосування теорії ігор дозволяє виконувати аналіз та оцінку варіантів угоди на ринку цифрових активів та врахувати безліч факторів в межах одного підходу до опису гри. 	<ul style="list-style-type: none"> - кожному з гравців мають бути відомі всі можливі стратегії другої сторони. (У реальних торгах на ринку цифрових активів це зазвичай не так, оскільки весь перелік можливих стратегій гравців якраз і невідомий); - відсутні загально визнані програмні продукти, засновані саме на застосуванні теорії ігор, оскільки таких моделей багато і під кожне завдання автори вибудовують свою модель.

Джерело: складено автором за даними [52-62]

1.2. Аналіз програмних платформ для прогнозування ринку цифрових активів на прикладі цифрових криптовалют

Технічні та графічні інструменти аналізу, разом із відповідними методами, що використовують при фундаментальному аналізі фінансових ринків цифрових криптовалют, стали використовуватися відносно недавно. Зауважимо, що багатьма спеціалістами-практиками [24, 32-36, 44, 47] інструментарій технічного аналізу було позиціоновано як пріоритетний метод прогнозування трендів на ринку цифрових активів, зокрема цифрових криптовалют.

Сучасні процеси аналізу ринків цифрових активів неможливо уявити без залучення ІТ. Основою сучасного технічного аналізу стали індикатори, що відображають зміни в трендах окремих цифрових активів або їх кошика. У такій інтерпретації більшість розглянутих в даному підрозділі, програмних продуктів (ПП), дозволяють аналізувати ціни на цифрові активи, зокрема цифрових криптовалют та обсяги торгів. Тоді перші (вартість ЦКВ чи корзини) можна трактувати як ковзні середні. А другі (обсяг торгів) як осцилятори.

Ковзні середні будуть йти за динамікою ринку цифрових активів, а зміна їх значень сигналізуватиме про те, що відбулася зміна напряму торгів. Також фіксується момент розвороту. Осцилятори міняють свій напрямок трохи раніше за індикатори тренду, тому їхній вплив на загальну картину торгів вважають випереджальним.

Як показав аналіз, проведений у попередньому підрозділі дисертації, досліджень і публікацій за методами та моделями, що використовуються для прогнозування ринку цифрових активів, як і раніше актуальне вирішення завдання щодо вибору торгових стратегій інвесторів у ЦКВ та оцінки ризиків подібних інвестицій з метою скоротити ризики втрати фінансового ресурсу для інвестора

Більшість існуючих програмних платформ (або продуктів, далі ПП), призначених для візуалізації трендів і хоча б мінімального прогнозування їхнього руху, засновані на методах статистичного аналізу [33].

Як показано в роботах [17, 22, 25, 27, 31, 33, 37] такого роду ПП мають на увазі необхідність вибору відповідних індикаторів для технічного аналізу. Також можна вибирати поєднання таких індикаторів та гнучко налаштовувати параметри вибору. Однак варто зауважити, що сьогодні на ринок цифрових активів впливає з кожним роком дедалі більше факторів, наприклад, вартість акцій, облігацій, валютних пар, дорогоцінних металів, газу та нафти та ін.

За одну секунду на онлайн платформах, призначених для гравців на цьому ринку, укладають тисячі угод.

Як було показано в [19, 24, 25, 27,29, 31-37] сучасну фінансову торгівлю та аналіз неможливо якісно провести без залучення ПП (або платформ). Такі ПП по суті є веб-інтерфейсами з набором інструментів. Цей набір досить різноманітний і призначений насамперед для з'єднання інвестора (трейдера) з ринком цифрових активів. У меншій мірі реалізовано функціонал прогнозування та розрахунку ризиків для таких операцій.


Подібного роду ПП, (детальніше вони розглядаються нижче в рамках даного підрозділу дисертації) встановлюють або у вигляді додатка для ПК або працюють як хмарний web-термінал. В останні роки у зв'язку з розвитком мобільних гаджетів (смартфонів та планшетів) частина розробників пропонує ПП, призначених, в першу чергу, для розгортання на мобільних пристроях. Функціонал подібного ПП передбачає побудову графіків та/або проведення щодо простого технічного аналізу трендів на ринку цифрових активів. Як додаткову функцію можна розглядати ведення портфеля торгів тощо.

У таблиці 1.6 представлений авторський аналіз переваг та недоліків низки найпоширеніших ПП для торгівлі на ринку цифрових активів.

Таблиця 1.6

Аналіз переваг та недоліків низки найбільш поширених програмних продуктів для торгівлі на ринку цифрових активів

№	Назва	Переваги	Недоліки
1	 <p>TradingView – веб-сервіс та соціальна мережа для трейдерів. Заснована на технічному аналізі трендів.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - наявність безкоштовної версії (умовна); - зростаюча кількість функцій; - гарна візуалізація на графіках ліній трендів; - можливості додавати текстові вставки, значки та ін. 	<ul style="list-style-type: none"> - орієнтування на приватних інвесторів; - відсутній функціонал для розрахунку ризиків.

		<ul style="list-style-type: none"> - доступний огляд ринку цифрових активів та графіки за конкретними ЦКВ (аналог рейтингу CoinMarketCap). 	
2	 <p>Libertex (працює під брендом Форекс клуб).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - простота реєстрації на libertex.fxclub.org; - широкий вибір цифрових активів, окрім ЦКВ можна торгувати металами, валютами та ін. - інтуїтивно зрозумілий інтерфейс; - доступна з ПК та мобільних пристроїв. 	<ul style="list-style-type: none"> - заборонено торгівлі угоди ³ використанням радника; - доступні лише два типи акаунтів: навчальний та стандартний.
3	 <p>Hotbit – професійна торгова платформа для торгівлі цифровими активами.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - адаптована під різні ОС; - інтуїтивно зрозумілий інтерфейс; - гарна візуалізація на графіках ліній трендів; - великі можливості щодо вибору видів торгових угод та додаткові послуги. 	<ul style="list-style-type: none"> - для не верифікованих клієнтів низькі ліміти з операцій; - не завжди якісний переклад інтерфейсу українською.
4	 <p>Avatrade – біржова брокерська компанія та ПП орієнтовані на торгівлю валютами, ЦКВ, сировиною, акціями.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - велика різноманітність активів; - є біржові опціони на валюту; - зручний мобільний інтерфейс на мобільних пристроях; - розвинена система аналітичних інструментів - надійність. 	<ul style="list-style-type: none"> - обмежений набір інструментів для графіків; - високі ліміти для банківських переказів.
5	 <p>KuCoin – найбільша соціальна торгова платформа для</p>	<ul style="list-style-type: none"> - чудовий функціонал біржі; - якісний переклад інтерфейсу на багато мов; - швидка динаміка зростання біржі. 	<ul style="list-style-type: none"> - відносно висока популярність, оскільки проект був запущений нещодавно. - відсутність інших цифрових активів крім KuCoin

	операцій із цифровими активами.		
6	 <p>NinjaTrader - NinjaTrader, LLC - розробник програмного забезпечення, орієнтована роздрібну торгівлю ЦКВ.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - відмінний варіант для програмістів, які прагнуть покращити систему; - підтримка технології .NET; - достатні можливості для тестування; - продумана графічна підсистема. 	<ul style="list-style-type: none"> - можуть бути збої під час роботи з більшими обсягами даних; - у ситуації, коли відбуваються зміни на ринку цифрових активів, можлива затримка у завантаженні графіка тренду; - зображення графіків при великих обсягах торгів який завжди перевантажуються своєчасно.
7	 <p>Mirror Trader - WEB-платформа, орієнтована самостійну торгівлю ЦКВ.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - база знань стратегій, що ґрунтуються на досвіді професійних трейдерів; - мінімальні ризики, оскільки стратегії вже апробовані професійними трейдерами; - доступ до різноманітних інструментів до виконання аналізу. 	<ul style="list-style-type: none"> - вимогливість до апаратних ресурсів; - відсутня можливість доступу до MetaTrader; - немає контролю збитків за угодами.

Джерело: складено автором за даними [29-42]

У таблиці 1.6 представлені найпопулярніші ПП для торгівлі ЦКВ. Зрозуміло, таких платформ набагато більше і детальніший аналіз їх переваг та недоліків не входив у пріоритетні завдання, що розглядаються в рамках цього дослідження.

Варто додатково згадати такі ПП як: Finam Trade, Binance, IBKR Mobile, TraderWorkstation, MetaStock [50, 51].

Виконаний у даному підрозділі дисертації огляд та аналіз ПП для торгівлі ЦКВ, дозволив зробити певні висновки:

- 1) з розвитком ринку цифрових активів та зростанням його популярності серед інвесторів робота на таких ринках практично не можлива без залучення потенціалу ПП;
- 2) нині існує велика кількість ПП реалізації торгових угод над ринком цифрових активів. Ці ПП розраховані як на десктопні платформи, і на мобільні ОС. Однак характерним недоліком більшості ПП є відносна простота моделей, що використовуються для прогнозування. Більшість моделей засновані на статистичних методах, з усіма недоліками. Частина моделей закрита. Багато ПП мають обмежений функціонал, а отже, не можуть бути застосовані для аналізу та прогнозування трендів та ризиків для інвесторів у ЦКВ.
- 3) подібні ПП, крім традиційного аналітичного інструментарію, наприклад, ковзних середніх та осциляторів, повинні мати й модулі, що дають інвестору можливість будувати прогнози та оцінювати ризики угод з цифровими активами;
- 4) актуальним залишається завдання розвитку методологічного, математичного та програмного апарату для подібних платформ, з акцентом на побудову відкритих моделей прогнозування трендів та розрахунку ризиків для інвесторів у ЦКВ.

Основним завданням кожного інвестора або групи інвесторів є грамотне та ефективне управління наявним капіталом. Сьогодні інвестори, що займаються інвестуванням у торгівлю на фондовому ринку, активно вивчають можливості інвестування капіталу з мінімальним ризиком. Зв'язок між фондовим ринком і його визначальними факторами є важливим для вивчення з багатьох причин. По-перше, це допомагає регуляторам, зрозуміти повну дію чинних і майбутніх регулювань та нормативних актів. По-друге, якби інвестори усвідомлювали цей зв'язок і повністю розуміли його, тоді вони приймали б більш обґрунтовані інвестиційні рішення, таким чином зменшуючи свій ризик. По-третє, знання того, який конкретний

фактор призводить до іншого, може допомогти зменшити фактор шоку, оскільки громадськість буде певною мірою знати про те, що може статися в економіці чи на фінансовому ринку, і, отже, матиме змогу вжити відповідні заходи захисту.

Донедавна класичні стратегії інвестування капіталу, які базуються, головним чином на алгоритмах фундаментального аналізу або алгоритмах технічного аналізу, використовувалися як основні для вирішення задач прогнозування та моделювання. Обидва згадані підходи доводять, що проблему прогнозування та моделювання можливої поведінки складних динамічних систем в економіці, соціальній та геополітичній сферах важко формалізувати.

Сьогодні, першим і одним із найпопулярніших підходів є фундаментальний аналіз, який сам по собі є одним із напрямів аналізу цінних паперів, спрямованим на пошук і визначення їх справжньої вартості. Визначення вартості на основі дослідження пов'язаних з ними економічних факторів. Справжні значення порівнюються з поточними цінами, щоб визначити величину відхилення. Але фундаментального аналізу часто недостатньо для визначення конкретного моменту угоди. Тому замість фундаментального аналізу слід застосовувати технічний аналіз.

Вищезгаданий технічний аналіз базується на гіпотезі, що всі об'єктивні дані про компанію-емітента (запаси сировини, очікувані дивіденди, економічний стан тощо) вже включені в поточну ціну акцій. Тому передбачається, що динаміка ринкової вартості акції не є безпосередньою реакцією на події, а залежить лише від оцінки подій учасниками ринку [1, 27, 30].

Тим не менш, відомо, що такі алгоритми і стратегії помітно спотворюють ціни активів, сильно залежать від валютного регулювання і мають дуже дорогу технологічну інфраструктуру. Виходячи з неспроможності класичних торгових стратегій підтримувати високу прибутковість інвестицій у моменти ринкової невизначеності та зазначених

негативних рис високочастотних стратегій видається актуальною розробка торгових алгоритмів, спрямованих на одночасну стабілізацію ринку та максимізацію інвестиційного прибутку [2, 28-29].

Використання нейронних мереж для аналізу фінансової інформації є функціональною альтернативою або доповненням до традиційних підходів аналізу, таких як статистичний аналіз і технічний аналіз торгових індикаторів і фундаментальних індикаторів. Сама по собі нейронна мережа (або штучна нейронна мережа) – це сукупність нейронних елементів і зв'язків між собою. Основним елементом нейронної мережі є базовий нейрон. Принцип роботи такого нейрона полягає в наступному: вхідні сигнали, які мають відповідні ваги, групуються і проходять через передатну функцію, генерують результат і на кінцевому етапі користувач отримує вихідний результат [18].

Завдяки своїй адаптивності одні й ті ж нейронні мережі можуть бути використані для аналізу кількох інструментів і ринків, тоді як закономірності, знайдені гравцем для конкретного інструменту зі сфери технічного аналізу, можуть працювати гірше або не працювати зовсім для інших інструментів [20]. Крім того, ті самі нейронні мережі можуть враховувати набагато більше вхідних даних, включаючи структурні ринкові дані, які, у свою чергу, описують фізичне формування ціни біржового інструменту на фондовому ринку. Такі дані є подієвими, що дає можливість отримати інформацію про актив не лише за певний проміжок часу, а й безпосередньо при настанні певної події. При використанні структурованих ринкових даних торгова система на основі нейронної мережі приймає рішення на основі величезної кількості інформації про формування ціни всіма учасниками ринку.

Це пояснює той факт, що системи на основі штучних нейронних мереж останніми роками все частіше використовуються для прогнозування фінансових ринків. Можна окреслити різницю між підходом до використання нейронної мережі та технічним аналізом.

По-перше, нейромережевий аналіз, на відміну від технічного аналізу, не передбачає обмежень за характером вхідної інформації. Це можуть бути як показники певного часового ряду, так і інформація про поведінку інших ринкових інструментів. Це основна причина, чому нейронні мережі активно використовуються інвесторами (наприклад, великими фондами), що працюють з великими фінансовими капіталами, для яких особливо важливі кореляції між різними ринками.

По-друге, на відміну від технічного аналізу, заснованого на загальних рекомендаціях, нейронні мережі здатні знаходити індикатори, оптимальні для даного інструменту, і будувати на їх основі оптимальну стратегію прогнозування, знову ж таки, для певного ряду. Крім того, ці стратегії можуть бути адаптивними, змінюватися разом з ринком.

Таким чином, найбільш релевантним підходом для прийняття торгових рішень є використання алгоритмів машинного навчання разом із нейромережевими підходами на основі даних про структурні події ринку, які, у свою чергу, описують якомога більш детальне фізичне формування цін на біржові інструменти.

1.3. Аналіз підходів до визначення поняття багатоконтурних інформаційних систем управління цифровими активами

Не існує однозначного підходу до визначення поняття «багатоконтурна інформаційна система управління цифровими активами».

Для визначення поняття «багатоконтурна інформаційна система управління цифровими активами» проаналізуємо наступні терміни: «інформаційна система», «інформаційна система управління цифровими активами», «контур інформаційної системи», «багатоконтурна інформаційна система».

Аналізуючи нормативно-правову базу України та міжнародні технічні стандарти, а також теоретико-методологічні праці вчених можемо виділити наступні визначення «інформаційної системи»:

- організаційно-технічна система, в якій реалізується технологія обробки інформації з використанням технічних і програмних засобів [83];
- автоматизована система, яка складається з комплексу автоматизованих робочих місць, об'єднаних в єдину інформаційну систему з використанням технології віддаленого доступу [84];
- інтегрований набір компонентів для збору, зберігання й обробки даних, а також для надання інформації, знань і цифрових продуктів [85];
- окремий набір інформаційних ресурсів, організованих для збору, обробки, підтримки, використання, спільного використання, розповсюдження або розміщення інформації [86];
- взаємопов'язаний набір інформаційних ресурсів під одним прямим управлінським контролем, який має спільну функціональність. Зазвичай система включає апаратне забезпечення, програмне забезпечення, інформацію, дані, програми, комунікації та людей [87];
- комбінація взаємодіючих елементів, організована для досягнення однієї чи кількох заявлених цілей [88];
- система, що складається з людей та/або машин, які використовують та/або виробляють інформацію [89];
- комплекс формалізованих контурів, що складаються з процесу отримання інформації, обробки інформації і використання інформації [90].

Здійснюючи аналіз нормативно-правових документів України та міжнародних технічних стандартів, а також аналізуючи наукові дослідження вчених, ми можемо виділити наступні визначення «інформаційної системи управління цифровими активами»:

- в нормативно-правовій базі України не визначено поняття «інформаційної системи управління цифровими активами», але в проєкті Закону України «Про віртуальні активи» передбачається, що цифрові активи будуть визначені як «віртуальні активи», які є нематеріальним благом, що є об'єктом цивільних прав, має вартість та виражене сукупністю даних в електронній формі [91];
- в іноземних наукових та нормативних джерелах малодосліджене поняття «інформаційної системи управління цифровими активами», але корпорація IBM визначає таке поняття «управління цифровими активами (Digital Asset Management - DAM)» - бізнес-процес/форма технології управління інформацією або система управління цифровими активами [92];
- в наукових джерелах немає єдиного підходу до визначення «інформаційної системи управління цифровими активами/віртуальними активами», але досліджене поняття:
 - «інформаційна система управління» - сукупність компонентів, які проводять підготовчу роботу та надають управлінську, виробничу і фінансову інформацію для прийняття рішень [93];
 - «інформаційна система управління» - це стратегічна інтеграція інформаційних технологій, людей і процесів для збору, обробки, зберігання та розповсюдження даних, перетворення їх на цінну інформацію для ефективного прийняття рішень [94];
 - «інформаційна система управління» - система адміністрування інформаційної технології (системи), яка зберігає та організовує інформацію [95].

Віднесемо поняття «контуру» в контексті інформаційних систем до окремого компоненту або етапу процесу, який реалізує визначену функцію або визначений перелік задач. Відтак, в інформаційній системі можуть бути окремі контури для збору, обробки, аналізу та відображення даних.

Враховуючи вищезазначене, автором пропонується визначити, що «багатоконтурна інформаційна система» - це система, яка має декілька різних контурів, які взаємодіють один з одним та використовуються для збору, обробки, аналізу та відображення даних. Ці контури можуть виконувати різні функції та працювати разом для досягнення цілей системи.

Багатоконтурні інформаційні системи зазвичай використовуються в різних областях, включаючи системи керування, автоматизації процесів і системи управління, де безперервний моніторинг і налаштування є вирішальними для оптимальної продуктивності. У цих системах інформація з одного циклу може впливати та змінювати поведінку інших циклів, що призводить до тісно інтегрованого та взаємозалежного потоку інформації.

Термін «багатоконтурний» підкреслює наявність багатьох шляхів зворотного зв'язку в системі, створюючи динамічний і ітеративний процес потоку інформації. Кожен цикл у системі може служити певній меті, наприклад збору даних, аналізу, ухваленню рішень і контролю, і вони призначені для спільної роботи для досягнення певних цілей.

З визначення «багатоконтурна інформаційна система» та вищенаведеного опису контурів багатоконтурної інформаційної системи управління цифровими активами дамо авторське визначення: «багатоконтурна інформаційна система управління цифровими активами – це сукупність контурів для збору та зберігання, обробки та відображення інформації для управління нематеріальним благом, яке є об'єктом цивільних прав, має вартість та виражене системою даних в електронній формі».

В розрізі нашого дослідження визначимо контури для багатоконтурної інформаційної системи управління цифровими активами (рис. 1.7.).

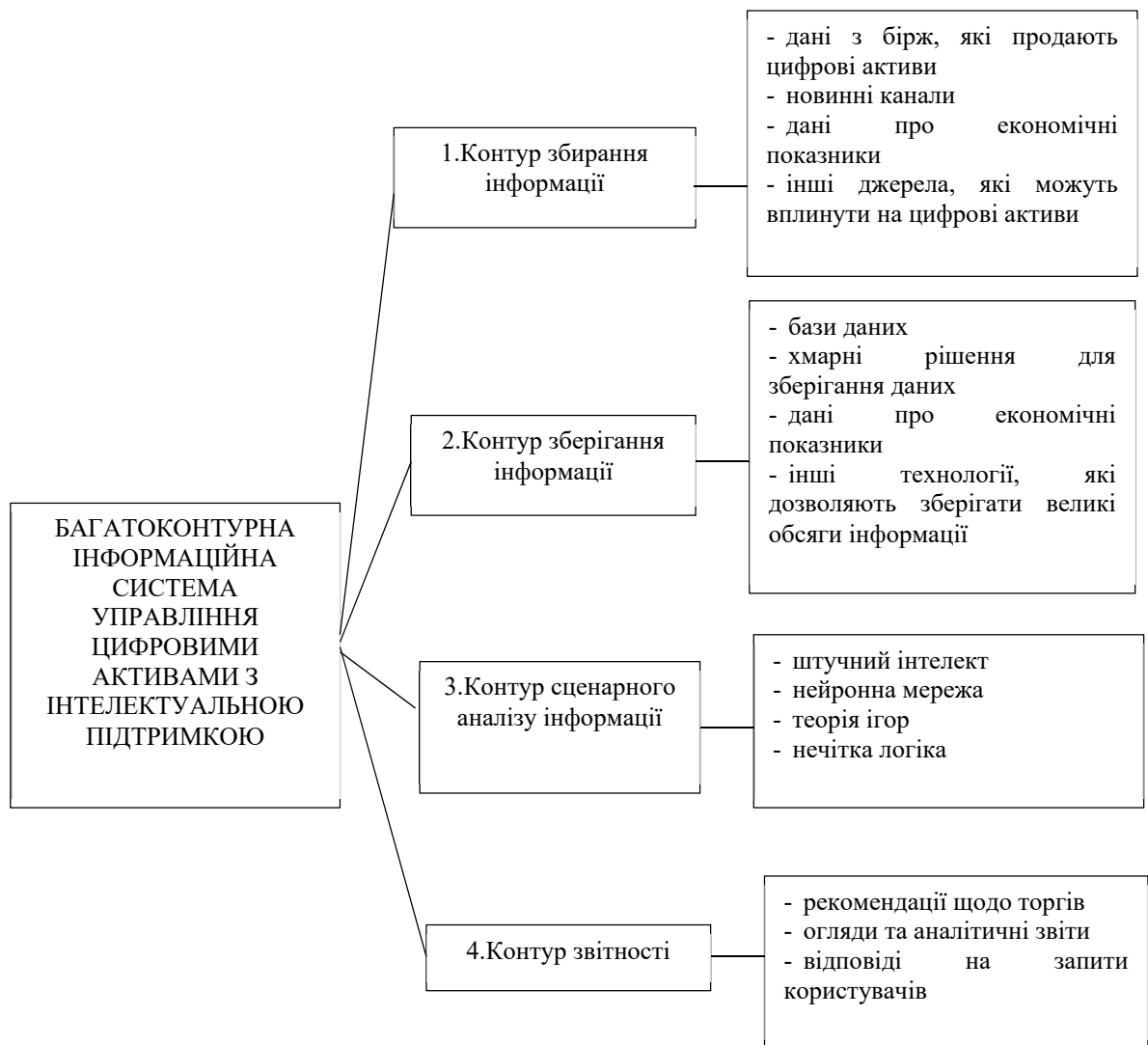


Рисунок 1.7. Багатоконтурна інформаційна система управління цифровими активами з інтелектуальною підтримкою

Джерело: побудовано автором

1. *Контур збирання інформації.* Цей контур займається отриманням інформації з різних джерел. До цього можуть входити дані з бірж, які продають цифрові активи, новинні канали, дані про економічні показники та інші джерела, які можуть вплинути на ціни на цифрові активи.
2. *Контур зберігання інформації.* Цей контур відповідає за безпечне зберігання інформації, отриманої від контуру збирання інформації.

Він може включати бази даних, хмарні рішення для зберігання даних і інші технології, які дозволяють зберігати великі обсяги інформації.

3. *Контур сценарного аналізу інформації.* Цей контур використовує різні техніки, включаючи штучний інтелект, нейронні мережі, теорію ігор і нечітку логіку, для аналізу зібраної інформації та створення прогнозів, а також сценарії, розроблені на основі аналізу інформації, для моделювання різних можливих результатів та визначення найкращого способу дії.
4. *Контур звітності.* Останній контур відповідає за представлення звітів, результатів, аналізу і прогнозування користувачам. Це включає представлення рекомендацій щодо торгів, надання оглядів та аналітичних звітів, а також відповідей на запити користувачів.

В різних багатоконтурних інформаційних системах управління цифровими активами можуть бути поставлені інші задачі управління цифровими активами, отже можуть бути замінені/додані контури для збирання даних з різних джерел, зберігання цих даних, аналізу даних для створення прогнозів, та подання цих прогнозів у вигляді, зрозумілому для користувача, тощо.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

Таким чином у першому розділі отримані такі основні результати та зроблено такі висновки.

1. виконано аналіз методів та моделей, що застосовуються для оцінки ризиків та прогнозування курсів цифрових активів та показано, що інтерес до цього ринку стрімко зростає протягом невеликого відрізка часу та встановлено, що перспективним є напрям, що передбачає розвиток комбінованих методів розв'язання задачі отримання прогнозу за курсами цифрових активів;
2. на підставі аналізу попередніх досліджень показано, що розв'язання задачі щодо пошуку оптимальних стратегій інвестування в цифрові активи з боку інвестора може бути отримане на основі застосування теорії ігор, теорії нечітких множин та комп'ютерних систем імітаційного моделювання;
3. показано, щоб отримати алгоритм прогнозування успішності процедури інвестування в цифрові активи з боку інвестора можна використовувати комбінований підхід до оцінки ризиків та прогнозування курсів цифрових активів на основі застосування теорії ігор, нечіткої логіки, а також нейронних мереж;
4. проаналізовано переваги та недоліки основних моделей нейронних мереж, що використовуються для передбачення дохідності за операціями з цифровими активами. Зроблено порівняння моделей нейронних мереж, навчених на різних датасетах, що базуються на технічних індикаторах, фундаментальних та макроекономічних показниках;
5. показано, що з розвитком ринку цифрових активів та зростанням його популярності серед інвесторів робота на таких ринках практично неможлива без залучення потенціалу програмних продуктів;

6. встановлено, що у час існує велика кількість програмних продуктів реалізації торгових угод над ринком цифрових активів. Ці програмні продукти розраховані як на десктопні платформи, так і на мобільні операційні системи. Однак характерним недоліком більшості програмних продуктів є відносна простота моделей, що використовуються для прогнозування. Більшість моделей засновані на статистичних методах, з усіма їх недоліками. Багато програмних продуктів мають обмежений функціонал, а отже, не можуть бути застосовані для аналізу та прогнозування трендів та ризиків для інвесторів у цифрові активи;
7. показано, що подібні програмні продукти, крім традиційного аналітичного інструментарію, наприклад, ковзних середніх та осциляторів, повинні мати й модулі, що дають інвестору можливість будувати прогнози та оцінювати ризики угод з цифрові активи;
8. встановлено, що актуальним залишається завдання розвитку методологічного, математичного та програмного апарату для подібних платформ, з акцентом на побудову відкритих моделей прогнозування трендів та розрахунку ризиків для інвесторів у цифрові активи;
9. визначено сутність поняття «контуру» в розрізі інформаційних систем та описані контури системи в розрізі дисертаційного дослідження;
10. проведено аналіз підходів до визначення поняття багатоконтурних інформаційних систем управління цифрових активів та запропоновано авторський підхід до визначення поняття «багатоконтурної інформаційної системи управління цифровими активами».

Основні результати розділу висвітлені у науково-дослідній роботі НДР № 0122U001549 «Моделювання інтелектуальних систем управління діяльністю підприємств», (довідка від 29.08.2023 №1454/24)

Основні результати розділу опубліковані в наукових працях автора:

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

[1], [2], [3], [5].

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

[8], [9], [10], [11], [13].

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

[14], [16], [17], [18].

РОЗДІЛ 2.

КОМБІНОВАНИЙ МЕТОД ОЦІНКИ РИЗИКІВ І ПРОГНОЗУВАННЯ КУРСІВ ЦИФРОВИХ АКТИВІВ НА ОСНОВІ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ ІГР, НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ТА НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

У питаннях, що стосуються оцінки перспективності інвестування у цифрові активи, зокрема цифрові криптовалюти (далі ЦКВ), крім складнощів правового регулювання цього ринку, виникають і додаткові питання. Так, наприклад, питання оцінки ризиків інвестування у подібні активи [50, 51]. Така оцінка, на думку експертів, може базуватися на апараті нечіткої логіки. Адже, як було раніше показано в першому розділі роботи, курси ЦКВ схильні до досить сильних коливань, а стрімкі злети змінювалися не менш стрімкими падіннями. Навіть багато галузевих експертів не мають спільної думки щодо ступеня ризикованості операцій, пов'язаних з інвестуванням у цифрові активи [50, 51], хоча паралельно багато хто вважає, що інвестиції в цифрові криптовалюти можуть дати інвесторам гарний прибуток. Основними перевагами таких інвестиційних вкладень є те, що транзакції на основі технології блокчейн, які стали базовими для розвитку цифрових криптовалют, прозорі і безпечні. У цьому традиційний підхід до аналізу стратегій інвестування у цифрові активи передбачає, як правило, розгляд варіантів лише двох стратегій інвестування у цифрові криптовалюти. У першому випадку інвестор, який вибрав стратегію «на виріст», купуючи цифрові активи, за реальні кошти, готовий чекати підвищення курсу цифрової криптовалюти. Інвестор у такому разі вважає, що курс ЦКВ неодмінно зросте, а він як гравець на ринку цифрові активи, отримає свій прибуток. Друга стратегія передбачає проведення операцій із цифровими активами на біржі. І якщо інвестор має досвід проведення таких операцій, то він має можливість отримати віддачу від інвестицій одразу, а не чекати на дивіденди в майбутньому. Зауважимо, що вибір стратегії інвестування вже сам собою передбачає аналіз ситуації з

погляду теорії ігор. Саме це змушує шукати рішення задачі про оцінювання ризиків та прогнозування курсів ЦКВ, задіявши комбінований метод на основі інтелектуального підходу шляхом комплексного застосування теорії ігор, нечіткої логіки та нейронних мереж.

2.1. Модель оцінювання результативності та ризиків інвестування у цифрові активи на основі комбінації теорії ігор та нечіткої логіки

Таким чином, на першому етапі вирішення загальної задачі, пов'язаної з прогнозуванням курсу цифрових активів, розглянемо її фінансову складову.

У контексті даного підрозділа, фінансова складова – це доходи та витрати на проведення заходів, що забезпечують прибуток для інвестора у цифрові активи, незалежно від обраної стратегії.

Сформулюємо завдання, що дозволяє знайти раціональні стратегії інвестування у цифрові активи на прикладі цифрових криптовалют.

Введемо наступні позначення.

- Витрати $H_1(0)$ складаються з витрат на інвестиційні операції на ринку цифрові активи. Наприклад, інвестор може зіткнутися з проблемою подвійних витрат. Під подвійними витратами в цьому випадку мають на увазі ситуацію, в якій зловмисник (або шахрай) вимагає повторної оплати, наводячи як аргумент відсутність успішної транзакції при першій оплаті за цифрові активи. І хоча сучасні технології майнінгу роблять практично неможливою подібні ситуації, гравці-початківці на ринку цифрових активів цілком можуть зіткнутися з даною проблемою.
- Доходи $H_2^\xi(0)$ складаються із доходів, які приносять інвестору цифрові активи. $H_2^\xi(0)$ - дохід, отриманий в результаті операцій купівлі-продажу певної криптовалюти.

Вважаємо, що виділені фінансові ресурси витрачені на оптимальний набір цифрових активів (в даному дисертаційному дослідженні розглянуто на прикладі криптовалют, зокрема, Bitcoin, Litecoin, Ethereum, Ripple). Набір було сформовано на першому етапі розв'язання завдання.

Позначимо через L кількість цифрових активів у наборі інвестора.

Нехай задані рентабельності у разі процесу інвестування у кожен цифровий актив, тобто (Доходи)/(Витрати) = $(r_1)_i, i = 1, \dots, K$, де K - купівля-продаж певного цифрового активу. Аналогічно для випадку процесу мінімізації витрат у кожен конкретну ЦКВ, тобто. (Доходи)/(Витрати) = $(r_2)_j, j = 1, \dots, L$.

Розглянемо процедуру бюджетування набору ЦКВ у контексті управління фінансовими потоками інвестора як гравця на ринку цифрових активів.

Задамо час планування бюджету на набір ЦКВ. Вважаємо, що час змінюється дискретно $t = 0, 1, \dots, T$ (T – натуральне число).

Так як можливі збитки (маються на увазі збитки від неправильного вибору гравцем набору ЦКВ в результаті невірної прогнозування ринку цифрових активів, зокрема на основі застосування ШНМ, про що йтиметься нижче), за початкову величину доходів отриманих в результаті вибору оптимального набору ЦКВ візьмемо змінну $H_2^{\xi}(0)$, яка задана нечіткою множиною. Таке завдання змінної доходів зумовлює розгляд процедури зміни витрат і доходів у межах схеми «нечітких» множин, що в принципі реальніше визначає процедуру бюджетування витрат і доходів у процесах інвестування у ЦКВ.

Можливі збитки дуже добре рписуються нечікою змінною, не тільки як від втрати інвестором своїх фінансових ресурсів (далі ФР), а й тим, що можуть бути підібрані неправильно елементи набору ЦКВ. Наприклад, оцінку величини можливих збитків, пов'язаних з дією інвестора в ЦКВ, можна позначити у форматі наступного фрагмента бази знань для

багатоконтурної системи управління цифровими активами, прогнозування курсів ЦКВ та оцінювання ризиків для інвестора, див. таблицю 2.1.

Таблиця 2.1

Лінгвістичні змінні для оцінювання величини всіх можливих форм збитків від втрати фінансових ресурсів при інвестуванні в цифрові активи

№	Позначення	Значення
1	<i>PL_VH</i>	Дуже великі
2	<i>PL_H</i>	Великі
3	<i>PL_Sg</i>	Суттєві
4	<i>PL_M</i>	Середні
5	<i>PL_L</i>	Малі
6	<i>PL_VL</i>	Незначні

Джерело: побудовано автором

Визначення величини можливих збитків може проводитись щодо бюджету інвестора в ЦКВ, рівня ризиків для цих активів, частоти подій, пов'язаних із курсовими коливаннями, репутації конкретного цифрового актива тощо.

Побудова ігрової моделі з елементами оцінки загального рівня ризиків інвестування в цифрові активи із застосуванням лінгвістичного підходу може забезпечити ефективне вирішення оптимізаційної задачі з пошуку стратегій інвестора на ринку цифрових активів в умовах нечіткої інформації про значення критеріїв оцінки факторів ризику. Це дає можливість виділити значні чинники ризику, їх наслідки за умов дій інвестора над ринком цифрових активів, і, цим, визначити альтернативні шляхи уникнення негативного впливу ризику.

Таким чином, імплементація в ігрову модель нечітких множин для опису ризиків від втрати фінансових ресурсів інвестора на ринку цифрових активів, дасть можливість побудувати чіткі прогнози за кількісними параметрами для аналізованого цифрового актива для інвестора.

Для ілюстрації ефективності застосування нечітких множин був використаний інструментарій Fuzzy Logic Matlab.

Механізм виведення у найпростішому випадку містить два входи: один – для введення оцінки ймовірності втрати ФР, другий – для введення оцінки витрат (втрат) на ЦКВ (див. рис. 2.1).

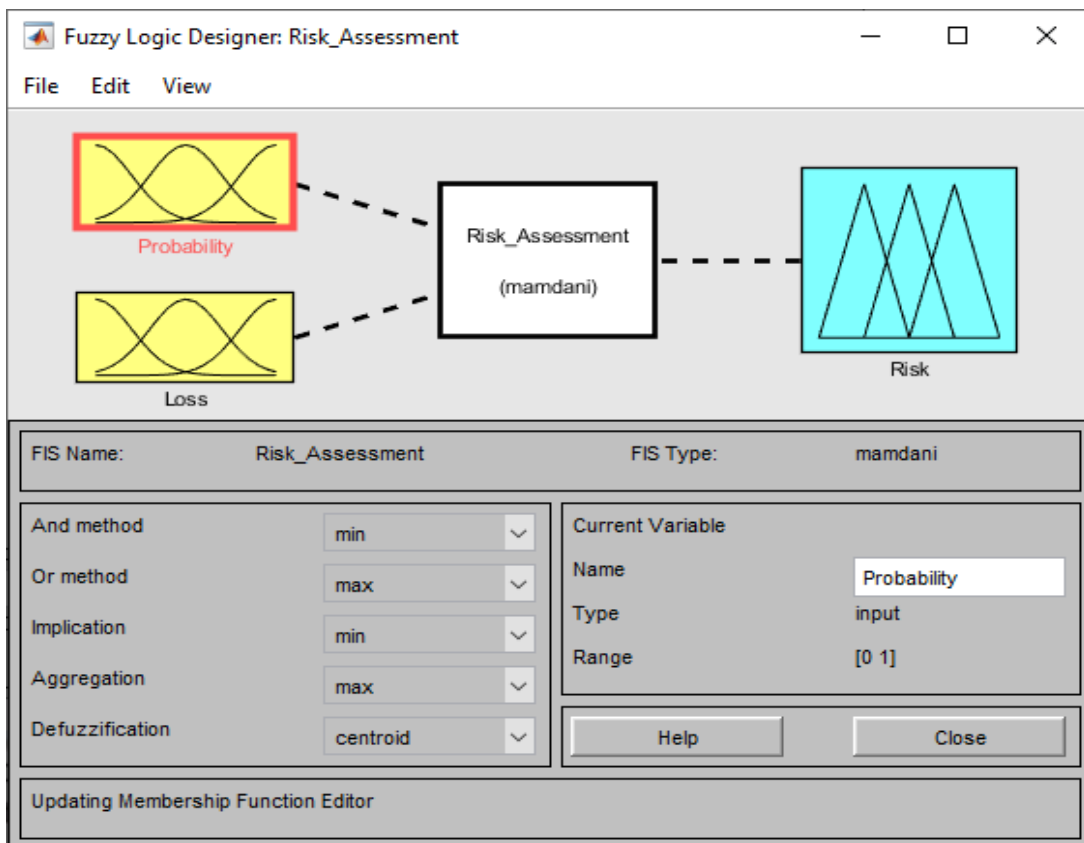


Рисунок 2.1 Загальний вигляд інтерфейсу Fuzzy Logic для перевірки параметрів нечітких множин, що використовуються в ігровій моделі

Джерело: розроблено автором в середовищі Fuzzy Logic Matlab (знімок з екрану)

Тоді кожен із входів може бути заданий своєю функцією приналежності, як це показано на рис. 2.2 для втрат (Loss), див. 2.2 а) та ймовірності (Probability), див. рис. 2.2 б).

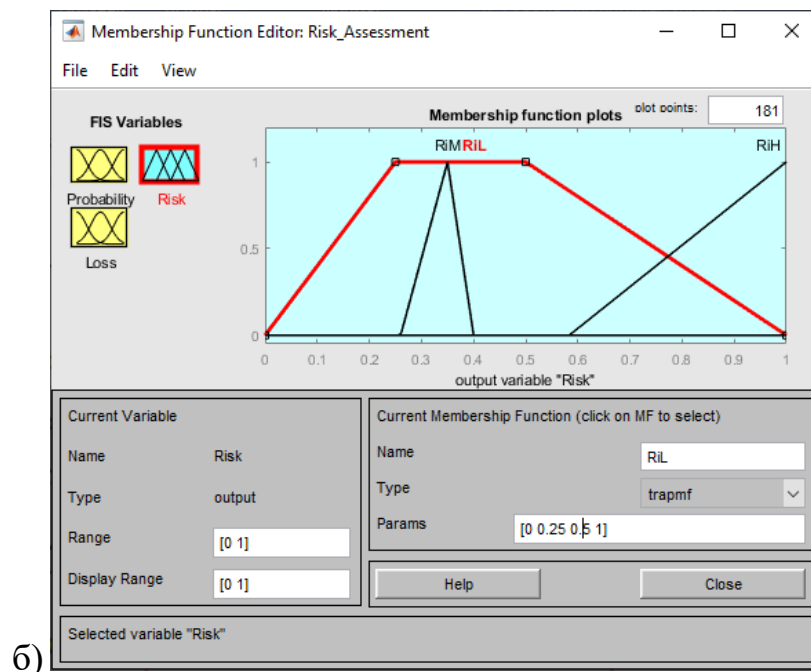
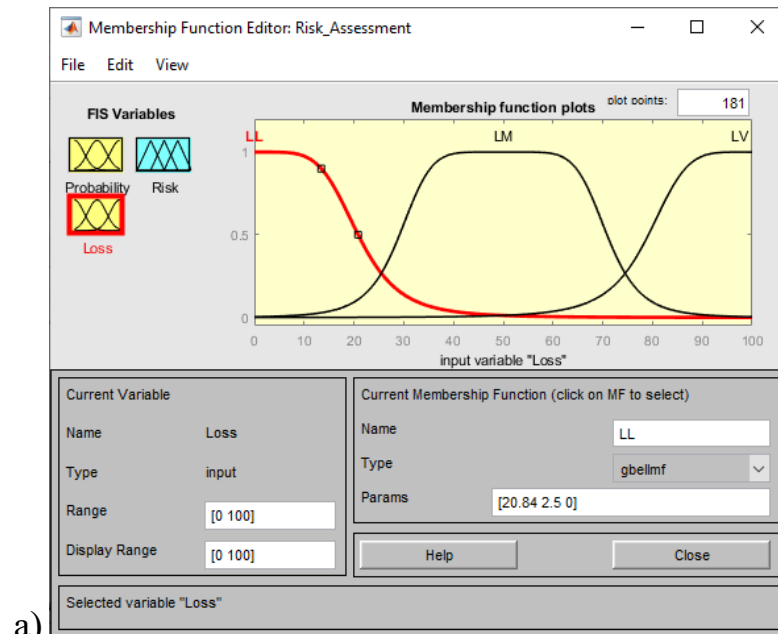


Рисунок 2.2. Функції приналежності для входів нечіткої моделі а) для втрат (Loss) та б) ймовірності (Probability)

Джерело: розроблено автором в середовищі Fuzzy Logic Matlab (знімок з екрану)

Після налаштування діапазонів нечітких множин в інтерфейсі Fuzzy Logic можна налаштувати перелік правил (див. рис. 2.3), які дозволять візуалізувати роботу цих правил за різних поєднань параметрів, у вікні перегляду, див. рис. 2.4.

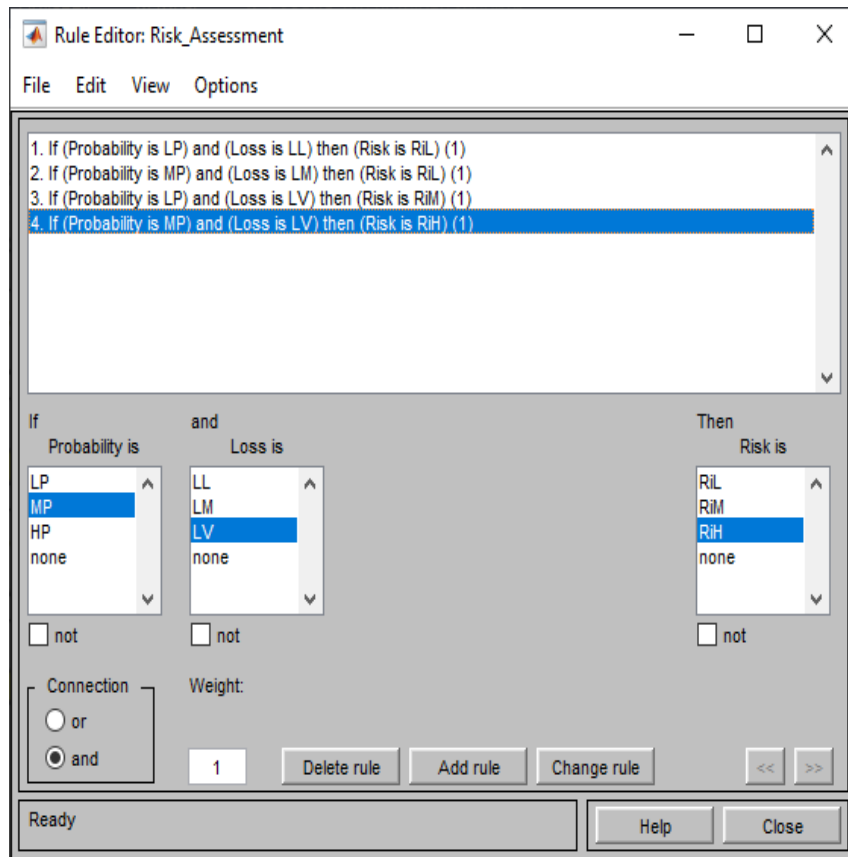


Рисунок 2.3. Вікно інтерфейсу для налаштування правил

Джерело: розроблено автором в середовищі Fuzzy Logic Matlab (знімок з екрану)

Дані, отримані під час моделювання, інтерпретуємо так:

1. Якщо Ймовірність втрати ФР – велика (HP) і Збиток від інвестування в ЦКВ – великий (LV), то Ризик = RiH (великий).
2. Якщо Ймовірність – велика (HP) і Збиток – середній (LM), то Ризик = RiM (середній).
3. Якщо Ймовірність – велика (HP) і Збиток – низький (LL), то Ризик = RiL (низький).

4. Якщо Ймовірність – середня (MP) і Збиток – великий (LV), то Ризик = (RiM) (середній).
5. Якщо Ймовірність – середня (MP) і Збиток – середній (LM), то Ризик = (RiM) (середній).
6. Якщо Ймовірність – середня (MP) і Збиток – низький (LL), то Ризик = (RiL) (низький).
7. Якщо Ймовірність - низька (LP) і Збиток - великий (LV), то Ризик = (RiL) (низький).
8. Якщо Ймовірність - низька (LP) і Збиток - середній (LM), то Ризик = (RiL) (низький).
9. Якщо Ймовірність – низька (LP) і Збиток низькі (LL), то Ризик = (RiL) (низький).

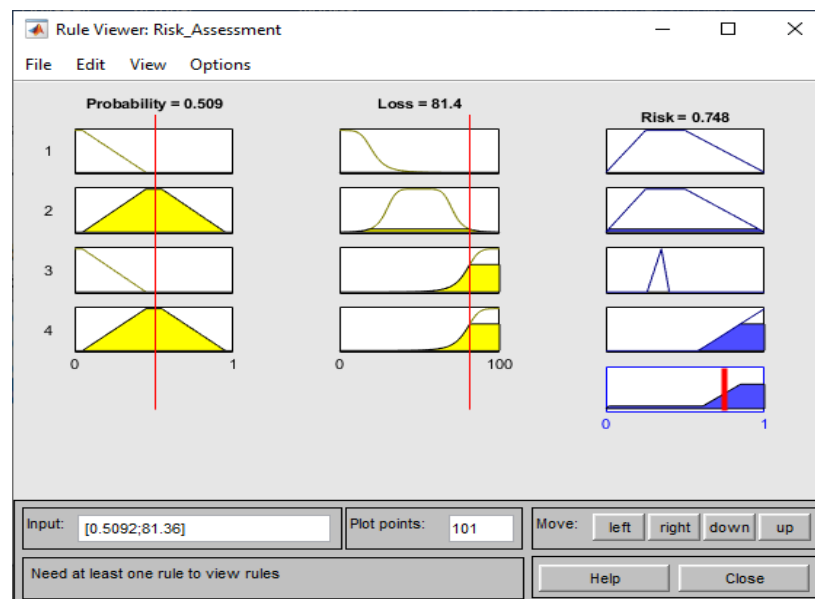


Рисунок 2.4. Вікно для візуалізації роботи правил при різних поєднаннях вхідних параметрів

Джерело: розроблено автором в середовищі Fuzzy Logic Matlab (знімок з екрану)

Таким чином, інструментарій теорії нечітких множин може бути використаний на проміжному етапі ігрової моделі як ефективний засіб

оцінки ризиків втрати інвестором фінансових ресурсів в умовах невизначеності значень показників ризиків, а також при виборі з групи ризику для набору цифрових активів.

Далі реалізація комбінованого методу оцінювання результативності та ризиків інвестування у ЦКВ передбачає розвиток ігрової моделі на основі вирішення системи білінійних диференціальних рівнянь [52-69].

Припускаємо, що перший гравець керує процесом реалізації витрат (далі за текстом – гравець I), а другий гравець (далі за текстом – гравець II) – процесом отримання доходів (гравець II).

Гравець II більш детально володіє інформацією про можливі коливання на ринку цифрових активів, а відтак і ризику. Останні обставини визначають розміри умовного виграшу/програшу (доходу/збитку) інвесторів у ЦКВ.

У момент часу t гравець I вибирає величину $u(t) \in [0,1]$, яка визначає величину витрат на цифровий актив $u(t) \cdot g_1(t) \cdot h_1(t)$, яку він зробить на інтервалі $[t, t + 1]$ при інвестуванні в цифровий актив.

Величина витрат $u(t) \cdot g_1(t) \cdot h_1(t)$ складається з витрат на набір цифрових активів: $\alpha_i \cdot u(t) \cdot g_1(t) \cdot x(t), i = 1, \dots, K; \alpha_i \geq 0, \sum_{i=1}^K \alpha_i = 1$

Тут величини α_i – частки витрат на i конкретну ЦКВ.

У момент часу t гравець II вибирає величину $v(t) \in [0,1]$, яка визначає величину доходу від покупки ЦКВ $v(t) \cdot g_2(t) \cdot h_2(t)$, який він отримає на інтервалі $[t, t + 1]$.

Величина доходів від інвестування в набір ЦКВ $v(t) \cdot g_2(t) \cdot h_2(t)$ складається з доходів:

$$\beta_j \cdot v(t) \cdot g_2(t) \cdot y(t), j = 1, \dots, L; \beta_j \geq 0, \sum_{j=1}^L \beta_j = 1.$$

Тут величини β_j – частки доходів від інвестування j у конкретну ЦКВ.

Запишемо динаміку зміни змінних $h_1(t)$ (витрат) на набір ЦКВ, які необхідно зробити на проміжку від моменту t до T . Аналогічно для $h_2^\xi(t)$

(доходів), отриманих від купівлі набору ЦКВ, які можуть бути отримані на проміжку від моменту t до T . Тут $h_1(0) = H_1(0), h_2^\xi(0) = H_2^\xi(0)$.

Отже, з урахуванням робіт [52-69]:

$$\begin{aligned} h_1(t+1) &= g_1 \cdot h_1(t) - u(t) \cdot g_1 \cdot h_1(t) - \sum_{j=1}^K (1/(r_2)_j) \cdot \beta_j \cdot v(t) \cdot g_2 \cdot h_2^\xi(t); \\ h_2^\xi(t+1) &= g_2 \cdot h_2^\xi(t) - v(t) \cdot g_2 \cdot h_2^\xi(t) - \sum_{i=1}^L (r_1)_i \cdot \alpha_i \cdot u(t) \cdot g_1 \cdot h_1(t), \end{aligned} \quad (2.1)$$

де g_1, g_2 коригувальні коефіцієнти, які можуть враховувати інфляцію, девальвацію тощо;

$u(t)$ - керуючий вплив гравця I, який вибирає частку своїх витрат на набір ЦКВ, яку він здійснить на інтервалі $[t, t + 1]$;

$v(t)$ - керуючий вплив гравця II, який вибирає частку свого доходу від набору ЦКВ. Аналогічно розглядаємо вплив на інтервалі $[t, t + 1]$;

α, β - відповідно, частки витрат на набір ЦКВ та доходів від реалізації своїх ФР на набір ЦКВ (для конкретного набору ЦКВ).

Наведена динаміка задає взаємодію двох гравців. Ця взаємодія описуватиметься як білінійна багатокрокова гра з нечіткою інформацією [52–69].

На відміну від гри з повною інформацією гравцеві I точно не відомий початковий стан гравця II, а відома інформація про те, що його стан належить нечіткій множині:

$$\{X, m(\cdot)\},$$

де X підмножина R_+ ;

$m(\cdot)$ - функція приналежності стану $h_2^\xi(0)$ множині $X, m(h_2^\xi(0)) \in [0,1]$ для $h_2^\xi(0) \in X$.

Невідомий стан гравця II трактується як можливі максимальні доходи за вирахуванням можливих збитків (див. таб. 2.1). Тоді лінгвістичні змінні

для оцінювання елементів нечіткої множини $\{X, m(\cdot)\}$, що описує початкові стани гравця II, які можна позначити в таблиці 2.2.

Отримання нечітких множин аналогічно процедурі, описаної вище для ризиків та втрат від формування набору цифрових активів інвестора.

Таблиця 2.2

Лінгвістичні змінні для оцінювання елементів нечіткої множини $\{X, m(\cdot)\}$, що описує початкові стани гравця II

№	Позначення	Значення
1	$m(1)$	Дуже великі
2	$m(2)$	Великі
3	$m(3)$	Суттєві
4	$m(4)$	Середні
5	$m(5)$	Малі
6	$m(6)$	Незначні

Джерело: побудовано автором

Вирішення завдання щодо вибору стратегії інвестування в ЦКВ передбачає визначення бази нечітких правил, на вході яких, наприклад, крім збитків від інвестицій у певний вид ЦКВ, можуть бути й інші змінні. Наприклад, можна врахувати вплив на рівень ризику курсів ЦКВ, окремих загроз, зокрема репутаційних. Також можна додатково врахувати й інші чинники, що впливають курс ЦКВ: економічні; технічні; медійні.

Крім того, у кожен момент t відомі реалізації стратегії $v(\tau)$ для $\tau < t$, а також параметри, що визначають гру на ринку цифрових активів. Стратегія $v(\tau)$ – визначає, яку само операцію ми проводимо в певний час з ЦКВ.

Міркування виконані з позиції гравця I. Таким чином, про поінформованість гравця II жодних припущень не робиться. Це можна

трактувати так – гравець II має будь-яку інформацію, і насамперед ту, що стосується, наприклад, можливих збитків від інвестування в конкретну ЦКВ або набір ЦКВ.

Кроки гравцями виробляються одночасно.

Взаємодія закінчується під час виконання умов:

$$((h_2^\xi(t) < 0), (h_1(\tau) > 0)), \text{ із достовірністю } \geq p_0, \quad (2.2)$$

$$((h_2^\xi(t) < 0), (h_1(\tau) > 0)), \text{ із достовірністю } < p_0, \quad (2.3)$$

Опишемо як проходить гра.

У момент часу t гравець I множить величину $h_1(t)$ на коефіцієнт (темп зміни, темп зростання) g_1 і вибирає величину ($u(t) \in [0,1]$). Ця величина визначає частку витрат гравця I $g_1 \cdot h_1(t)$, яку він зробить на інтервалі $[t, t + 1]$ при інвестуванні в набір ЦКВ.

Аналогічно діє гравець II. У момент часу t гравець II множить величину $h_2^\xi(0)$ на коефіцієнт (темп зміни, темпи зростання) g_2 і вибирає величину ($v(t) \in [0,1]$). Дана величина визначає величину доходу гравця II $g_2 \cdot h_2^\xi(t)$, який він отримає на інтервалі $[t, t + 1]$ за інвестування в конкретну ЦКВ або набір ЦКВ.

Виділення витрат та доходів гравцями викликає виділення додаткових величин витрат та доходів гравцями. Це наслідок рентабельності інвестування у ту чи іншу ЦКВ, яка визначає взаємозв'язок між витратами та доходами інвесторів (гравців).

Тоді стани гравців у момент часу $t + 1$ визначимо із співвідношень (2.1).

Якщо виявиться, що виконується умова (2.2), то будемо говорити, що в розглянутій процедурі гравець I досяг бажаного результату з

достовірністю $p \geq p_0$ і процедура інвестування в ЦКВ або набір ЦКВ закінчена.

Якщо виявиться, що виконується умова (2.3), то будемо говорити, що в процедурі гравець I досяг бажаного результату з достовірністю $p < p_0$ і процедура інвестування в ЦКВ або набір ЦКВ закінчена.

Якщо не виконуються ні умова (2.2), ні умова (2.3), процедура бюджетування ЦКВ або набору ЦКВ триває далі.

Гравець I прагне знайти множину своїх початкових станів, які мають наступну властивість [52–69].

Властивість: якщо гра почнеться з початкових станів, то гравець I може вибором своїх впливів, що управляють $u(t), v(t) \in [0,1]$, забезпечити те, що гравець II отримав свої доходи раніше запланованого терміну з достовірністю $\geq p_0$.

При цьому, стратегія, обрана гравцем I, сприяє недопущенню процедури завершення своїх витрат раніше запланованого терміну з достовірністю $< p_0$.

Множина таких станів називається множиною переваги гравця I [52–69].

Визначимо функцію [52–69]:

$$F(\cdot): X \rightarrow R_+, F(x) = \{sup m(y), \text{ для } y \leq x\} \quad (2.4)$$

Позначимо через Φ – множину таких функцій, $T^* = \{0, \dots, T\}$.

Як показано в [52–69]. чистою стратегією $u(\dots)$ гравця I називається функція $u(\dots): T^* \times \Phi \times \Phi \rightarrow [0,1]$ яка $u(t, G, F) \in [0,1]$, ($G \in \Phi, F \in \Phi$).

Тобто, стратегія гравця I є правило, яке дозволяє йому на основі наявної інформації визначити величину витрат, яку гравець I зробить на інтервалі $[t, t + 1]$ при інвестуванні або в конкретну ЦКВ чи при інвестуванні в набір ЦКВ.

Гравець I вибирає свою стратегію $v(\cdot)$ на основі будь якої інформації, що стосуються ринків ЦКВ.

Ціль гравця I – знайти множину переваг Q_1 , а також власні стратегії. Застосовуючи ці стратегії, він отримає виконання умов, що дозволяють йому закінчити процедуру інвестування в ЦКВ або набір в ЦКВ.

Стратегії гравця I, які мають зазначені властивості в [52-69], називаються оптимальними. Модель є білінійною багатокроковою грою якості з кількома термінальними поверхнями [52–69]. Знаходження множини переваги гравця I та його оптимальних стратегій залежить від множини параметрів.

Для опису множини переваг гравця I необхідно ввести дві величини: $c(0) = \inf\{c^*\}, F(c^*) \geq p_0$, де $c(0)$ – величина, яка характеризує таку величину доходів гравця II від інвестування в ЦКВ або в набір ЦКВ, при якій гравець I може досягнути своєї мети з достовірністю $\geq p_0$.

Рішення сформульованої задачі знаходиться за допомогою інструментарію теорії багатокрокових ігор якості [52–69]. Даний інструментарій дозволяє знаходити рішення при будь-яких співвідношеннях параметрів гри. Враховуючи роботи [52–69] наведемо рішення гри, тобто множини «переваг» Q_1 та оптимальні стратегії гравця I.

Випадок а) $g_1 \leq g_2$.

$$Q_1^i = \{(h_1(0), c(0)) : k(i-1) \cdot g_2 \cdot c(0) \leq s_1 \cdot g_1 \cdot h_1(0) < k(i-2) \cdot g_2 \cdot c(0)\}, i = 1, \dots$$

$$\begin{aligned} u_* &= \{u_*(0, (h_1, c)), \dots, u_*(t-1, (h_1, c))\} = \\ &= \{[1 - (s_2 \cdot g_2 \cdot c) / (g_1 \cdot h_1)]\}, \end{aligned} \quad (2.5)$$

при $(h_1, c) \in R_+^2, g_1 \cdot h_1 > s_2 \cdot g_2 \cdot c$ та не визначена – в протилежному випадку; $t = 0, 1, \dots, i - 1$.

Отже,

$$\begin{aligned}
 k(i) &= 1 + s_1 \cdot s_2 - (s_1 \cdot g_1 \cdot s_2) / (g_2 \cdot k(i-1)); \\
 k_{-1} &= 0, k_0 = 1 + s_1 \cdot s_2; \\
 Q_1 &= \bigcup_{j=1}^{\infty} Q_1^j.
 \end{aligned}
 \tag{2.6}$$

Промінь

$$\begin{aligned}
 (s_1 \cdot g_1 / g_2) \cdot h_1(0) &= \\
 &= \{1 + s_1 \cdot s_2 + ((1 + s_1 \cdot s_2)^2 - 4 \cdot s_1 \cdot s_2 \cdot g_1 / g_2)^{0.5}\} / 2 \cdot c(0)
 \end{aligned}
 \tag{2.7}$$

буде бар'єром [52-61].

Бар'єр – випадок, коли зі станів

$(h_1(0), c(0))$:

$(s_1 \cdot g_1 / g_2) \cdot h_1(0) \leq$

$\leq \{1 + s_1 \cdot s_2 + ((1 + s_1 \cdot s_2)^2 - 4 \cdot s_1 \cdot s_2 \cdot g_1 / g_2)^{0.5}\} / 2 \cdot c(0)$

гравець I не може досягнути своєї мети в будь-який момент часу.

Випадок б) $g_1 > g_2, s_1 \cdot s_2 \geq 1$.

В цьому випадку множина переваг Q_1 гравця I буде об'єднанням скінченного числа множин Q_1^i , а саме $N + 2$ множин,

де

$$N : k(i) > s_1 \cdot s_2 \cdot g_1 / g_2, i = 0, \dots, N - 1; k(N) \leq s_1 \cdot s_2 \cdot g_1 / g_2, \tag{2.8}$$

$$Q_1^i = \{(h_1(0), c(0)) : k(i-1) \cdot g_2 \cdot c(0) \leq$$

$$\leq s_1 \cdot g_1 \cdot h_1(0) < k(i-2) \cdot g_2 \cdot c(0)\}, i = 1, \dots, N+1;$$

$$Q_1^{N+2} = \{(h_1(0), c(0)) : s_1 \cdot s_2 \cdot g_2 \cdot c(0) \leq s_1 \cdot g_1 \cdot h_1(0) < k(N) \cdot g_2 \cdot c(0)\}.$$

Оптимальна стратегія $u_* = (u_*(0, (h_1, c)), \dots, u_*(N+1, (h_1, c)))$

визначається так:

$$u_*(0, (h_1, c)) = \{0, \text{при } (h_1, c) \in R_+^2, g_1 \cdot h_1 \succ s_2 \cdot g_2 \cdot c, \quad (2.9)$$

$$u_*(0, (h_1, c)) = [1 - (s_2 \cdot g_2 \cdot c) / (g_1 \cdot h_1)], \text{при } (h_1, c) \in R_+^2, g_1 \cdot h_1 \succ s_2 \cdot g_2 \cdot c, \quad (2.10)$$

$$t = 1, \dots, N+1$$

і не визначена в протилежному випадку.

Випадок в) $g_1 \succ g_2, s_1 \cdot s_2 < 1$.

У цьому випадку множина Q_1 переваг гравця I також буде об'єднанням кінцевого числа множин Q_1^i . А саме $N + i_* + 2$ множин,

$$\text{де } N : k(i) \succ (g_1 / g_2), i = 0, \dots, N-1; k(N) \leq (g_1 / g_2);$$

де i_* – мінімальне ціле невід'ємне число, що визначається нерівністю

$$k(N) \cdot (g_2 / g_1)^{i_*+1} < s_1 \cdot s_2.$$

Тоді

$$\begin{aligned} Q_1^i &= \{(h_1(0), c(0)) : k(i-1) \cdot g_2 \cdot c(0) \leq \\ &\leq s_1 \cdot g_1 \cdot h_1(0) < k(i-2) \cdot g_2 \cdot c(0)\}, i = 1, \dots, N+1; \end{aligned} \quad (2.11)$$

якщо $i_* = 0$, то

$$\begin{aligned}
Q_1^i &= \{(h_1(0), c(0)) : k(i-1) \cdot g_2 \cdot c(0) \leq \\
&\leq s_1 \cdot g_1 \cdot h_1(0) \prec k(i-2) \cdot g_2 \cdot c(0)\}, i = 1, \dots, N+1;
\end{aligned}
\tag{2.12}$$

$$\begin{aligned}
Q_1^{N+2} &= \{(h_1(0), c(0)) : s_1 \cdot s_2 \cdot g_2 \cdot c(0) \leq \\
&\leq s_1 \cdot g_1 \cdot h_1(0) \prec k(N) \cdot g_2 \cdot c(0)\}.
\end{aligned}
\tag{2.13}$$

Запис оптимальної стратегії в даному випадку такий самий, як і у випадку б).

Якщо $i_* > 0$, то

$$\begin{aligned}
Q_1^{N+1+j} &= \{(h_1(0), c(0)) : k(N) \cdot (g_2 / g_1)^j \cdot g_2 \cdot c(0) \leq \\
&\leq s_1 \cdot g_1 \cdot h_1(0) \prec k(N) \cdot (g_2 / g_1)^{j-1} \cdot g_2 \cdot c(0)\},
\end{aligned}
\tag{2.14}$$

$$i = 1, \dots, i_*,$$

$$\begin{aligned}
Q_1^{N+1+i_*} &= \{(h_1(0), c(0)) : s_1 \cdot s_2 \cdot g_2 \cdot c(0) \leq \\
&\leq s_1 \cdot g_1 \cdot h_1(0) \prec k(N) \cdot (g_2 / g_1)^{i_*} \cdot g_2 \cdot c(0)\}.
\end{aligned}
\tag{2.15}$$

Оптимальна стратегія $u_* = (u_*(0, (h_1, c)), \dots, u_*(N+1, (h_1, c)))$ в даному випадку визначається так:

$$u_*(0, (h_1, c)) = 0, \text{ при } (h_1, c) \in R_+^2, g_1 \cdot h_1 \succ s_2 \cdot g_2 \cdot c, \tag{2.16}$$

і не визначена в іншому випадку при,

$$i = 0, \dots, i_*,$$

$$u_*(0, (h_1, c)) = [1 - (s_2 \cdot g_2 \cdot c) / (g_1 \cdot h_1)],$$

$$(h_1, c) \in R_+^2, g_1 \cdot h_1 > s_2 \cdot g_2 \cdot c, i \geq i_* + 1 \quad (2.17)$$

$$i = 1, \dots, N + 1$$

Розгляд та вирішення симетричної (за постановкою) завдання з погляду гравця II проводиться аналогічно.

Це дозволяє уявити позитивний ортант у площині $(h_1(0), c(0))$ (витрат на інвестування в ЦКВ або набір ЦКВ) у вигляді трьох множин (конусів) з вершиною в точці $(0,0)$.

Одна множина (конус), що примикає до осі $0H_1$, що визначає витрати на інвестування в ЦКВ є множиною переваги для гравця I.

Друга множина (конус), що примикає до осі $0C$, є множиною переваги для гравця II.

Третя множина (конус), що знаходиться між двома множинами переваги гравців у позитивному ортанті, є множиною нейтральною, з точки зору обох гравців. Фактично ця множина характеризує властивість збалансованості для гравців, зайнятих процедурою інвестування в ЦКВ. Тобто у гравців, для станів, що належать цій множині, існують стратегії, що дозволяють гравцям як завгодно довго продовжувати процедуру інвестування в ЦКВ із заданим ступенем достовірності. Тобто виконуватимуться умови $(h_1(0), c(0)) \in R_+^2$ для будь-якого моменту часу t . Зазначимо, що промені, що є межами конусів, задаються за допомогою коефіцієнтів, що є комбінацією параметрів, що задають динаміку процедури інвестування в ЦКВ. Отже, якщо задані початкові величини $(h_1(0), c(0))$ витрат і доходів, що генеруються процесом інвестування в ЦКВ, можна, наприклад, варіювати цими параметрами. Зокрема, вимагати, щоб параметри, що задають динаміку зміни витрат і доходів, що визначаються процесом інвестування в ЦКВ, були такими, щоб $(h_1(0), c(0))$ перебувала у сфері збалансованості. Або на промені збалансованості, якщо конус, що розділяє дві множини переваги, є променем. Якщо ж, зафіксовані деякі параметри, що визначають динаміку зміни витрат і доходів, можна

зажадати, щоб значення $(h_1(0), c(0))$ і частина нефіксованих параметрів були такі, щоб точка $(h_1(0), c(0))$ потрапила до області збалансованості. Це, своєю чергою, може впливати на сам процес бюджетування для інвестицій у ЦКВ чи його набір, і на рекомендації під час виборів стратегій управління витратами і доходами під час реалізації інвестиційних проектів над ринком ЦКВ гравцями. Якщо ж не можна нічого змінити, то наведене вище рішення гри вкаже на можливий результат проведення процедури інвестування ЦКВ, в рамках припущень, при яких розглядалася дана процедура.

Обчислювальний експеримент було проведено в середовищі MatLab. Модель також була реалізована у програмному модулі для багатоконтурної інформаційної системи управління цифровими активами з інтелектуальною підтримкою. Виконано п'ять тестових обчислювальних експериментів (див. рис. 2.5–2.9).

У ході обчислювального експерименту розглядалися ситуації, коли два гравці керують динамічною системою, що задають рух фінансових потоків під час інвестування в ЦКВ.

Мета експерименту визначити множину стратегій гравців, що задають раціональний розподіл витрат на ЦКВ або їх набір та доходів від інвестицій у ЦКВ або набір.

Також необхідно змоделювати ризики невиконання процедури інвестування ЦКВ. Розглядаються випадки, коли стратегії гравців виводять їх у відповідні термінальні поверхні. У результаті експерименту знаходяться множини початкових станів витрат і доходів, що визначають процедуру інвестування в ЦКВ.

На площині H_1 вісь абсцис – величини витрат на ЦКВ або набір ЦКВ гравця I. Вісь ординат H_2 – величина доходу від інвестування в ЦКВ або набір ЦКВ гравця II. Область під променем – область «переваг» гравця I. Область над променем – область «переваг» гравця II. Промені збалансованості показані пунктирними лініями різних вихідних даних.

Траєкторія рухів гравців та розрахункові точки на траєкторії показані суцільною червоною лінією з маркерами у формі кіл (рис. 2.5) або ромбів (рис. 2.6). Траєкторії знаходяться в області переваг гравців.

Отримані результати показують ефективність запропонованого підходу. У ході тестування моделі встановлено коректність одержаних результатів.

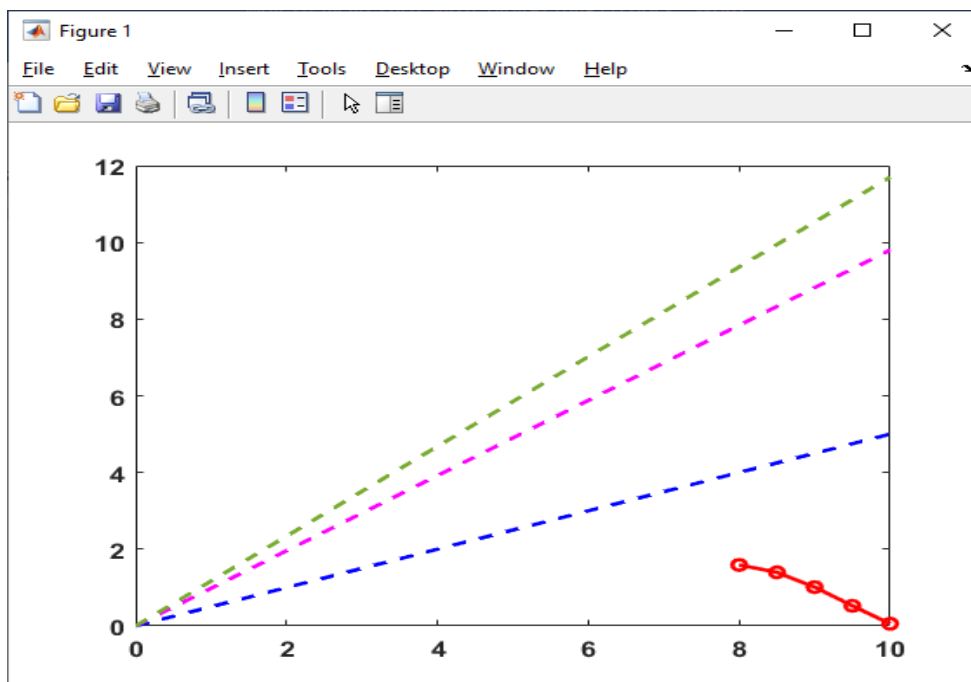


Рисунок 2.5. Результати обчислювального експерименту 1.

Траєкторія руху гравця I

Джерело: розроблено автором в середовищі Fuzzy Logic Matlab (знімок з екрану)

Рисунок 2.5 ілюструє ситуацію, коли гравець I має перевагу у співвідношенні початкових величин витрат та доходів (випадок б, при побудові множини переваг гравця I), а саме, його темп зростання витрат на ЦКВ або відповідний набір ЦКВ строго більший від темпу зростання доходів від інвестицій у ЦКВ або набір ЦКВ. Інтегральний коефіцієнт ефективності $g_1 \cdot g_2 \geq 1$, а його множина переваг не перетинається з множиною переваг гравця II. Тобто з будь-яких початкових величин витрат

і доходів своєї множини переваг він може досягти своєї мети. Ця обставина ілюструється можливою траєкторією процесу (зображена червоним кольором із круглими маркерами). Зазначимо, що область у позитивному ортанті на площині, що лежить нижче променя, зображеного синім кольором – це область переваг гравця I, область в позитивному ортанті на площині, що лежить вище променя, зображеного зеленим променем - це область переваги гравця II. Область у позитивному ортанті на площині, що знаходиться між ними – це область збалансованості процедури інвестування в ЦКВ.

Рожевим кольором зображено промінь збалансованості процесу інвестування в ЦКВ. Зазначимо, що траєкторія, зображена червоним кольором (у кутку рисунка) обумовлена тим, що ці величини перебувають у множині переваги гравця I. У цьому випадку гравець I, застосовуючи свою оптимальну стратегію, досягне своєї мети. Тобто гравець I призведе до стану системи на «свою» термінальну поверхню.

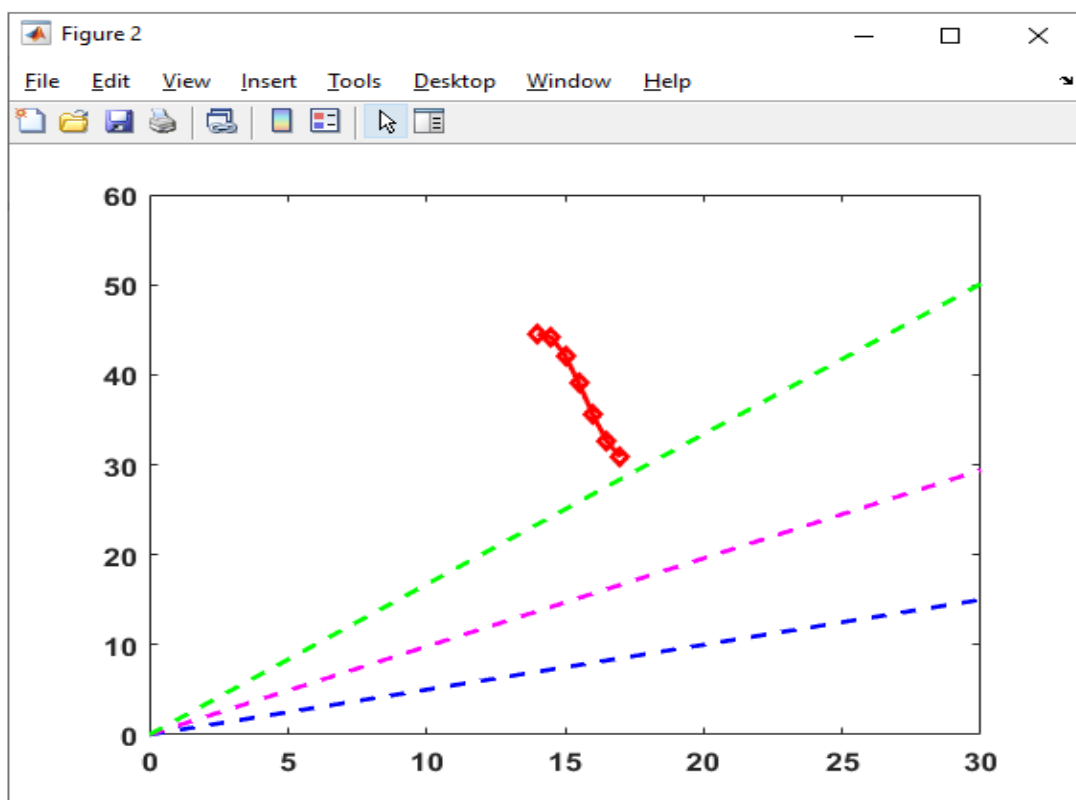


Рисунок 2.6. **Результати обчислювального експерименту 2.**
Траєкторія руху гравця II

Джерело: розроблено автором в середовищі Fuzzy Logic Matlab (знімок з екрану)

Рисунок 2.6 ілюструє ситуацію, коли гравець I має перевагу у співвідношенні початкових величин витрат і доходів (випадок, при побудові множини переваг гравця I). А саме, його темп зростання витрат на ЦКВ або набір ЦКВ строго більший від темпу зростання доходів від ЦКВ або набору ЦКВ. Інтегральний коефіцієнт ефективності $g_1 \cdot g_2 < 1$, а його множина «гарантованості за один крок» від можливої нестачі коштів на витрати на придбання ЦКВ (або набору ЦКВ), перетинається з безліччю «гарантованості за один крок» від можливої нестачі доходів гравця II. Тобто не з будь-яких початкових величин витрат і доходів своєї множини переваги він може досягти своєї мети. А саме, з точок перетину множини «гарантованості за один крок» можливе збалансоване проведення процедури інвестування в ЦКВ або їх набір. В області, що лежить вище за межу множини «гарантованості за один крок» гравця I, гравець II може досягти своєї мети. Ця обставина ілюструється можливою траєкторією процесу (зображена червоним кольором з маркерами у вигляді ромбів). Зазначимо, що область у позитивному ортанті на площині, що лежить нижче променя, зображеного синім кольором – це область переваги гравця I. Область у позитивному ортанті на площині, що лежить вище променя, зображеного зеленим променем – це область переваги гравця II. Область в позитивному ортанті на площині, що знаходиться між ними - це область збалансованості процедури бюджетування фінансових потоків, згенерованих процесом інвестування ЦКВ або їх набір (набори). Рожевим кольором зображено промінь збалансованості процесу бюджетування ЦКВ.

Рисунок 2.7 ілюструє ситуацію, коли початкові величини витрат і доходів знаходяться на промені збалансованості (випадок а, при побудові

множини гравця I). При цьому темп зростання витрат на ЦКВ або набір ЦКВ менше або дорівнює темпу зростання доходів від інвестицій у ЦКВ.

На рисунку 2.7 показано траєкторію процесу бюджетування фінансових потоків, згенерованих процедурою інвестування в ЦКВ, при застосуванні сторонами їх оптимальних стратегій (суцільна лінія синього кольору – гравець I та пунктирна лінія червоного кольору – гравець II).

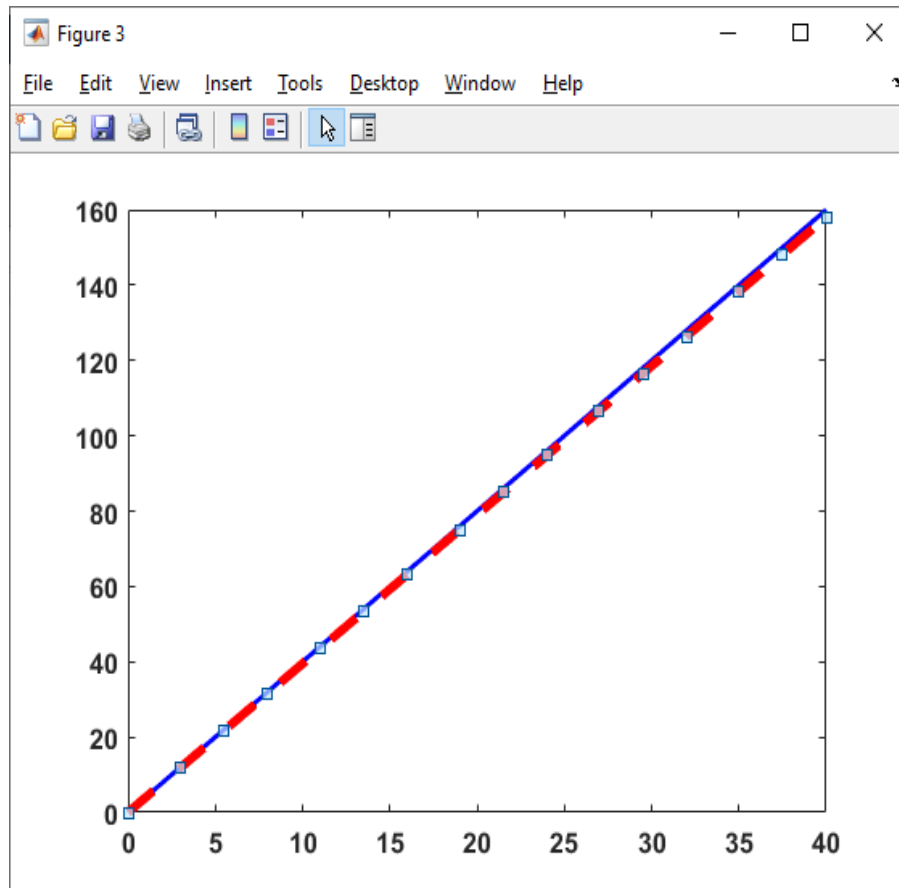


Рисунок 2.7. Результати обчислювального експерименту 3. («Стійкість» системи)

Джерело: розроблено автором в середовищі Fuzzy Logic Matlab (знімок з екрану)

Процес обчислювального експерименту та отримання точок на траєкторії руху проводиться так. Береться позитивний ортант на площині. Далі, в цьому ортанті розглядається сукупність променів, що виходять з

точки $(0,0)$. Ці промені задаються співвідношенням: $c = (1.5 - 1/n) \cdot h_1$. Ці промені задають множину переваг гравця I за n кроків.

Наприклад, множина Q^n це множина:

$$\begin{aligned} \{(h_1(0), c(0)) : (h_1(0), c(0)) \in R_+^2, (1.5 - 1/(n-1)) \cdot h_1(0) \leq \\ \leq c(0) < (1.5 - 1/n) \cdot h_1(0)\}. \end{aligned} \quad (2.18)$$

Наприклад, при $n = 1$ буде

$$Q_1^1 = \{(h_1(0), c(0)) : (h_1(0), c(0)) \in R_+^2, 0 \leq c(0) < (0.5) \cdot h_1(0)\}. \quad (2.19)$$

$$Q_1^2 = \{(h_1(0), c(0)) : (h_1(0), c(0)) \in R_+^2, 0.5 \cdot h_1(0) \leq c(0) < h_1(0)\}. \quad (2.20)$$

$$Q_1^3 = \{(h_1(0), c(0)) : (h_1(0), c(0)) \in R_+^2, h_1(0) \leq c(0) < (7/6) \cdot h_1(0)\}. \quad (2.21)$$

Промінь: $c(0) = (1.5) \cdot h_1(0)$ буде променем збалансованості.

Рисунок 2.6 демонструє ситуацію, в якій гравець II, використовуючи неоптимальну поведінку гравця I у початковий час, домагається того, що «наводить» стан системи на «свою» термінальну поверхню.

На рисунку 2.6 наведено позитивний ортант на площині. У цьому ортанті розглядається сукупність променів, що виходять з точки $(0,0)$. Ці промені задаються співвідношенням: $c = (2 - 1/n) \cdot h_1$. Ці промені задають множини переваг другого гравця за n кроків. Наприклад, множина Q_1^n це множина:

$$\begin{aligned} \{(h_1(0), c(0)) : (h_1(0), c(0)) \in R_+^2, (2 - 1/n) \cdot h_1(0) \leq \\ \leq c(0) < (2 - 1/(n-1)) \cdot h_1(0)\}. \end{aligned} \quad (2.22)$$

При $n = 1$ маємо:

$$Q_1^1 = \{(h_1(0), c(0)) : (h_1(0), c(0)) \in R_+^2, 0 \leq c(0) < h_1(0)\}. \quad (2.23)$$

$$Q_1^2 = \{(h_1(0), c(0)) : (h_1(0), c(0)) \in R_+^2, h_1(0) \leq c(0) < (3/2) \cdot h_1(0)\}. \quad (2.24)$$

$$Q_1^3 = \{(h_1(0), c(0)) : (h_1(0), c(0)) \in R_+^2, (3/2) \cdot h_1(0) \leq c(0) < (5/3) \cdot h_1(0)\}. \quad (2.25)$$

Промінь $c(0) = 2 \cdot h_1(0)$ буде променем збалансованості.

Рисунок 2.7 відповідає випадку, коли початковий стан системи перебуває в промені збалансованості. І гравці, застосовуючи свої оптимальні стратегії, «рухаються» з цього променя. Це «задовольняє» одночасно обох гравців.

Додатково, на рисунку 2.8 показаний випадок, коли є обмеження фінансових ресурсів для гравця I. Тобто розглянуто варіант, за якого бюджет для цифрових активів або їх набір обмежений і, відповідно, можна в ході ігрового імітаційного експерименту простежити не тільки траєкторії руху гравців, а й спрогнозувати ризики недофінансування угоди щодо цифрових активів або їхнього набору. Обмеження показано суцільною лінією із круглими блакитними маркерами та траєкторія руху гравця I за умови наявних обмежень на розмір фінансових ресурсів, що виділяються на ЦКВ або їх набір (див. рис. 2.8).

Відповідні обмеження можливі і для гравця II. Тобто доходи $H_2^{\xi}(0)$ складатимуться з доходів, які приносить цифрові активи у разі волатильності звичайних валют та доходів, отриманих від реалізації інвестиційного проекту до ЦКВ або їх набір загалом та траєкторія руху гравця II за умови наявних обмежень на розмір, які приносить ЦКВ або

інший набір у ситуації волатильності інших валют (див. рисунок 2.9). Обмеження показано круглими маркерами блакитного кольору.

Зауважимо, що запропонована модель описує процес прогнозування результатів бюджетування в цифрові активи загалом і є більшою частиною сукупкої моделі прогнозування ринку цифрових активів.

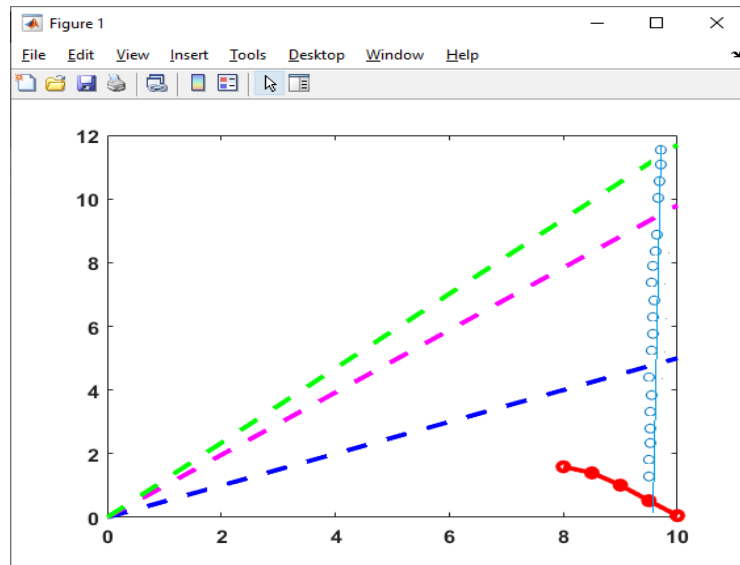


Рисунок 2.8. Результати обчислювального експерименту 4.

Джерело: розроблено автором в середовищі *Fuzzy Logic Matlab* (знімок з екрану)

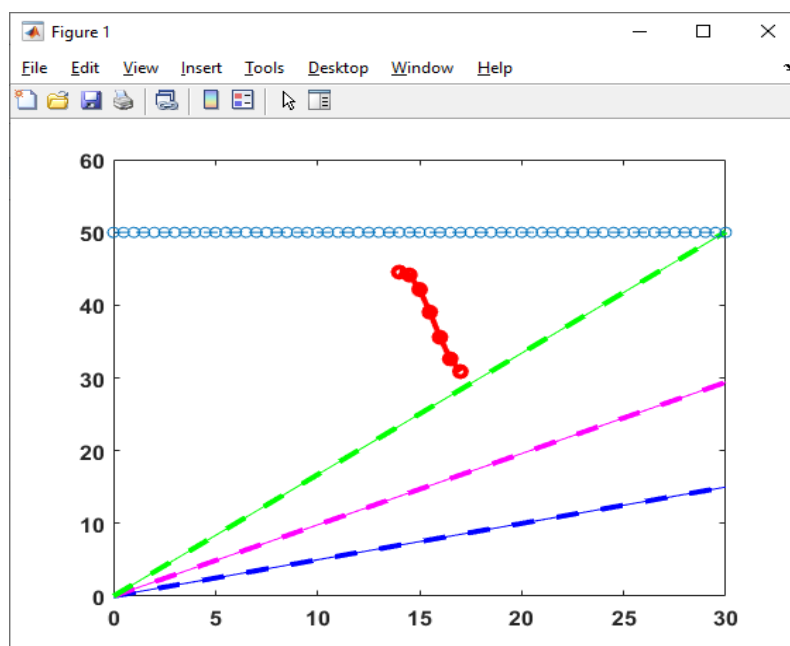


Рисунок 2.9. Результати обчислювального експерименту 5.

Джерело: розроблено автором в середовищі Fuzzy Logic Matlab (знімок з екрану)

2.2. Комплексне застосування ігрової моделі та нейронної мережі в задачі передбачення тренду котирувань цифрових криптовалют

Описана в попередньому підрозділі дисертації модель оцінювання результативності та ризиків інвестування в цифрові активи на основі комбінації теорії ігор та нечіткої логіки цікава радше інвесторам, які намагаються сформулювати стратегію інвестування у ЦКВ. Однак сама по собі ігрова модель не дає відповіді на питання: як буде складатися ситуація на ринку цифрових активів протягом певного періоду часу. Для вирішення цього підзавдання необхідно доповнити цю модель інструментарієм, що дозволить прогнозувати ринок цифрових активів.

Прогнозування курсу ЦКВ – важливе практичне завдання. Його рішення бачиться на основі розвитку апарату ШНМ спільно з методом опорних векторів.

Прогнозування курсів ЦКВ, як правило, ґрунтується на великій кількості предикторів. Однак такий підхід має обмеження. Це пов'язано з тим, що використання прогновної моделі великої кількості макроекономічних показників, наприклад, таких як:

- 1) ціна на золото
- 2) ціна на срібло
- 3) ціна на платину
- 4) ціна на паладій
- 5) ціна на нафту Brent
- 6) співвідношення євро/долар
- 7) співвідношення англійський фунт стерлінгів/долар
- 8) котирування S&P
- 9) короткострокові зобов'язання казначейства США;

10) Інші, що впливають на інтерес інвесторів (гравців у термінах ігрової моделі, розглянутої у попередньому підрозділі дисертації) до ринку цифрових активів.

Високе співвідношення кількості потенційних предикторів до кількості спостережень може призвести до того, що виникатиме постійна необхідність постійно коригувати безпосередньо прогнозну модель або постійно оновлювати вибірки з урахуванням динаміки зміни попиту на інші активи, альтернативні ЦКВ.

Інвестор, перш за все, зацікавлений у низьких помилках прогнозної моделі. А низька помилка, у свою чергу, може бути досягнута під час коректного навчання ШНМ на основі коректної прогнозної моделі.

Зауважимо, що майже всі предиктори, присутні у прогнозних моделях ринку цифрових активів, залежать від подій у світовій економіці. А це призводить до погіршення прогнозованості для тривалих часових меж. Тобто предиктори, які добре виправдовують у короткостроковому прогнозуванні на ринку цифрових активів, можуть не працювати в прогнозній моделі для середньострокового або довгострокового прогнозу.

Як було зазначено раніше у першому розділі роботи для короткострокових прогнозів на ринку цифрових активів добре зарекомендували себе моделі на основі лінійної регресії, наприклад, виду [70]:

$$y = X \cdot b + e \quad (2.26)$$

де y – вектор значень курсу ЦКВ за визначений період часу;

X - матриця значень пропозицій на ринках альтернативних активів, наприклад, банківських металів;

b - вектор коефіцієнтів регресії;

e - вектор, що характеризує стохастичні відхилення.

Проте прогнольні моделі ЦКВ, засновані на класичній лінійній регресії, не підходять у ситуаціях волатильності ринків альтернативних ЦКВ. Це пов'язано з тим, що регресори у такій ситуації стають випадковими величинами. На них впливають стохастичні чинники. Крім того, регресори часто взаємозалежні, як, наприклад, співвідношення євро/долар і ціна на золото.

У такій ситуації краще за себе показали регресійно-факторні моделі виду [71-73]:

$$y = F \cdot c + u \quad (2.27)$$

де y – вектор значень курсу ЦКВ за певний час;

F - матриця значень чинників, які впливають на курс ЦКВ за певний період;

U - матриця випадкових відхилень чинників, які впливають на курс ЦКВ;

$$c = A^T \cdot b,$$

де A - матриця, що визначає навантаження того чи іншого чинника на курс ЦКВ;

b - коефіцієнти регресії.

У цьому дослідженні, в рамках розробки комбінованого методу оцінки ризиків та прогнозування курсів ЦКВ на основі інтелектуального підходу шляхом комплексного застосування теорії гри, нечіткої логіки та нейронних мереж зроблено таке припущення.

Припущення:

Вважатимемо, що результати, що відповідають логарифмічній прибутковості ЦКВ в поточному періоді короткостроковому періоді часу, наприклад, годину або добу (в загальному вигляді t), визначають і результати прибутковості наступної доби. Тоді, за кожним з 20-30 значень

прибутковості ЦКВ будемо за допомогою ШНМ, визначати напрямки лінійного тренду. При цьому застосовуємо логарифмічну шкалу оцінки.

Логарифмічна шкала для оцінки тренда ЦКВ обрана виходячи з того, що вона виключно зручна для відображення великих діапазонів значень величин ЦКВ або їх пар. Це дозволить проводити складні обчислення з точністю два-три десяткових знаки.

Тоді прогнозований тренд ЦКВ або їх пар разом зі стратегіями гравців, описуватиме поведінки котирувань ЦКВ протягом наступного часового відрізка (доба).

Для навчання ШНМ використовуватимемо вектори виду:

$\vec{X} = \{X_1, X_2, \dots, X_m\}$ - незалежні змінні, наприклад, ризики інвестування в ЦКВ та ін;

$\vec{Y} = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_m\}$ - залежні змінні, наприклад, співвідношення альтернативних активів (банківські метали, нафта, та ін., і, навіть, стратегії гравців на ринку цифрових активів).

В даних векторах m - кількість тимчасових інтервалів для яких визначалася прибутковість від інвестування в ЦКВ.

З урахуванням робіт [74-76], а також викладок, наведених у попередньому підрозділі дисертаційної роботи, можна записати такі вирази, що описують лінію тренду ЦКВ так:

$$X_n = \{LOGR_{n+1}, LOGR_{n+2}, \dots, LOGR_{n+t}\} \quad (2.28)$$

$$Y_n = \{LINR_{n+t+1, n+t+2, \dots, n+T}\} \quad (2.29)$$

де $LOGR_i$ - рівень прибутковості ЦКВ у логарифмічній шкалі в i -й точці часового інтервалу t ;

$LINR_{j,k}$ - коефіцієнти рівняння регресії, що будуються за показниками прибутковості ЦКВ, ризиків та стратегій гравців;

n - номер спостереження.

Результати роботи НМ (див. рис. 2.10), багато в чому залежать від обраної функції активації. Для виявлення залежностей найкраще використовувати нелінійні функції активації. Наприклад, можна використовувати функції (2.28) та (2.29), що описані вище.

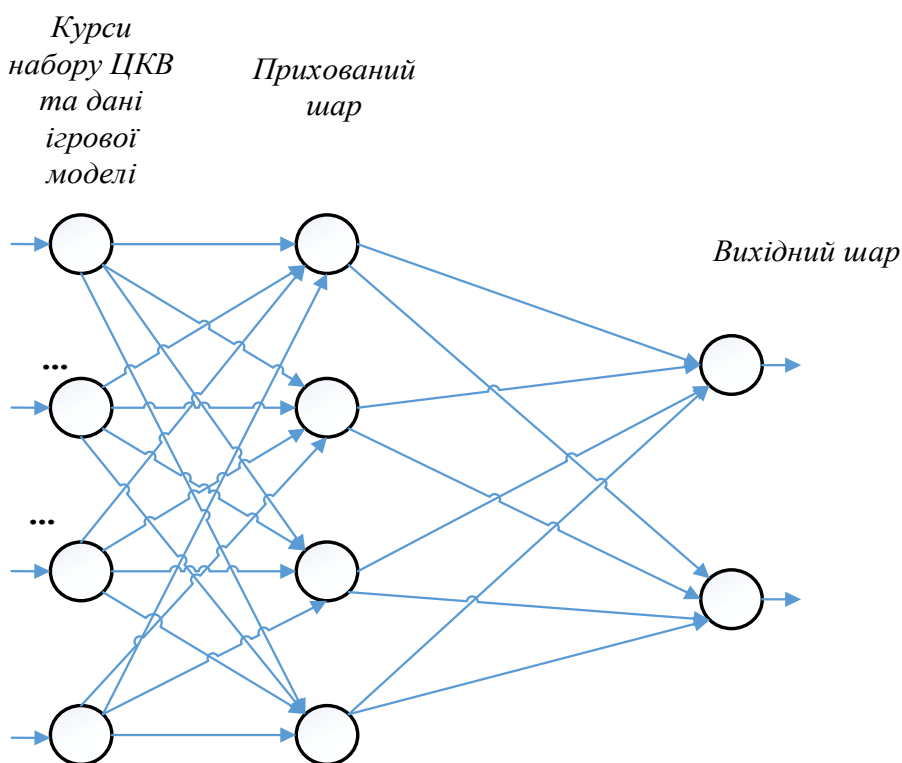


Рисунок 2.10 Схема нейронної мережі для вирішення задачі прогнозування курсів ЦКВ

Джерело: розроблено автором в середовищі Fuzzy Logic Matlab (знімок з екрану)

Подання даних на вхід ШНМ виконуватимемо, використовуючи метод вікон, див. рис. 2.11. Перше вхідне вікно необхідне для надання даних, які лежать в основі прогнозу, включаючи стратегії гравців на ринку цифрових активів, про які йшлося в попередньому підрозділі роботи. Друге, вихідне вікно міститиме дані, які мають бути отримані у процесі

прогнозування. Вікна, що показані помаранчевим кольором – вхід; зеленим – вихід.

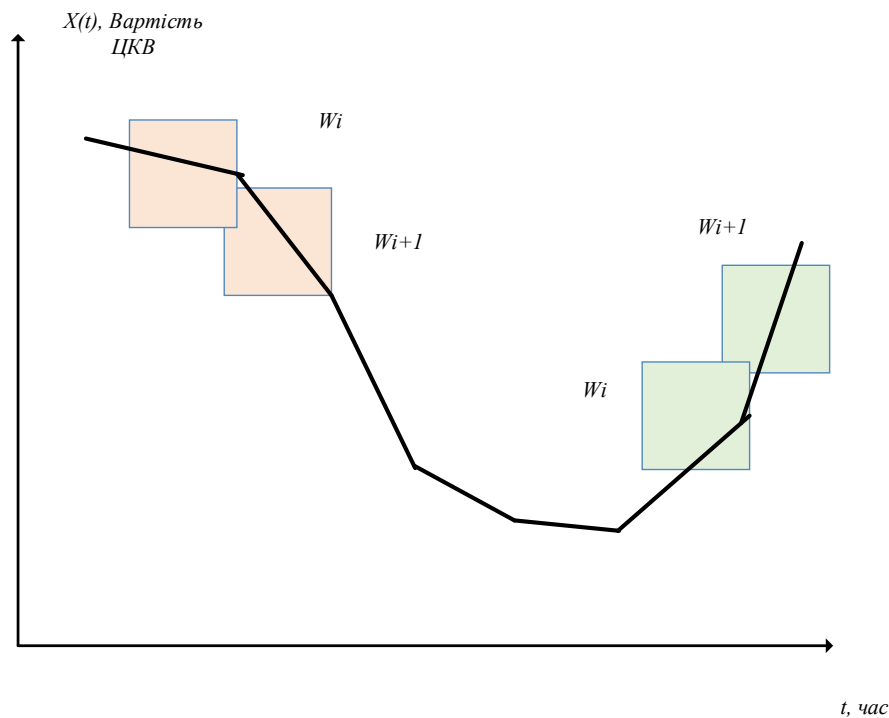


Рисунок 2.11 Схеми переміщення вікон для прогнозної моделі котирувань цифрових активів

Джерело: розроблено автором в середовищі Fuzzy Logic Matlab (знімок з екрану)

Таким чином, кожне вікно можна трактувати як носій інформації з множини даних, що входять до навчальної вибірки:

$$W_i = \{x(t_i)\}_{i=1}^N, \quad (2.30)$$

де N - розміри вікна, що переміщається відносно тимчасової осі, див. рис. 2.10;

x – котирування ЦКВ (або пари) у момент часу t_i .

Скористаємося для первинної обробки даних за ринками ЦКВ даними, які публікуються на спеціалізованих порталах, наприклад

<https://coinmetrics.io/community-network-data/>. На цьому ресурсі розміщують дані з торгів усіма ЦКВ, і навіть їх парами. Ці дані розміщують у форматі *.csv, що дозволяє завантажувати їх, наприклад, для таких пакетів як Neuro-Fuzzy Designer (Matlab) [77, 78], Neural Networks (STATISTICA) [79, 80] для подальшої обробки або навчання ШНМ.

У нашому дослідженні, оскільки для вирішення системи білінійних диференціальних рівнянь використовувався пакет Matlab, також використовуватимемо Neuro-Fuzzy Designer (Matlab). Для початку завантажуюмо дані, див. 2.12. Після чого поповнимо їх результатами моделювання на підставі рішення рівнянь (2.1-2.16), а потім побудуємо ШНМ у Neuro-Fuzzy Designer на підставі даних статистики з торгів та результатів моделювання з пошуку раціональних стратегій гравців на ринку цифрових активів.

Щоб навчити ШНМ у Neuro-Fuzzy Designer є два алгоритми навчання. Це відповідно, зворотне поширення та гібридне навчання. З специфіки постановки завдань дослідження, було обрано гібридне навчання. Це з тією умовою, що у даному типі навчання ШНМ може бути сформована за невелику кількість проходів. І хоч для тренувальної вибірки отриманий прогноз ще відрізнятиметься від реального, але в міру подальшого навчання відхилення між прогнозом і реальними котируваннями скорочуватимуться. Після навчання ШНМ та її тестування, на даних, приклади фрагментів яких показано в таблицях 2.3-2.9, поза вибіркою середньоквадратична помилка не повинна перевищувати 500-100 пунктів вартості ЦКВ.

Таким чином, результатом навчання на основі комбінованого методу на базі інтелектуального підходу щодо застосування теорії гри, нечіткої логіки та ШНМ стала багатошарова гібридна НМ, яка буде здатна виконувати прогнозування курсів ЦКВ, не тільки виходячи з даних статистики котирувань, але й зважаючи на ризики даних інвестиційних операцій, та стратегії інвестування, які обирають гравці.

Таблиця 2.3

Фрагмент навчальної вибірки для нейронної мережі (Bitcoin)

Дата	Значення
16.09.2022	19 758,25
15.09.2022	19 798,84
14.09.2022	19 964,12
13.09.2022	20 340,42
12.09.2022	22 426,66
11.09.2022	21 537,77
10.09.2022	21 413,10
09.09.2022	21 276,02
08.09.2022	19 378,28
07.09.2022	19 344,57
06.09.2022	18 938,30
05.09.2022	19 770,90

Джерело: побудовано автором на основі джерела [120]

Таблиця 2.4

Фрагмент навчальної вибірки для нейронної мережі (Litecoin)

Дата	Значення
16.09.2022	55,73
15.09.2022	56,92
14.09.2022	59,64
13.09.2022	59,75
12.09.2022	61,46
11.09.2022	62,36
10.09.2022	63,39
09.09.2022	60,90
08.09.2022	58,21
07.09.2022	56,94
06.09.2022	55,10
05.09.2022	60,23

Джерело: побудовано автором на основі джерела [120]

Таблиця 2.5

Фрагмент навчальної вибірки для нейронної мережі Ethereum

Дата	Значення
16.09.2022	1 460,96
15.09.2022	1 497,71
14.09.2022	1 597,84
13.09.2022	1 616,41
12.09.2022	1 726,23
11.09.2022	1 752,49
10.09.2022	1 731,62
09.09.2022	1 722,28
08.09.2022	1 646,91
07.09.2022	1 640,69
06.09.2022	1 575,41
05.09.2022	1 596,38

Джерело: побудовано автором на основі джерела [120]

Таблиця 2.6

Фрагмент навчальної вибірки для нейронної мережі

(на основі даних обчислювального експерименту 1, див. рис. 2.5)

Дата	Значення оптимальної стратегії інвесторів (гравець 1)
16.09.2022	10,00
15.09.2022	9,00
14.09.2022	9,00
13.09.2022	8,50
12.09.2022	8,77
11.09.2022	9,50
10.09.2022	9,89
09.09.2022	8,60
08.09.2022	9,78
07.09.2022	8,56
06.09.2022	9,35
05.09.2022	9,34

Джерело: побудовано автором

Таблиця 2.7

Фрагмент навчальної вибірки для нейронної мережі

(на основі даних обчислювального експерименту 2, див. рис. 2.6 -

Траєкторія руху гравця II)

Дата	Значення оптимальної стратегії інвесторів (гравець 2)
16.09.2022	26,00
15.09.2022	29,00
14.09.2022	39,00
13.09.2022	38,50
12.09.2022	38,77
11.09.2022	39,50
10.09.2022	39,89
09.09.2022	38,60
08.09.2022	29,78
07.09.2022	38,56
06.09.2022	39,35
05.09.2022	39,34

Джерело: побудовано автором

Таблиця 2.8

Фрагмент навчальної вибірки для нейронної мережі

(з урахуванням даних обчислювального експерименту 3, див. рис. 2.7

- («Стійкість» системи при торгах ЦКВ)

Дата	Значення оптимальної стратегії інвесторів (гравці 1 та 2)
16.09.2022	4,50
15.09.2022	6,20
14.09.2022	7,340
13.09.2022	10,50
12.09.2022	12,47
11.09.2022	15,50
10.09.2022	19,89
09.09.2022	25,20
08.09.2022	29,67

07.09.2022	32,56
06.09.2022	36,35
05.09.2022	40,34

Джерело: побудовано автором

Таблиця 2.9

Фрагмент навчальної вибірки для нейронної мережі

(на основі даних статистики з торгів та даних обчислювальних експериментів 1-2, див. рис. 2.5-2.7)

Дата	Значення Bitcoin	Значення Litecoin	Значення ethereum-eth_usd	Значення вихід (Значення оптимальної стратегії інвесторів ігрок 1)	Значення вихід (Значення оптимальної стратегії інвесторів ігрок 2)
16.09.2022	19 758,25	55,73	1 460,96	10	26
15.09.2022	19 798,84	56,92	1 497,71	9	29
14.09.2022	19 964,12	59,64	1 597,84	9	39
13.09.2022	20 340,42	59,75	1 616,41	8,5	38,5
12.09.2022	22 426,66	61,46	1 726,23	8,77	38,77
11.09.2022	21 537,77	62,36	1 752,49	9,5	39,5
10.09.2022	21 413,10	63,39	1 731,62	9,89	39,89
09.09.2022	21 276,02	60,90	1 722,28	8,6	38,6
08.09.2022	19 378,28	58,21	1 646,91	9,78	29,78
07.09.2022	19 344,57	56,94	1 640,69	8,56	38,56
06.09.2022	18 938,30	55,10	1 575,41	9,35	39,35
05.09.2022	19 770,90	60,23	1 596,38	9,34	39,34

Джерело: побудовано автором

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data (approximate values from the visible cells):

Row	A	B	C	D	E
2	1.97208e+04	55.7289	1.46106e+03	10	26
3	1.97799e+04	56.9217	1.49777e+03	9	29
4	1.9964e+04	59.6427	1.5978e+03	9	39
5	2.0340e+04	59.7535	1.6164e+03	8.5000	38.5000
6	2.2427e+04	61.4624	1.7262e+03	8.7700	38.7700
7	2.1538e+04	62.3555	1.7525e+03	9.5000	39.5000
8	2.1413e+04	63.3920	1.7316e+03	9.8900	39.8900
9	2.1276e+04	60.9032	1.7223e+03	8.6000	38.6000
10	1.9378e+04	58.2126	1.6469e+03	9.7800	29.7800
11	1.9345e+04	56.9426	1.6407e+03	8.5600	38.5600
12	1.8938e+04	55.0966	1.5754e+03	9.3500	39.3500
13	1.9771e+04	60.2317	1.5964e+03	9.3400	39.3400
14	1.9758e+04	55.7289	1.4610e+03	10	26
15	1.9799e+04	56.9217	1.4977e+03	9	29
16	1.9964e+04	59.6427	1.5978e+03	9	39
17	2.0340e+04	59.7535	1.6164e+03	8.5000	38.5000
18	2.2427e+04	61.4624	1.7262e+03	8.7700	38.7700
19	2.1538e+04	62.3555	1.7525e+03	9.5000	39.5000
20	2.1413e+04	63.3920	1.7316e+03	9.8900	38.8900
21	2.1276e+04	60.9032	1.7223e+03	8.6100	38.6000
22	1.9378e+04	58.2126	1.6469e+03	9.8000	26.7800
23	1.9345e+04	56.9426	1.6427e+03	8.5000	38.5600
24	1.8938e+04	55.0966	1.5754e+03	9.3500	4.3500
25	1.9771e+04	60.2317	1.5974e+03	9.3400	39.3400

Рисунок 2.12 Завантаження даних для навчання НМ на основі комбінованого методу оцінки ризиків та прогнозування курсів цифрових активів

Джерело: розроблено автором в середовищі Fuzzy Logic Matlab

Задамо параметри навчання нашої нейронної мережі, див. табл., 2.10.

Таблиця 2.10

Параметри навчання нейронної мережі

№	Параметер	Позначення функції	Значення
1	Максимальна кількість циклів навчання	net.trainParam.epochs	200
2	Граничне значення критерію навчання НМ	net.trainParam.goal	1e-3
3	Швидкості навчання НМ	net.trainParam.lr	0.1
4	Інтервал виведення інформації	net.trainParam.show	3
5	Параметр обурення	net.trainParam.mc	1

Джерело: побудовано автором

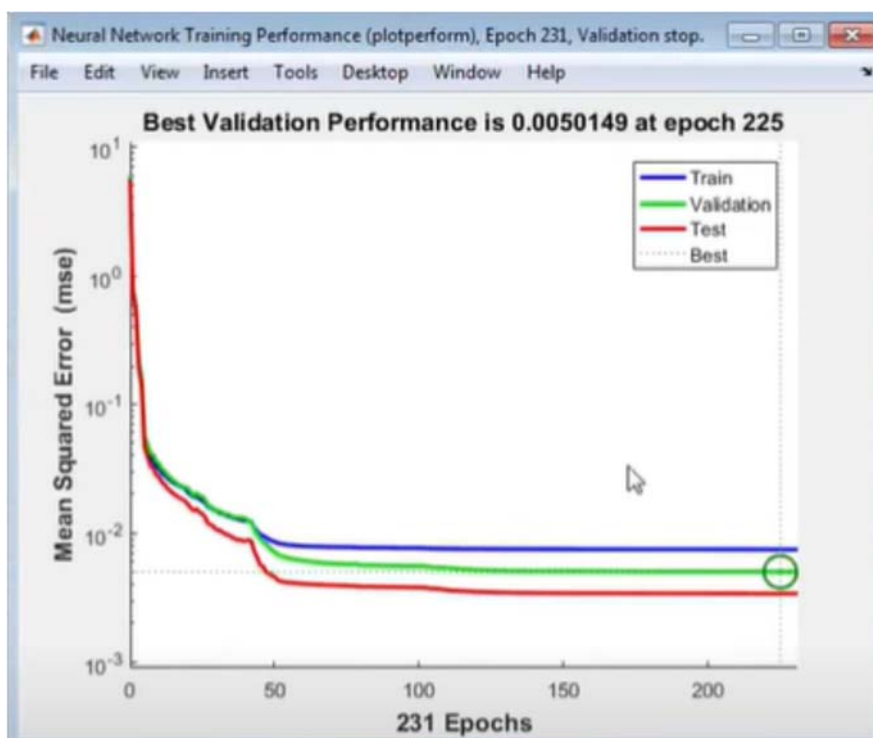


Рисунок 2.13 Результати навчання НМ

Джерело: розроблено автором в середовищі *Fuzzy Logic Matlab* (знімок з екрану)

На рисунку 2.14 показано діаграми, які відображають навчальну здатність НМ.

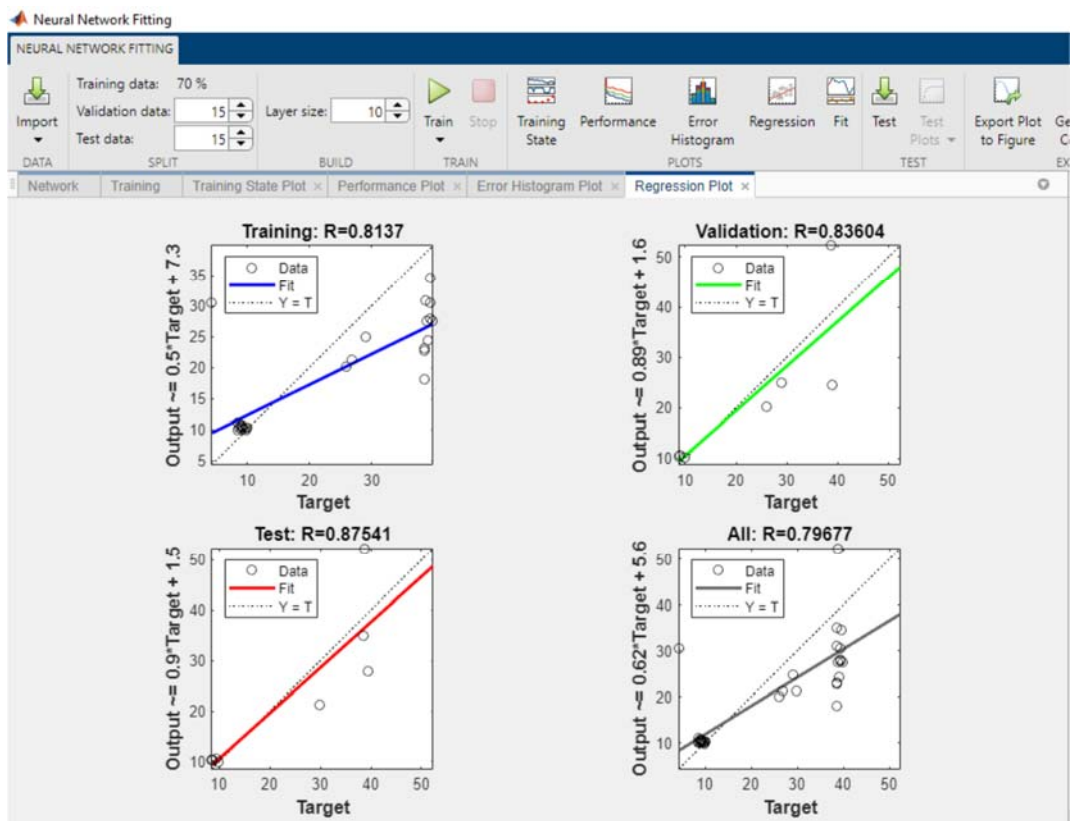


Рисунок 2.14 Діаграми, що відображають навчальну здатність створеної НМ

Джерело: розроблено автором в середовищі *Fuzzy Logic Matlab* (знімок з екрану)

Графік навчання нейронної мережі на основі комбінованого методу оцінювання результативності та ризиків інвестування в ЦКВ показано на рисунку 2.15.

З даного рисунка видно, що задана ШНМ навчена і підходить для прогнозування тренду курсу/курсів ЦКВ або пар, див. рис. 2.16. Графік

навчання ШНМ збігається з вихідними даними з торгів на ринку цифрових активів за період з 01.10.2022 р. по 5.10.2022 р.

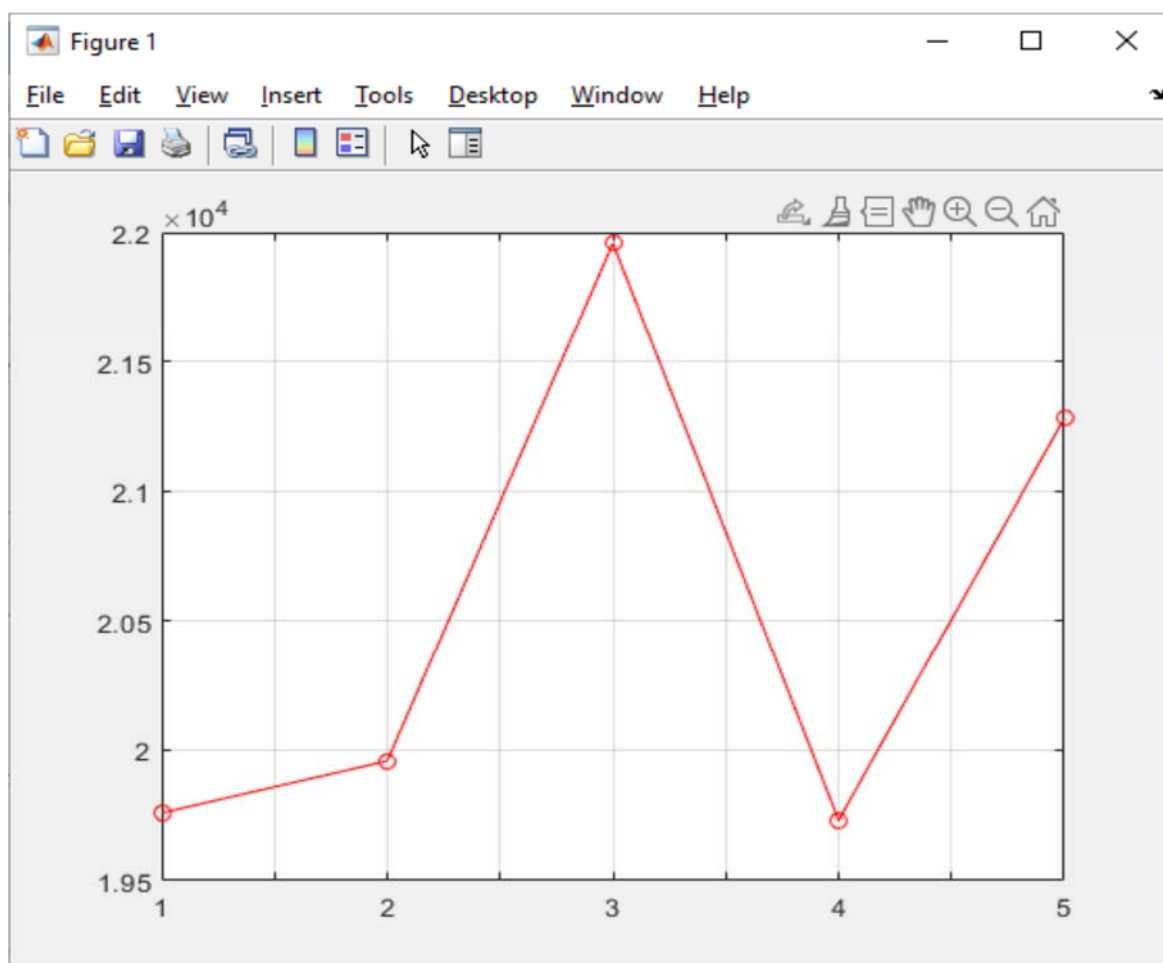


Рисунок 2.15 Графік навчання нейронної мережі на основі комбінованого методу оцінювання результативності та ризиків інвестування в цифрові активи

Джерело: розроблено автором в середовищі Fuzzy Logic Matlab (знімок з екрану)

Проведемо прогнозування курсу ЦКВ на два тижні з 1 по 15 число найближчого місяця. І тому задаємо дані аналогічні даним, показаним у таблиці 2.9, але не фрагментарно, а використовуючи повну вибірку, задіяну у процесі навчання.

На рисунку 2.16 показані дані прогнозування цифрових активів, отримані на основі застосування нашої нейронної мережі.

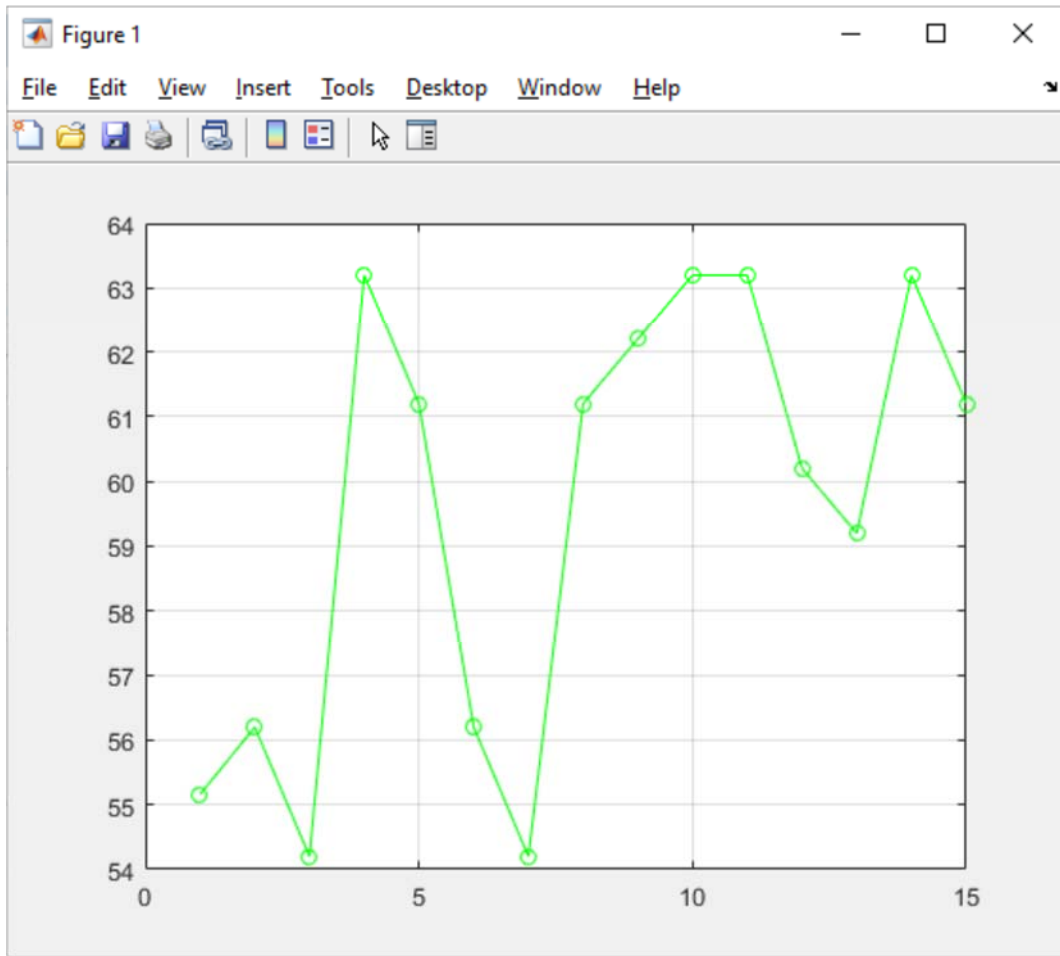


Рисунок 2.16 Дані прогнозування ЦКВ, отримані на основі застосування НМ

Джерело: розроблено автором в середовищі Fuzzy Logic Matlab (знімок з екрану)

Таким чином, використовуючи поточні значення параметрів аналогічних даним таблиць 2.4-2-9, ми можемо отримувати графік прогнозів курсів ЦКВ у короткостроковий період часу з мінімальною помилкою, що дає змогу в майбутньому отримувати найточніші прогнози у міру навчання мережі.

Пропонована НМ може бути збережена у вигляді скрипта (див. рис. 2.17).

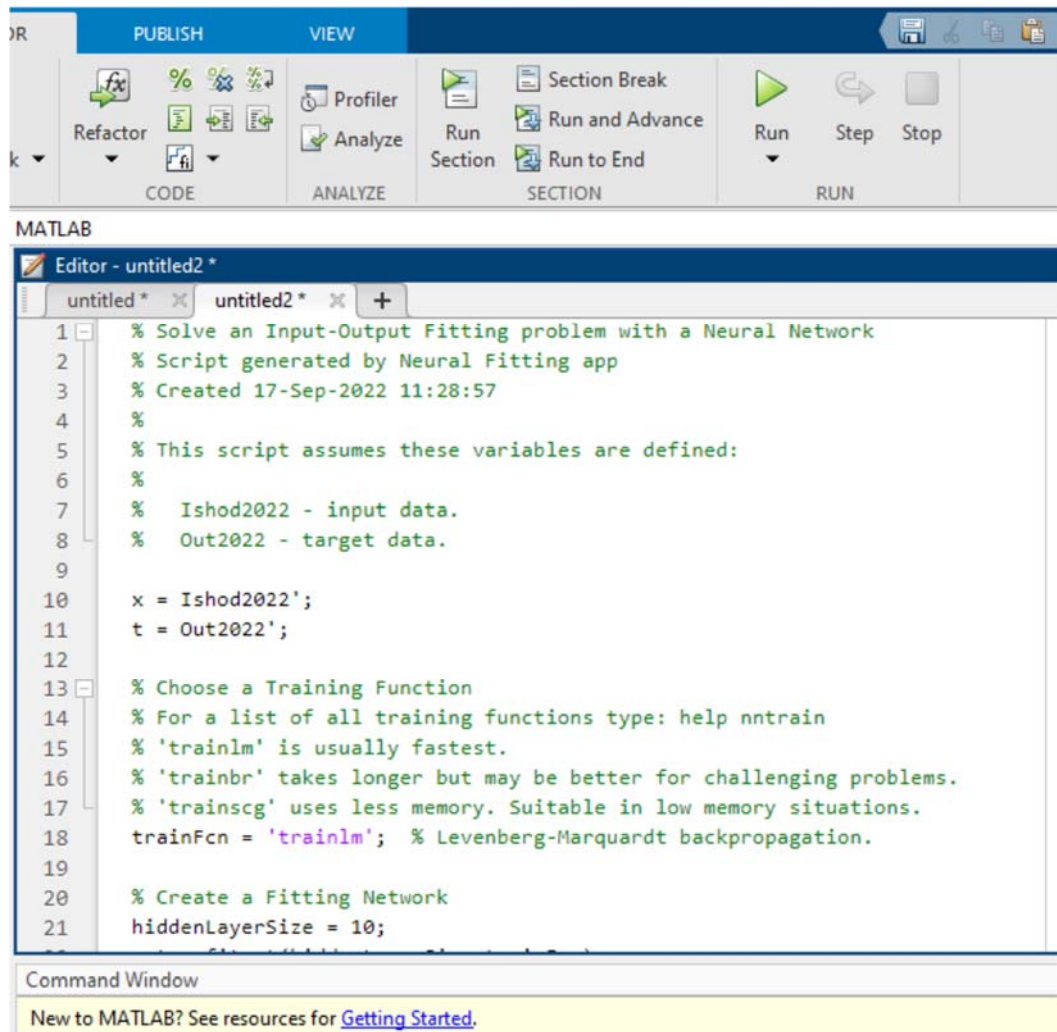


Рисунок 2.17. Збережений скрипт НМ

Джерело: розроблено автором в середовищі Fuzzy Logic Matlab (знімок з екрану)

Це дозволяє використовувати дану нейронну мережу надалі, періодично перевіряючи її актуальність і в міру необхідності вносячи корективи до навчальної вибірки.

Для оцінки точності прогнозу часового ряду на ринку цифрових активів використовувалася середня відносна помилка у відсотках (MAPE). Це дозволило виконувати порівняння якісних результатів, описаних у цьому розділі роботи зі схожими результатами досліджень [81-83].

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

Таким чином у другому розділі отримано такі основні результати:

- розроблено математичний інструментарій вирішення задачі щодо пошуку оптимальних стратегій інвестування в цифрові активи з боку інвестора. Рішення знайдено на основі застосування теорії ігор, теорії нечітких множин та комп'ютерних систем імітаційного моделювання;
- розроблена математична модель, що дозволяє отримати алгоритм прогнозування успішності процедури інвестування в цифрові активи з боку інвестора, який потім може бути реалізований в одному з модулів інтелектуальної інформаційної системи прогнозування курсів цифрових активів;
- розроблений комбінований метод оцінки ризиків та прогнозування курсів цифрових валют на основі застосування теорії ігор, нечіткої логіки, а також нейронних мереж, а також модель прогнозування успішності процедури інвестування в цифрові активи дозволяють оптимізувати процеси прийняття рішень з оцінки ринку цифрових активів;
- наукова новизна одержаних результатів, полягає в тому, що вперше для вирішення проблеми оцінки ринку цифрових активів у контексті завдання інвестування у цифрові активи або їх набір використані ігрові підходи, що ґрунтуються на вирішенні білінійної гри якості в нечіткій постановці.

Основні результати розділу висвітлені у науково-дослідній роботі НДР № 0122U001549 «Моделювання інтелектуальних систем управління діяльністю підприємств», (довідка від 29.08.2023 №1454/24)

Основні результати розділу опубліковані в наукових працях автора:

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

[1], [3], [4], [6], [7].

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

[8], [9], [10], [11], [12], [13].

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

[14], [16], [17], [18].

РОЗДІЛ 3

РЕАЛІЗАЦІЯ ІГРОВОЇ МОДЕЛІ ТОРГОВЕЛЬНОЇ СЕСІЇ НА РИНКУ ЦИФРОВИХ АКТИВІВ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

Окремі нейрони є універсальними будівельними конструкціями для синтезу складних нейронних мереж, призначених для вирішення прикладних завдань у найрізноманітніших сферах людської діяльності. Як було зазначено раніше, в останнє десятиліття з'явилося чимало публікацій, присвячених застосуванню теорії ігор у галузі нейронауки. Навіть почав використовуватись такий термін, як нейроекономіка. Що стосується концептуальної взаємодії цих двох фундаментальних розділів математики. Вона базується на припущенні, що окремі нейрони, наприклад, в ШНМ, будуть оптимально поводитися при активації їх відповідно до заданої матриці виграшу. Така матриця виграшу може бути сформована, наприклад, при вирішенні звичайної гри або при вирішенні білінійної багатокрокової гри якості з декількома термінальними поверхнями. Таким чином, природно припустити, що теорія ігор може виступати в якості базового організуючого принципу для формування такої штучної нейронної мережі. Іншими словами теорія ігор, а саме в нашому випадку платіжна матриця, сформована в результаті рішення білінійної багатокрокової гри якості з декількома термінальними поверхнями, виступає в якості керівного принципу при організації та комунікації нейронів в ШНМ. На наш погляд таке поєднання двох фундаментальних теорій - ігор та нейромереж робить інтуїтивно привабливою можливість розробки інтелектуальних інформаційних систем для підтримки прийняття рішень у різних прикладних задачах.

У роботі [68] показано, що у різних прикладних завданнях, пов'язаних із розробкою інтелектуальних інформаційних систем, взаємодію між двома агентами (штучними чи природними) можна інтерпретувати за допомогою

положень теорії ігор. Так, наприклад, можна використовувати такі базові положення теорії ігор, як гравці, правила гри, результат гри (або виграш у канонічній інтерпретації теорії ігор) та ін [68]. У такому поданні матриця виграшів гравців по суті є схемою для подання динамічної поведінки гри.

У [30, 31] подібні ключові концепції були описані стосовно системи пов'язаних нейронів. У цих роботах розглядаються підходи, відповідно до яких нейрони моделюються для розрахунку їх стратегій відповідно до їх індивідуальної матриці виграшів.

Курсами цифрових активів, зокрема цифрових криптовалют, зазвичай, управляють розрізнені гравці чи групи гравців на торгових майданчиках цифрових активів. Вони можуть мати свою специфіку та цілеспрямованість. Однак гравці фактично одномоментно наростити обсяги цифрових активів, зокрема цифрових криптовалют, що торгуються. Однак, зауважимо, що далеко не всі гравці ефективно можуть застосовувати програмні елементи, наприклад системи підтримки прийняття рішень (СППР) для технічного аналізу на ринку або конкретно завдання прогнозування рухів вартості ЦКВ. Більшість використовує лише базовий інструментарій, наприклад, виходячи з аналізу часових рядів. Тому що ці результати простіше інтерпретувати.

Використання гравцями стратегій про стан котирувань на ринку цифрових активів зазвичай є досить ефективним. Але своєчасно знайти адекватні новини, що стосуються поточної ситуації на ринку цифрових активів, зазвичай складно. На думку багатьох учасників ринку цифрових активів, одним із доступних та точних ресурсів є тематичні форуми. Також досить часто такого роду інформацію можна отримати в тематичних блогах. Зважаючи на те, що капіталізація ЦКВ в Україні поки не настільки велика, навіть трейдери з невеликим депозитом здатні впливати на курсові показники. Декларувати свої наміри окремі гравці чи їхні коаліції навряд чи можуть і недосвідченому учаснику залишається тільки сподіватися, що він буде здатний своєчасно виявити ознаки, що знаменують важливі події ринку

цифрових активів, і відповідно, зможе відреагувати на ці події, розмістивши, наприклад, відповідні ордери.

У будь-якому випадку, перед тим як реалізувати довільні операції на ринку цифрових активів, гравцям слід першочергово виконувати роботи, пов'язані з технічним та фундаментальним аналізом ситуації, і тільки після завершення подібного аналізу та наявності не менше двох підтверджуючих сигналів заходити на ринок цифрових активів.

Не є таємницею, що при аналізі та обробці досить великих обсягів вихідних даних нейронної мережі справляються з виділенням важливих ознак набагато краще, ніж люди. Успіх застосування нейронних мереж, насамперед глибоких ШНМ, пов'язаний з їхньою здатністю автоматично виділяти з даних важливі ознаки. Ці ознаки і є основою для вирішення прикладного завдання, у нашому випадку прогнозу оцінкою виграшної стратегії гравця, і як опосередкованим прогнозування курсової ситуації на ринку цифрових активів.

Ознак, які вказують зміну ситуації на ринку цифрових активів може бути доволі багато. Зважаючи на вагомість імовірнісної складової, для визначення стратегій поведінки гравців на ринку цифрових активів досить часто в подібних моделях застосовують математичний апарат теорії ігор. Подібного роду ігри описуються платіжною матрицею. Однак такий підхід має суттєвий недолік. Недолік полягає в тому, що складно передбачити початок зміни стратегії інших гравців на ринку цифрових активів, що може для конкретного гравця бути втратою його фінансових ресурсів, що спрямовуються на інвестування в ЦКВ. Виходячи з необхідності адекватної оцінки початку зміни гравцями на ринку цифрових активів стратегій у цій дисертаційній роботі розглядається можливість навчання нейронної мережі на підставі даних математичного моделювання результатів (платіжних матриць) подібних ігор.

3.1. Модель багатоконтурної інформаційної системи управління цифровими активами з інтелектуальною підтримкою

Представити багатоконтурної інформаційної системи управління цифровими активами з інтелектуальною підтримкою можна шляхом розробки контекстної моделі та її декомпозиції на декількох рівнях.

Розробка контекстної моделі багатоконтурної інформаційної системи управління цифровими активами з інтелектуальною підтримкою відіграє вирішальну роль у створенні добре структурованої та добре зрозумілої системи, а також є основою для ефективного розвитку, співпраці та еволюції багатоконтурної інформаційної системи управління цифровими активами.

Її декомпозиції забезпечують структуроване представлення архітектури системи, на яку можна посилалися та оновлювати її протягом життєвого циклу системи, а також під час етапу обслуговування системи допомагають розробникам виявити та усунути несправності та діагностувати проблеми. У міру зростання системи або зміни вимог конкретні компоненти (контури) можна модифікувати або замінити, не впливаючи на функціональність усієї системи.

Запропонований новаторський підхід представлений у вигляді контекстної моделі, яка зображена на рисунку 3.1. Ця модель включає в себе ряд інноваційних елементів та конструкцій, що розроблені з метою досягнення оптимізації управління цифровими активами.

На рисунку 3.1 показано ключові компоненти (контури) із вхідними та вихідними даними, в процесі якої система проходить повний цикл від початкового отримання первинної інформації з різноманітних джерел (API сервісів систем фондових ринків, ринків криптовалют та ін.) до фінального результату у вигляді звіту-рекомендацій щодо рекомендованих можливостей управління цифровими активами.

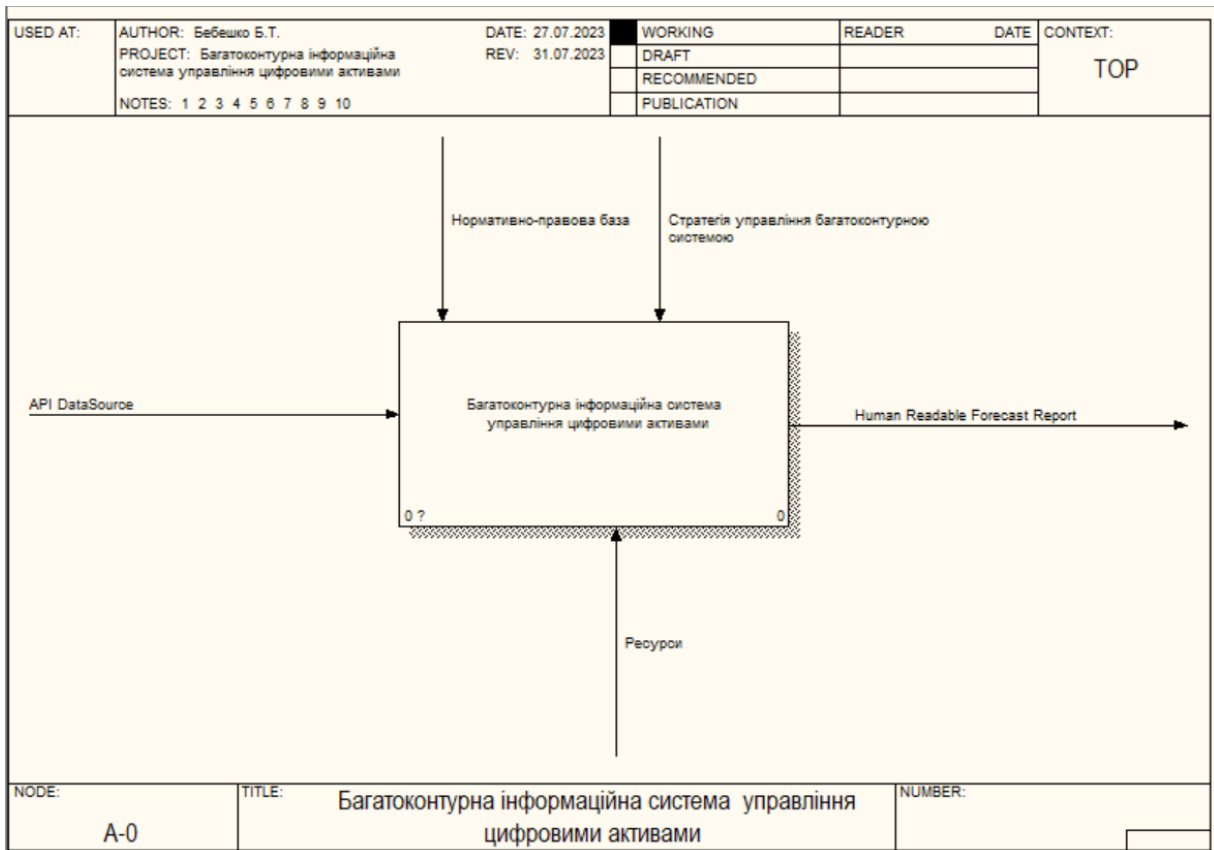


Рисунок 3.1. Контекстна модель багатоконтурної інформаційної системи управління цифровими активами з інтелектуальною підтримкою

Джерело: побудовано автором

Дану нотацію моделі можна розглянути за принципом вхідної та вихідної інформації:

1. Input: API DataSource - отримані дані з джерел через API (Application Programming Interface) інтерфейси, що надає інформацію про різні аспекти торгівлі цифровими активами, включати дані про поточні ціни, історичні ціни, обсяги торгів, волатильність, та інші ключові метрики.
2. Control:
 - Нормативно-правова база – обґрунтування на державному рівні (закони України) діяльності з обробки та аналізу інформації як

програмного продукту за допомогою інформаційних та/або інтелектуальних технологій.

- Стратегія управління багатоконтурною системою – сукупність алгоритмів та методики для прогнозування коливання ринку цифрових активів для подальшого ефективного управління ними. Дана стратегія складатиметься із чотирьох складових: алгоритм підготовки даних, алгоритм кластеризації індексування, методика створення прогнозів, алгоритм створення звітності.

3. Mechanism: сукупність технічних, програмних та людських ресурсів для роботи системи.

4. Output: Human Readable Forecast Report - рекомендації з управління цифровими активами - опис результату аналізу можливих сценаріїв управління цифровими активами приведений до формату звіту, який набуває структурованого та зрозумілого людині вигляду.

Варто відзначити, що у даному дисертаційному дослідженні складовими моделі на першому рівні декомпозиції контекстної моделі визначено контури багатоконтурної інформаційної системи управління цифровими активами (рис.3.2): Data Preparation, DataStorage, Scenario Analysis, Reporting, які пов'язані між собою вхідними та вихідними даними.

Охарактеризуємо складові даної нотації:

- Data preparation: Процес, що включає збір, очищення, трансформацію та структурування даних для подальшого збереження, аналізу та/або моделювання, що включає такі етапи:
 - Збір даних: Дані збираються з API Data Source, що включають виклики до API для отримання даних про фондовий ринок, цифрові активи та ін.
 - Попередня обробка даних: Дані, отримані від API, вимагають попередньої обробки, щоб перетворити їх у формат, придатний для подальшого використання системою.

- Виокремлення даних: На цьому етапі дані розділяються на дві частини: *fundamental data* (фундаментальні дані, що відображають економічні показники) та *technical data* (технічні дані, що включають ціни, обсяги торгів та ін).
- Первинна індексація: Після виокремлення даних проводиться процес первинної індексації, який дозволяє швидко і ефективно виконувати подальші операції з даними. Індекс створюється на основі різних ознак, таких як час, торговельний об'єм, ціна акції тощо.
- Формування *final dataset*: Після виконання всіх вищезазначених кроків, створюється «*final dataset*». Цей набір даних готовий до подальшого використання: аналізу або навчання моделі.
- **DataStorage**: Сервіс, що використовується для зберігання, управління та доступу до великих обсягів даних. *DataStorage* є фізичним сервером бази даних, та забезпечує такі вимоги як: масштабованість, продуктивність, надійність, безпека, доступність та повний контроль над управлінням даними.
- **Scenario Analysis**: Процес оцінки важливих показників на основі історії та припущень про можливі майбутні стани ринку цифрових активів. Застосовує нейронні мережі, теорію ігор та нечітку логіку з метою збільшення точності і деталізації для моделювання економічних ситуацій та впливу їх на ціну цифрових активів.
- **Reporting**: Процес збирання, обробки та відображення інформації, отриманої в результаті аналізу. Важливо зазначити, що ефективний процес *Reporting* вимагає належного управління даними, включаючи зберігання, очищення, трансформацію та індексацію, а також здатність інтерпретувати отримані дані та використовувати їх для прийняття обґрунтованих рішень.

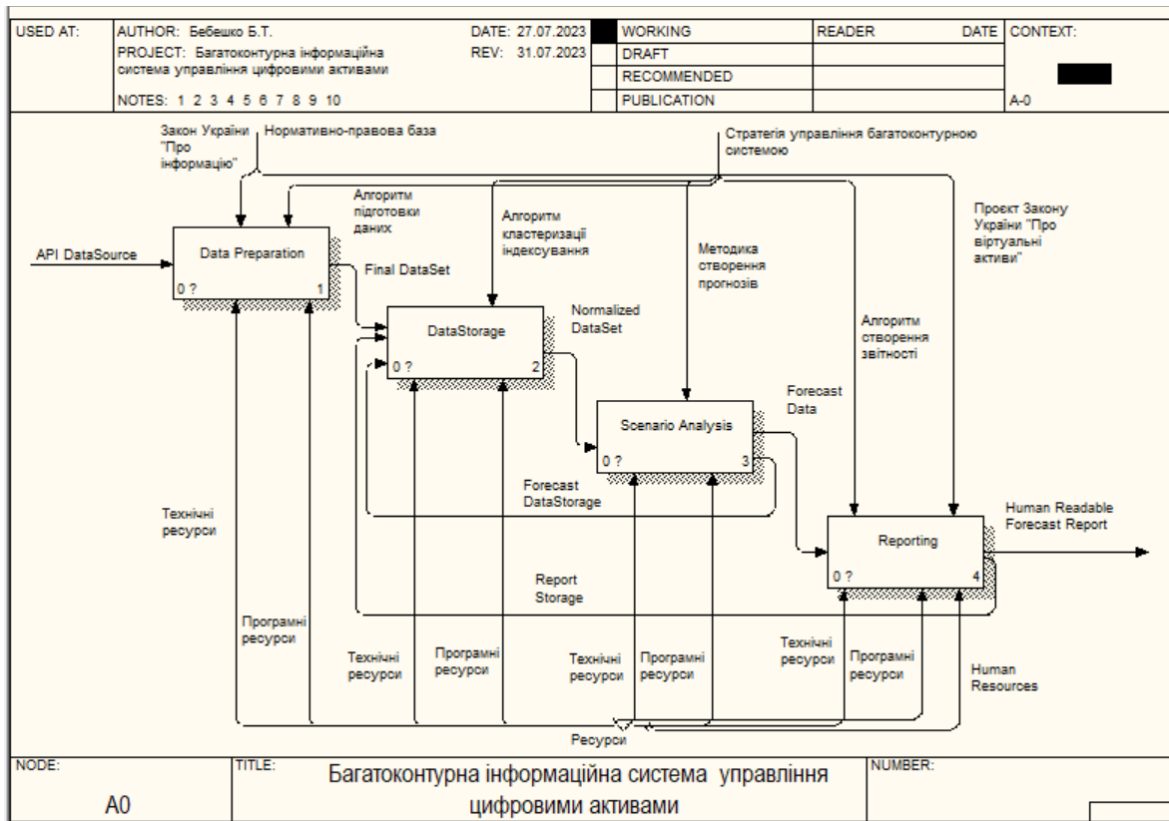


Рисунок 3.2. Модель першої декомпозиції «Багатоконтурна інформаційна система управління цифровими активами з інтелектуальною підтримкою»

Джерело: побудовано автором

Повну деталізацію діаграми першої декомпозиції наведено в таблицях Додатків А та Б.

Охарактеризуємо декомпозицію за вхідною та вихідною інформацією відповідно до контурів нашої системи:

1. Data Preparation

Input:

API DataSource - отримані дані з джерел через API (Application Programming Interface) інтерфейси, що надає інформацію про різні аспекти торгівлі цифровими активами, включати дані про поточні ціни, історичні ціни, обсяги торгів, волатильність, та інші ключові метрики.

Control:

- Закон України «Про інформацію» - Закон, що регулює відносини щодо створення, збирання, одержання, зберігання, використання, поширення, охорони, захисту інформації [92].
- Алгоритм підготовки даних для навчання нейронної мережі - комплекс правил та рекомендацій до процесу обробки та трансформації вихідних даних таким чином, щоб їх можна було використовувати для навчання нейронної мережі.

Опишемо алгоритм підготовки даних для навчання нейронної мережі більш детально.

Алгоритм підготовки даних для навчання нейронної мережі, який включає використання глибоких згорткових нейронних мереж (Deep Convolutional Neural Networks, DCNN), теорії ігор та нечіткої логіки включає в себе ряд стратегій та методів, які спрямовані на перетворення сирих даних у формат, який може бути ефективно використаний для навчання нейронних мереж.

Першим кроком в цьому процесі є попередня обробка даних. Цей етап включає в себе відокремлення фундаментальних даних від технічних, виправлення помилок в даних, видалення дублікатів, видалення шуму та нерелевантних даних, нормалізацію та стандартизацію даних, а також заповнення пропущених значень. Ці операції допомагають забезпечити вимогу, що дані є консистентними, чистими та готовими до подальшого аналізу.

Наступним кроком є розбиття даних на тренувальний, валідаційний та тестовий набори. Тренувальний набір використовується для навчання моделі, валідаційний - для налаштування параметрів моделі та моніторингу її навчання, а тестовий - для оцінки загальної ефективності моделі після завершення процесу навчання.

Після розбиття даних, їх необхідно трансформувати для подальшого використання. Трансформація даних може включати кодування категоріальних змінних, масштабування або нормалізацію числових

змінних, створення нових змінних на основі існуючих та інше. Цей процес допомагає перетворити дані у формат, який може бути ефективно використаний для навчання нейронної мережі. Після завершення всіх попередніх кроків отримується фінальний датасет, який зберігається до Data Storage.

Враховуючи, що складовими контекстної моделі є контури багатоконтурної інформаційної системи управління цифровими активами з інтелектуальною підтримкою, а складові стратегії управління багатоконтурною системою є описом принципів функціонування, то вважатимемо декомпозиції кожного, спроектовані за допомогою моделі інформаційних потоків IDEF3, як графічний опис складових стратегії.

Отже, алгоритм підготовки даних для навчання нейронної мережі буде описаний графічно за допомогою деталізації процесу Data preparation (рис.3.3 та табл.3.1).

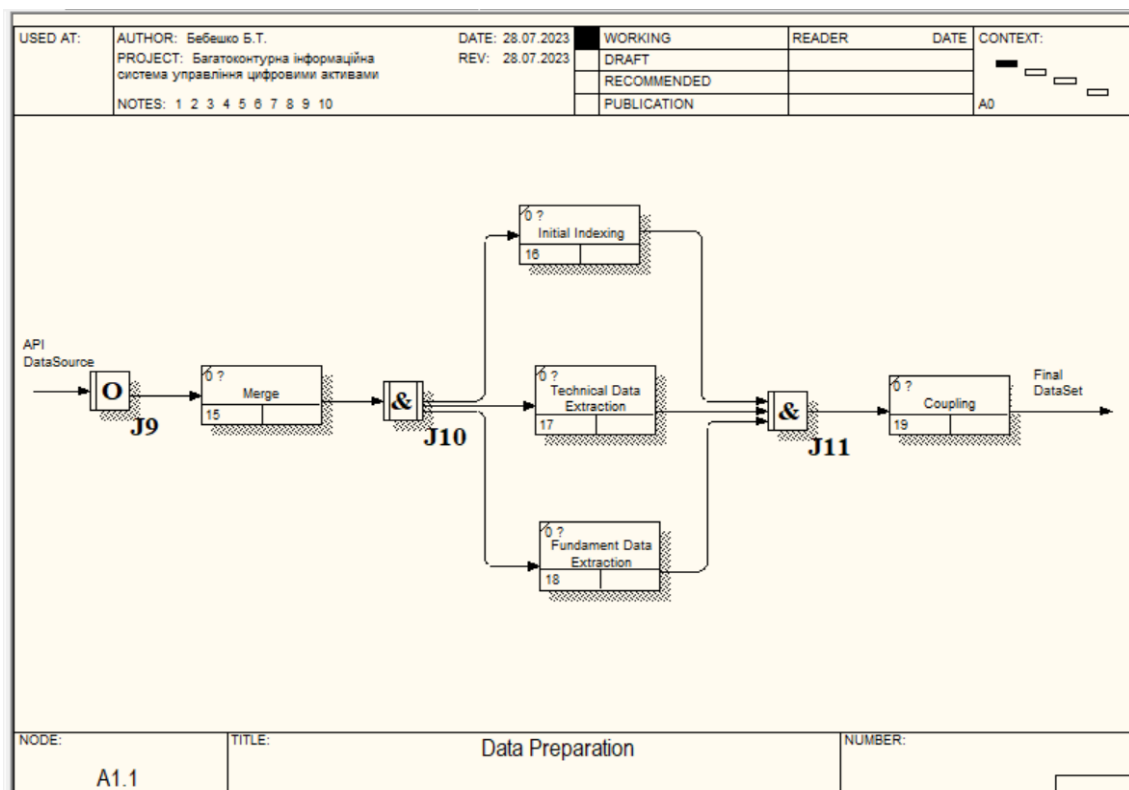


Рисунок 3.3. Деталізація процесу підготовки даних

Джерело: побудовано автором

Компоненти діаграми декомпозиції процесу підготовки даних

Назва компоненти	Характеристика інформаційних процесів	Назва компоненти
Fan-out Junction		Fan-in Junction
API DataSource	Precedence	J9
J9	Asynchronous OR	Merge
Merge	Synchronous AND	Initial Indexing
		Technical Data Extraction
		Fundamental Data Extraction
Initial Indexing	Asynchronous AND	Coupling
Technical Data Extraction		
Fundamental Data Extraction		
Coupling	Precedence	Final DataSet

Джерело: побудовано автором

Mechanism:

- Мінімальні технічні ресурси:

CPU - Intel(R) Core i9-9900K

GPU - GeForce RTX 3050

RAM - 2x8Gb Corsair RGB Pro DDR4 3200Mhz

Storage - Samsung 860 EVO 500Gb

Motherboard - Asus ROG Strix Z390-E

- Програмні ресурси:

Мова програмування Golang, також відома як Go, використовується для роботи з API та I/O через такі переваги як нативність, адже Go компілюється в машинний код, що забезпечує відчутну перевагу у швидкості, наряду з простотою. Сильними аспектами є глибока підтримка багатопотоковості та багатопроцесності.

Output:

Final DataSet - опис фінального набору даних що зберігається в DataStorage та містить в собі: тренувальний, тестовий та валідаційний набір даних.

2. DataStorage

Input:

Final DataSet - опис фінального набору даних що зберігається в DataStorage та містить в собі: тренувальний, тестовий та валідаційний набір даних.

Forecast Data Storage - результати аналізу сценаріїв управління цифровими активами для збереження в DataStorage.

Report Storage - звіти з рекомендаціями щодо управління цифровими активами для збереження в DataStorage.

Control:

Наведемо авторське визначення алгоритму кластеризації індексування - комплекс програмних алгоритмів, що використовуються для групування схожих елементів або точок даних у кластери за допомогою різних методів індексування, з метою покращення швидкості та ефективності пошуку та отримання даних.

Алгоритм кластеризації індексування представляє собою комплекс програмних алгоритмів, які використовуються для групування схожих елементів або точок даних у кластери. Цей процес використовує різні методи індексування з метою покращення швидкості та ефективності пошуку та отримання даних.

Кластеризація є одним з основних методів аналізу даних, який використовується в широкому спектрі областей, включаючи машинне навчання, статистику, обробку зображень, маркетинг і багато інших. Вона дозволяє виявляти приховані шаблони або структури в даних, що можуть бути важливими для подальшого аналізу.

Індексування, з іншого боку, є ключовим компонентом систем управління базами даних (СУБД). Воно дозволяє швидко знаходити та отримувати дані на основі певних критеріїв. Індокси можуть бути створені для будь-якого набору даних, включаючи текст, зображення, звук та відео.

Комбінація кластеризації та індексування призводить до значного покращення ефективності обробки даних. В даному випадку, наявні великі набори даних, такі як колекції історичних записів про всі статуси торгівлі на ринку цифрових активів. Застосування алгоритму кластеризації до цих даних дозволяє групувати схожі елементи разом. Потім, за допомогою індексування, можна швидко знаходити та отримувати елементи з певного кластера, що значно прискорює процес пошуку.

Отже, алгоритм кластеризації індексування даних описаний графічно за допомогою деталізації процесу кластеризації індексування (DataStorage) (рис.3.4 та табл.3.2).

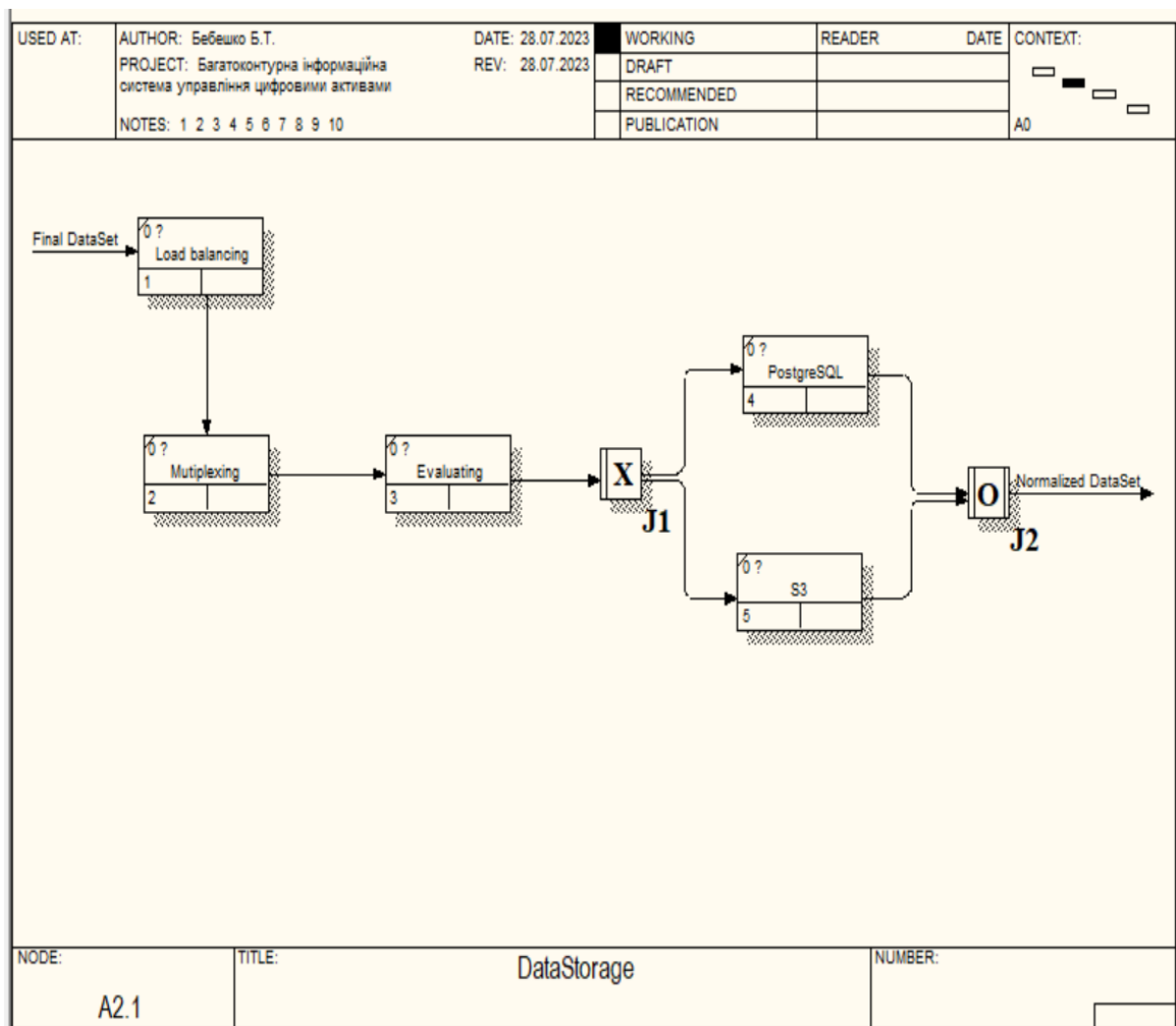


Рисунок 3.4. Деталізація процесу кластеризації індексування

Джерело: побудовано автором

Компоненти діаграми декомпозиції процесу зберігання даних

Назва компоненти	Характеристика інформаційних процесів	Назва компоненти
Fan-out Junction		Fan-in Junction
Final DataSet	Precedence	Load balancing
Load balancing	Precedence	Multiplexing
Multiplexing	Precedence	Evaluating
Evaluating	Precedence	J1
J1	Exclusive OR	PostgreSQL
		S3
PostgreSQL	Synchronous OR	J2
S3		
J2	Precedence	Normalized DataSet

Джерело: побудовано автором

Mechanism:

- Мінімальні технічні ресурси:

CPU - Intel(R) Core i9-9900K

GPU - GeForce RTX 3050

RAM - 2x8Gb Corsair RGB Pro DDR4 3200Mhz

Storage - Samsung 860 EVO 500Gb

Motherboard - Asus ROG Strix Z390-E

- Програмні ресурси:

Python часто використовується для роботи з нейронними мережами, теорією ігор і нечіткою логікою з ряду причин:

1. Python має величезну кількість бібліотек, призначених спеціально для наукових та аналітичних потреб. TensorFlow, PyTorch, Keras, NumPy, SciPy, pandas та matplotlib - лише кілька прикладів.

2. Python широко використовується в різних областях, включаючи біологію, математику, фізику та інженерію, що робить його корисним для міждисциплінарних досліджень, таких як теорія ігор або нечітка логіка.

PostgreSQL – бази даних.

Output:

Normalized DataSet - опис отриманого з DataStorage набору даних у відсортованому вигляді, з метою подальшого навчання нейронної мережі та/або моделювання та аналізу.

3. Scenario Analysis

Input:

Normalized DataSet - опис отриманого з DataStorage набору даних у відсортованому вигляді, з метою подальшого навчання нейронної мережі та/або моделювання та аналізу.

Control:

Методика створення прогнозів - ряд процедур, за допомогою яких стає можливим прогнозування майбутніх подій на основі наявних статистичних даних та математичних моделей для створення прогнозів на основі історичних даних та трендів.

Методика створення прогнозів включає в себе ряд процедур, за допомогою яких стає можливим прогнозування майбутніх подій на основі наявних статистичних даних та математичних моделей. Цей процес включає в себе створення прогнозів на основі історичних даних та трендів з використанням глибоких згорткових нейронних мереж (DCNN), теорії ігор та нечіткої логіки.

Глибокі згорткові нейронні мережі (DCNN) є одним з ключових інструментів в області машинного навчання, які використовуються для аналізу даних. DCNN можуть виявляти та вивчати складні шаблони в даних, що дозволяє їм виконувати точні прогнози на основі історичних даних.

Теорія ігор, з іншого боку, є математичною теорією, яка вивчає взаємодію між раціональними агентами. Вона може бути використана для моделювання різних сценаріїв та прогнозування поведінки агентів на основі їхніх стратегій та цілей.

Нечітка логіка, в свою чергу, є формою багатозначної логіки, яка дозволяє обробляти нечіткі або непевні дані. Вона може бути використана

для створення прогнозів в умовах невизначеності або коли доступні лише нечіткі дані.

Комбінація цих трьох методів дозволить створювати точні та надійні прогнози на основі наявних даних. Наприклад, DCNN може бути використана для виявлення та вивчення шаблонів в історичних даних, теорія ігор може допомогти моделювати взаємодію між різними агентами, а нечітка логіка може допомогти обробляти нечіткість та невизначеність в даних. Разом ці методи створюють робустну та адаптивну систему прогнозування ринку торгівлі цифровими активами.

Отже, методика створення прогнозів може бути описана графічно за допомогою деталізації процесу створення прогнозів (Scenario Analysis) (рис.3.5 та табл.3.3).

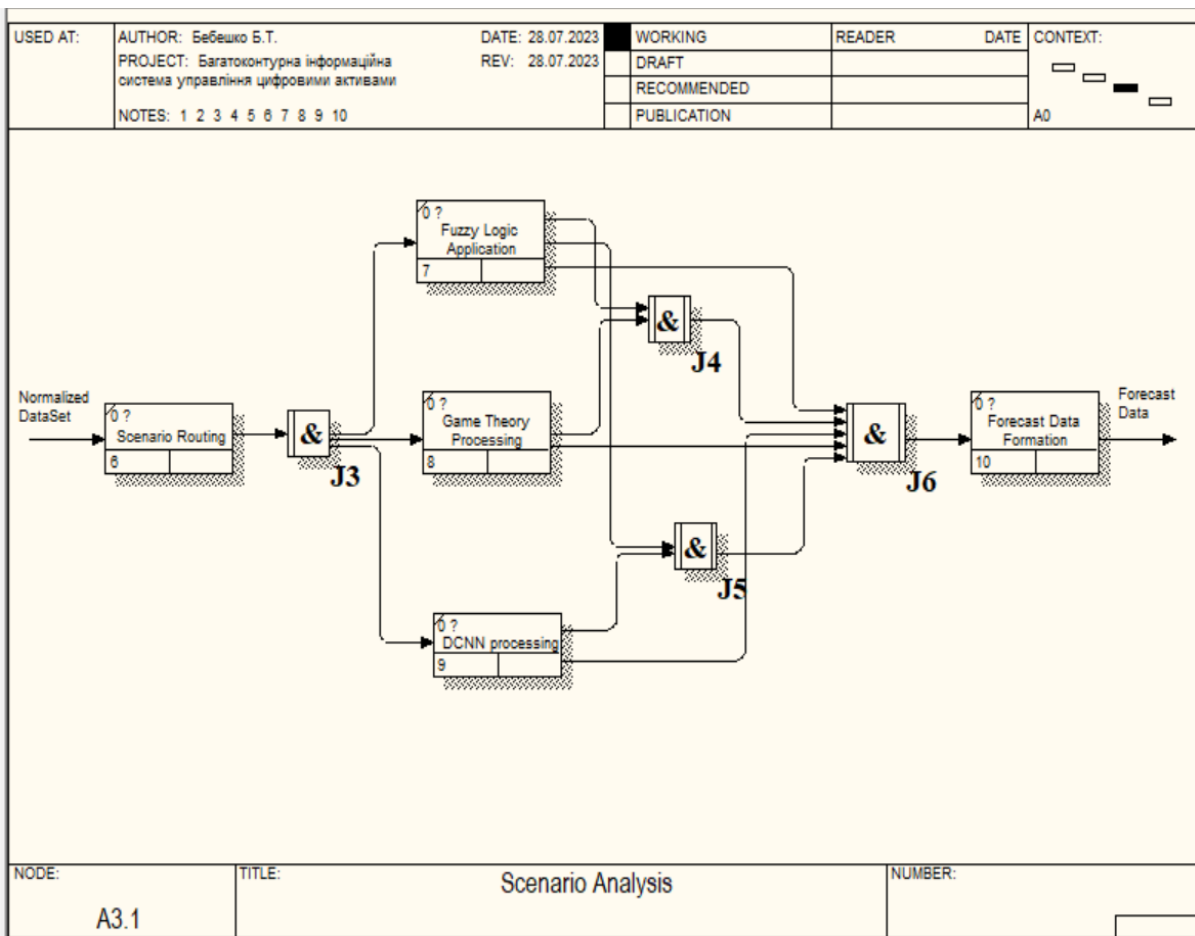


Рисунок 3.5. Деталізація процесу створення прогнозів

Джерело: побудовано автором

Компоненти діаграми декомпозиції процесу аналізу сценаріїв

Назва компоненти	Характеристика	Назва компоненти
Fan-out Junction	інформаційних процесів	Fan-in Junction
Normalized DataSet	Precedence	Scenario Routing
Scenario Routing	Precedence	J3
J3	Precedence	Fuzzy Logic Application
		Game Theory Processing
		DCNN processing
Fuzzy Logic Application	Synchronous AND	J4
Game Theory Processing		
Fuzzy Logic Application	Synchronous AND	J5
DCNN processing		
Game Theory Processing	Precedence	J6
J4		
J5		
J6	Synchronous AND	Forecast Data Formation
Forecast Data Formation	Precedence	Forecast Data

Джерело: побудовано автором

Mechanism:

- Мінімальні технічні ресурси:

CPU - Intel(R) Core i9-9900K

GPU - GeForce RTX 3050

RAM - 2x8Gb Corsair RGB Pro DDR4 3200Mhz

Storage - Samsung 860 EVO 500Gb

Motherboard - Asus ROG Strix Z390-E

- Програмні ресурси:

Python часто використовується для роботи з нейронними мережами, теорією ігор і нечіткою логікою з ряду причин:

1. Python має величезну кількість бібліотек, призначених спеціально для наукових та аналітичних потреб. TensorFlow, PyTorch, Keras, NumPy, SciPy, pandas та matplotlib - лише кілька прикладів.

2. Python широко використовується в різних областях, включаючи біологію, математику, фізику та інженерію, що робить його корисним для міждисциплінарних досліджень, таких як теорія ігор або нечітка логіка.

PostgreSQL – бази даних.

Output:

Forecast Data - опис результату аналізу можливих сценаріїв управління цифровими активами. Важливо зазначити, що подібний опис не є у структурованому та зрозумілому людині вигляді.

Forecast Data Storage - результат аналізу сценаріїв управління цифровими активами для збереження в DataStorage.

4. Reporting

Input:

Forecast Data - опис результату аналізу можливих сценаріїв управління цифровими активами. Важливо зазначити, що подібний опис не є у структурованому та зрозумілому людині вигляді.

Control:

- Проект Закону України «Про віртуальні активи» (від 17.02.2022) - цей Закон регулює правовідносини, що виникають у зв'язку з оборотом віртуальних активів в Україні, визначає права та обов'язки учасників ринку віртуальних активів, засади державної політики у сфері обороту віртуальних активів [91].
- Алгоритм створення звітності - процедура аналізу, обробки, агрегації та трансформації даних, отриманих в результаті роботи системи створення прогнозів.

Алгоритм створення звітності - це важливий процес, що включає аналіз, обробку, агрегацію та трансформацію даних, отриманих в результаті роботи системи створення прогнозів.

Алгоритм створення звітності є важливим елементом в процесі аналізу даних, особливо коли мова йде про створення прогнозів ринку торгівлі цифровими активами, а також відповідає за збір важливої

інформації, яка допомагає в оцінці ефективності системи та виявленні можливих областей для покращення. Цей алгоритм включає в себе декілька ключових етапів: аналіз, обробку, агрегацію та трансформацію даних, які були отримані в результаті роботи системи прогнозування.

Перший етап, аналіз даних, полягає безпосередньому аналізі та валідації отриманої вхідної інформації.

Наступний етап, обробка даних, включає в себе очищення даних від будь-яких помилок або невідповідностей, які можуть бути присутні. Це може включати видалення викидів, заповнення пропущених значень або нормалізацію значень.

Після обробки даних вони агрегуються. Це зумовлено тим, що вхідні дані можуть бути представлені не одним, а декількома наборами даних прогнозування з різних сценаріїв, відповідно можуть містити дублікати, розбіжності значень та ін.

Останнім кроком в алгоритмі створення звітності є трансформація даних. Вона являє собою перетворення даних в формат, який може бути легко інтерпретований та використаний для прийняття рішень. Це включає в себе створення графіків, таблиць та інших візуалізацій, які допомагають візуально представити дані.

Всі ці кроки разом допомагають створити звітність, що необхідна для полегшення роботи з управління цифровими активами, а також може допомогти в оцінці ефективності системи прогнозування та виявленні областей для покращення.

Отже, алгоритм створення звітів може бути описаний графічно за допомогою деталізації процесу створення звітів (Reporting) (рис.3.6 та табл.3.4).

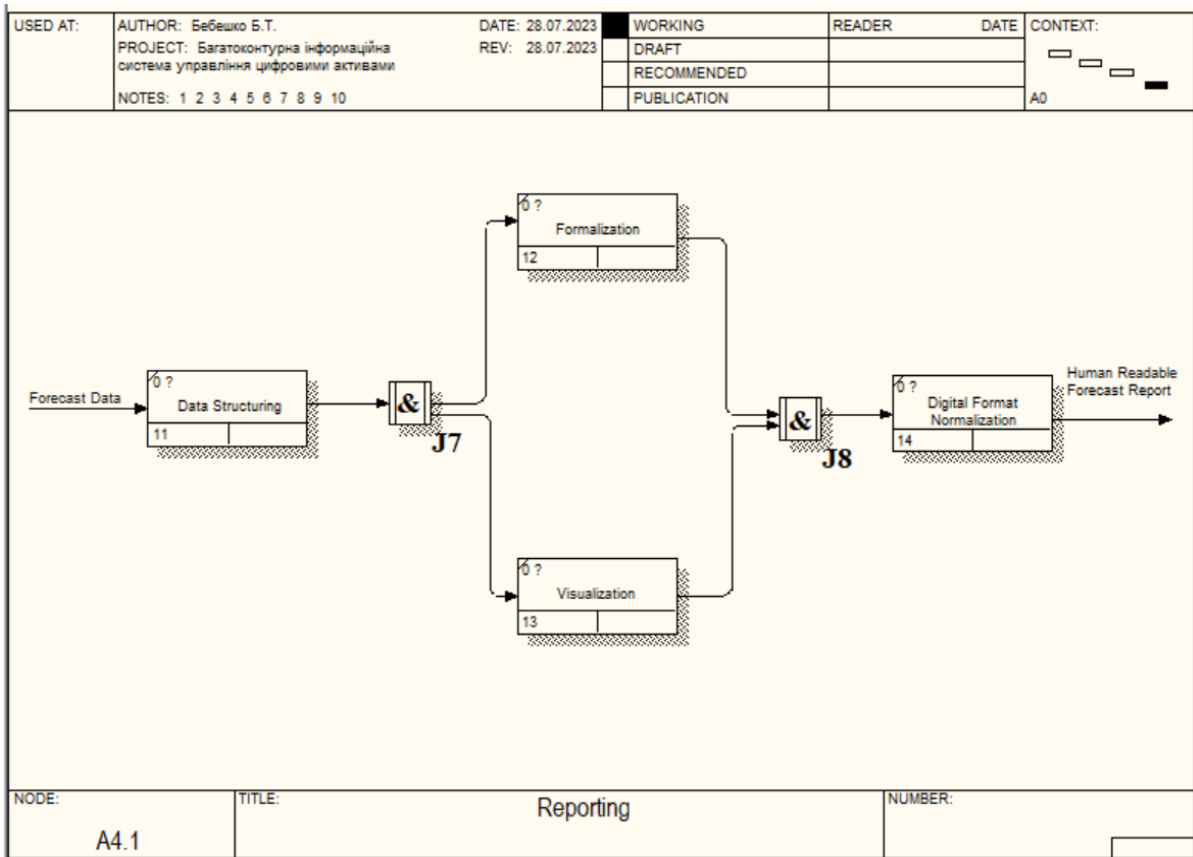


Рисунок 3.6. Деталізація процесу створення звітів

Джерело: побудовано автором

Таблиця 3.4

Компоненти діаграми декомпозиції процесу створення звітів

Назва компоненти	Характеристика інформаційних процесів	Назва компоненти
Fan-out Junction		Fan-in Junction
Forecast Data	Precedence	Data Structuring
Data Structuring	Precedence	J7
J7	Synchronous AND	Formalization
		Visualization
Formalization	Synchronous AND	J8
Visualization		
J8	Precedence	Digital Format Normalization
Digital Format Normalization	Precedence	Human Readable Forecast Report

Джерело: побудовано автором

Mechanism:

- Мінімальні технічні ресурси:

CPU - Intel(R) Core i9-9900K

GPU - GeForce RTX 3050

RAM - 2x8Gb Corsair RGB Pro DDR4 3200Mhz

Storage - Samsung 860 EVO 500Gb

Motherboard - Asus ROG Strix Z390-E

- Програмні ресурси:

Мова програмування Golang, також відомий як Go, використовується для роботи з API та I/O через такі переваги як нативність, адже Go компілюється в машинний код, що забезпечує відчутну перевагу у швидкості, наряду з простотою. Сильними аспектами є глибока підтримка багатопотоковості та багатопроцесності.

- Human resources - кінцевий користувач багатоконтурної системи управління цифровими активами.

Output:

Human Readable Forecast Report - опис результату аналізу можливих сценаріїв управління цифровими активами приведений до формату звіту, а отже набувший структурованого та зрозумілого людині вигляду.

Report Storage - звіти з рекомендаціями щодо управління цифровими активами для збереження в DataStorage.

3.2. Управління процедурою купівлі-продажу цифрових активів у нечіткій постановці

Існують різні методи аналізу поведінки фінансових ринків, зокрема фундаментальний та технічний аналіз. У випадку цифрових активів, фундаментальний аналіз може включати аналіз публічних блокчейн-даних, що відомі як "он-чейн метрики". За допомогою цих даних аналітики можуть створювати складні технічні індикатори для вимірювання різних аспектів

ринку та передбачення тенденцій. Проте слід зазначити, що фундаментальний аналіз в даний час менше підходить для ринку цифрових активів. Цей клас активів настільки новий, що просто немає стандартної всеосяжної основи визначення ринкової ціни ЦКВ. Більше того, більша частина ринку рухається під впливом спекуляцій та наративів. Це свідчить, що фундаментальні чинники мають незначний вплив на ціни ЦКВ. При цьому можна відзначити, що, коли ринок дозріє, можуть бути розроблені точніші способи оцінки вартості крипто-активів.

Що стосується технічного аналізу, слід сказати, що основна ідея технічного аналізу полягає в тому, що історія «поведінки» ціни може вказувати на те, як ринок ймовірно поведеться в майбутньому. Технічний аналіз - це інструмент для прогнозу ймовірних майбутніх рухів ціни крипто-активів. Він корисний ще й тим, що пропонує схему управління ризиками. Як ми вже зазначали, на оцінку ринку цифрових активів дуже впливають спекуляції. Це робить цей ринок ідеальним майданчиком для технічних аналітиків, оскільки вони можуть отримувати зиск, враховуючи лише технічні чинники.

Як відомо, ціна активу визначається лише балансом попиту та пропозиції. Там, де пропозиція відповідає попиту, з'являється ринок. Це дає можливість вирішувати проблему підвищення вартості фінансового активу, у тому числі вартості криптоактивів, якщо цей ринок – ринок цифрових активів. На цьому ринку виникають різні тренди, що вказують напрямки руху ціни криптовалюти. Зокрема, основними ринковими трендами є «бичачий» та «ведмежий». «Бичачий» відповідає ситуації, коли ціни постійно зростають, «ведмежий»-ситуації, коли ціни постійно знижуються. Крім того, можливі випадки, коли немає чітко вираженого тренду. Виникнення трендів є наслідком багатьох чинників, і, зокрема, чинника застосування торгових стратегій учасниками ринку. Постійне зростання капіталізації ринку цифрових активів веде до розробки моделей управління торгівлею ЦКВ та, зокрема, із застосуванням методів теорії ігор. У цьому

підрозділі дисертаційної роботи запропоновано саме таку модель управління процесом торгівлі парами ЦКВ. Вона виходить з представлення процесу торгівлі ЦКВ як білінійної багатокрокової гри з нечіткою інформацією. Білінійність грає істотну роль, оскільки процес торгівлі вимагає використовувати процедуру розподілу ЦКВ. Така процедура визначає білінійну динаміку ЦКВ. Дана модель розширює можливості технічного аналізу ринку криптовалют, а конструктивне рішення білінійної багатокрокової гри дозволяє ефективно прогнозувати виникнення трендів ціни криптовалюти і, отже, приймати рішення або про купівлю або про продаж ЦКВ.

ЦКВ стали сьогодні невід'ємною складовою сучасної світової фінансової системи. Розвиток відповідних ринків, зокрема, попит та пропозиція на першу криптовалюту bitcoin та інші інструменти (altcoin) зараз перевищує 200 млн. дол. США на день, що більше, ніж середньоденні обсяги торгів на фондових біржах, наприклад України. Однак використання ЦКВ як інвестиційного активу потребує обґрунтування можливості застосування класичних методів ризик-менеджменту, портфельного аналізу, ігрових моделей тощо. Класична портфельна теорія [96] та попередні економетричні дослідження ключових ринкових тенденцій показують, що для оцінки фінансових властивостей активу різної природи необхідно проаналізувати динаміку його цін, що відповідають прибутковості від курсових різниць, а також уточнити горизонти планування (доцільність застосування статистичних методів). Ринок ЦКВ відносно новий. Незважаючи на те, що bitcoin був створений ще у 2009 році, інвестиційні властивості цього активу повноцінно виявилися лише у 2017 році. Зокрема, валютні пари BTC-USD, ETH (Ethereum)-USD та інші знайшли своє подання на міжнародному фінансовому інформаційному майданчику Google Finance, що додатково підтверджує визнання та інвестиційну значущість відповідних активів.

У процесі прийняття рішення про інвестиції в ЦКВ слід проводити аналіз характерних рис та особливостей ЦКВ у світі. Найчастіше потенційний інвестор використовує ЦКВ як інвестиції (наприклад, біткоїни, далі BTC), коли набуває цифрових токенів (tokens) компанії. Такі токени можуть бути або криптовалютою (cryptocurrency), або цінністю (Asset). По суті, різниця між токеном-криптовалютою і токеном-цінністю зводиться лише до технічних аспектів: в asset, на відміну cryptocurrency, немає власного блокчейна (розподіленої бази даних). Тобто випуск токена-цінності здійснюється за допомогою спеціальних платформ із власним блокчейном.

Хоча інвестиційної діяльності, на ринках ЦКВ, а також питанням аналізу та оцінки ефективності інвестицій у ЦКВ присвячена велика кількість наукової літератури, а питанням управління процедурою купівлі-продажу ЦКВ у нечіткій постановці на основі спільного застосування теорії ігор та нечіткої математики уваги, досі можна сказати, не приділялося. Тим більше, не вдалося виявити наукові публікації, які розглядають можливість вирішення таких ігор на основі використання апарату ШНМ. Як буде показано нижче, теоретико-ігрове моделювання в завданнях управління процедурами купівлі-продажу ЦКВ з урахуванням невизначеності, конфліктності та породженого ними економічного ризику для інвесторів дозволяє оцінити рівень надійності потенційних угод на ринку цифрових активів, і, отже, зменшити рівні економічних ризиків для інвесторів у ЦКВ.

Можна говорити про певну аналогію між класичною біржовою діяльністю та діяльністю бірж, що займаються угодами з ЦКВ. Однак динаміка зміни цін на ринку цифрових активів не співставна з динамікою зміни цін на класичних біржових майданчиках [96-108]. А це робить завдання прогнозування курсів ЦКВ та аналізу ризиків інвестування у ЦКВ надзвичайно актуальним. Власне, розгляду цього завдання і присвячено підрозділ заключного розділу дисертації.

Аналіз наукових публікацій показує, що питання привабливості інвестицій у ЦКВ досліджено не до кінця. В основному дослідження зосереджені на такому питанні як волатильність ЦКВ, чому присвячені роботи [97, 105-108]. Майже кожен із авторів робіт [97, 102-108] розглядає BTC, як альтернативу традиційним грошам, підкреслюючи перспективи його подальшого поширення та використання економіки в ролі світової валюти. Водночас більшість учених та практиків відзначають значну волатильність криптовалюти. І це робить BTC та інші ЦКВ досить ризиковим об'єктом інвестування.

Хоча глобальна капіталізація ринку цифрових активів демонструє деяке просідання порівняно з 2021 роком, 22 грудня одразу три валюти продемонстрували зростання. Лідером дня стала ЦКВ Helium HNT \$1,91. На другому місці за прибутковістю опинилася ЦКВ Toncoin (TON) - активне зростання на 3,57% і торгується за \$2,53. На третьому місці опинилася ЦКВ Ethereum Classic ETC \$16.02 [16].

Вважаємо, що у торгових операціях на ЦКВ беруть участь два гравці. Це обумовлюється тим, що незважаючи на те, що ЦКВ досить багато, наприклад: ADA, BTC, DOT, EOS, ETC, ETH, LINK, LTC, XRP та інших, торгові сесії проводяться з парами ЦКВ, вибраних з тих чи інших міркувань.

Відмінність аналізованих торгових операцій від аналогічних операцій з повною інформацією полягає в тому, що першому гравцеві (далі за текстом використовується позначення PL_1) не відомо точно стан $y^\xi(0)$ (обсяг ЦКВ) другого гравця далі за текстом використовується позначення PL_2 . У PL_1 є лише інформація про те, що обсяг ЦКВ другого гравця належить нечіткій множині:

$$\{Y, m(\cdot)\}$$

де Y - підмножина R_+ ;

$m(\cdot)$ – функція приналежності стану $y^\xi(0)$ другого гравця множині Y ;

$m(y^\xi(0)) \in [0,1]$ для $y^\xi(0) \in Y$

Крім того, в кожний момент $t = 0, 1, \dots, T$, T - натуральне число, першому гравцеві відомі його стани $x(\tau)$ (обсяги його ЦКВ) для $\tau \leq t$.

При цьому виконуються наступні умови:

$x(\tau) \geq 0$ при виконанні умови $x(\tau) < 0$ з достовірністю $< p_0$
($0 \leq p_0 \leq 1$);

$x(\tau) < 0$ при виконанні умови $x(\tau) < 0$ з достовірністю $\geq p_0$.

Також відомі величини реалізації торговельної стратегії PL_1 $u(\tau)$ ($\tau \leq t$) при проведенні торговельної сесії.

Роздуми виконані з позиції PL_1 , тобто про рівень інформованості другого гравця жодних передбачень не виконується, що еквівалентно тому, що PL_2 володіє будь-якою інформацією. Кроки гравцями проводяться одночасно.

Отже, PL_1 , маючи цифрову криптовалюту 1 (ЦКВ1) купує цифрову криптовалюту 2 (ЦКВ2) у 2-го гравця. Другий гравець, маючи ЦКВ2 продає (чи купує) ЦКВ 1.

Перед початком торговельної сесії встановлений спот-курс ЦКВ1 по відношенню до ЦКВ2: k_{btc1} . В момент $t = 0$ (початку торгів) гравець I має x (ЦКВ1) для купівлі ЦКВ2.

Другий гравець має y^ξ ЦКВ2 для купівлі ЦКВ1.

Наведемо опис моделі торгових операцій із обраними ЦКВ. Рішення подібного завдання у такій постановці може бути корисним для використання в ході навчання ШНМ, яку можна буде використовувати для більш глибокого аналізу та прогнозування трендів на біржових майданчиках, які здійснюють торгові операції з ЦКВ.

В момент $t = 0$ гравці I и II, поповнюють наявні в них обсяги ЦКВ $x(0)$ (ЦКВ1) та $y^\xi(0)$ (ЦКВ2) і мають у своєму розпорядженні наступні обсяги ЦКВ:

для PL_1 - $\alpha \cdot x(0)$;

для PL_2 - $\beta \cdot y^\xi(0)$,

де, відповідно, α та β - темпи зростання обсягів ЦКВ1 та ЦКВ2.

Далі гравці виділяють, відповідно, $u(0) \cdot \alpha \cdot x(0)$ ($0 \leq u(0) \leq 1$) ЦКВ1 та $v(0) \cdot \beta \cdot y^\xi(0)$ ($0 \leq v(0) \leq 1$) ЦКВ2 на купівлю ЦКВ2 та ЦКВ1, відповідно. Передбачається, що в момент проведення торгової сесії курси купівлі та продажу ЦКВ2 склали k_{pok} та k_{prod} .

Тоді, обсяги ЦКВ1 та ЦКВ 2 у гравців I та II у момент часу $t = 1$ становитимуть $x(1)$ і $y^\xi(1)$ відповідно, де $x(1)$ і $y^\xi(1)$ визначаються із співвідношень:

$$x(1) = \alpha \cdot x(0) - u(0) \cdot \alpha \cdot x(0) \cdot [1 - (k_{btc1}/k_{prod})] + v(0) \cdot \beta \cdot y^\xi(0) \cdot [k_{btc1} - k_{pok}] \quad (3.1)$$

$$y^\xi(1) = \beta \cdot y^\xi(0) - v(0) \cdot \beta \cdot y^\xi(0) \cdot [1 - (k_{pok}/k_{btc1})] + u(0) \cdot \alpha \cdot x(0) \cdot [(1/k_{btc1}) - (1/k_{prod})] \quad (3.2)$$

Ці співвідношення означають - гравець I, керуючий ЦКВ1, виділяє частину криптовалюти ЦКВ1 $u(0) \cdot \alpha \cdot x(0)$ для придбання ЦКВ2. На виділену величину криптовалюти ЦКВ1 він купує величину $[u(0) \cdot \alpha \cdot x(0)/k_{prod}]$ ЦКВ2, яку продає гравець II за курсом продажу криптовалюти ЦКВ2 k_{prod} . Цей курс склався на цій торговій сесії. Тобто, гравець I замість маси криптовалюти ЦКВ1 $u(0) \cdot \alpha \cdot x(0)$, яку він виділив на купівлю криптовалюти ЦКВ2, придбав ЦКВ2, обсяг яких оцінюється в $(k_{btc1}/k_{prod}) \cdot u(0) \cdot \alpha \cdot x(0)$ ЦКВ1. В результаті, перший гравець (далі) після проведення ним процедури купівлі ЦКВ2 має електронних фінансових ресурсів (далі ФР) в ЦКВ1-еквіваленті, що дорівнює $\alpha \cdot x(0) - u(0) \cdot \alpha \cdot x(0) \cdot [1 - (k_{btc1}/k_{prod})]$.

Крім покупки ЦКВ2 гравцем PL_1 , на торговій сесії відбувається продаж ЦКВ2 другим гравцем (далі PL_2). На покупку ЦКВ1 PL_2 виділяє $v(0) \cdot \beta \cdot y^\xi(0)$ ЦКВ2. Перший гравець (PL_1) купує у PL_2 за курсом купівлі k_{pok} .

Отже, після процедури продажу гравцем PL_2 ЦКВ2 в обсязі $v(0) \cdot \beta \cdot y^\xi(0)$, у гравця додається ФР на величину $v(0) \cdot \beta \cdot y^\xi(0) \cdot [k_{btc1} - k_{pok}]$ у

PL_1 ЦКВ1-еквіваленті. Тоді, у гравця PL_1 після проведення торгової сесії, ФР, в ЦКВ1-еквіваленті, буде:

$$\alpha \cdot x(0) - u(0) \cdot \alpha \cdot x(0) \cdot \left[(1/k_{btc1}) - (1/k_{prod}) \right] + v(0) \cdot \beta \cdot y(0) \cdot [k_{btc1} - k_{prod}].$$

Аналогічно справи з ФР гравця PL_2 .

На виділену для придбання ЦКВ1 величину $v(0) \cdot \beta \cdot y^\xi(0)$ ЦКВ2, гравець PL_2 купує ЦКВ1 обсягом $v(0) \cdot \beta \cdot y^\xi(0) \cdot k_{pok}$. Це призводить до того, що ФР гравця PL_2 в ЦКВ2 зменшаться на величину:

$$v(0) \cdot \beta \cdot y^\xi(0) \cdot [1 - (k_{pok}/k_{btc1})].$$

Крім того, з урахуванням того, що гравець PL_1 «самостійно» купував ЦКВ2 у гравця PL_2 , ЦКВ2-еквівалент ФР збільшиться на величину:

$$u(0) \cdot \alpha \cdot x(0) \cdot \left[(1/k_{btc1}) - (1/k_{prod}) \right].$$

Таким чином, за підсумками торгової сесії, у гравця PL_2 залишиться ФР, в ЦКВ2, в обсязі, який становитиме:

$$\beta \cdot y^\xi(0) - v(0) \cdot \beta \cdot y^\xi(0) \cdot [1 - (k_{pok}/k_{btc1})] + u(0) \cdot \alpha \cdot x(0) \cdot \left[(1/k_{btc1}) - (1/k_{prod}) \right].$$

Умовами закінчення торгової сесії на момент виконання умов (3.3) або (3.4):

$$x(1) \geq 0, y^\xi(1) < 0; \quad \text{з достовірністю} \geq p_0 \quad (3.3)$$

$$x(1) < 0, y^\xi(1) \geq 0; \quad \text{з достовірністю} \geq p_0 \quad (3.4)$$

$$x(1) < 0, y^\xi(1) < 0; \quad \text{з достовірністю} \geq p_0 \quad (3.5)$$

Якщо виявиться, що виконується умова (3.3), то будемо говорити, що на торговій сесії в момент часу $t = 1$ перший гравець досяг бажаного результату з достовірністю $p \geq p_0$ і процедуру торгівлі ЦКВ закінчено.

Якщо виявиться, що виконується умова (3.4), то говоритимемо, що на торговій сесії на момент часу $t = 1$ PL_2 досяг бажаного результату з достовірністю $p \geq p_0$ і процедура торгівлі ЦКВ завершена.

Якщо виявиться, що виконується умова (3.5), то говоритимемо, що на торговій сесії в момент часу $t = 1$ обидва гравці не досягли бажаного результату з достовірністю $p \geq p_0$ та процедуру торгівлі ЦКВ закінчено.

Якщо не виконуються ні умова (3.3), ні умова (3.4), ні умова (3.5), то процедура торгівлі на сесії продовжується надалі для моментів часу $t = 1, 2, 3 \dots$

Завдання процедури торгових операцій гравців за допомогою співвідношень (3.1), (3.2) генерує в кожний момент часу сукупність пар нечітких множин $\{H_t, n_t(\cdot)\} \times \{F_t, m_t(\cdot)\}$. Ці нечіткі множини відображатимуть процеси переходу з початкових станів гравців $(x(0), y^\xi(0))$ у наступні стани. Процеси переходи відбуваються внаслідок застосування гравцями управляючих впливів. Умови поінформованості гравців, що задаються при постановці завдання, дозволяють при продовженні торговій сесії перебувати в ситуації, аналогічній моменту початку торговельної ситуації і, отже, знайти рішення в цій грі. І як зазначалося вище, знайдене рішення, поряд із рішенням для моделі оцінювання результативності та ризиків інвестування в ЦКВ на основі комбінації теорії ігор та нечіткої логіки, яке було представлено у другому розділі дисертації, можуть стати основою для навчання ШНМ, що використовується на торгових майданчиках ЦКВ.

Визначимо таку функцію:

$$F(\cdot): X \rightarrow R_+, F(x) = \{\sup m(y), \text{ для } y \leq x\}.$$

$$\varphi(0) = \inf\{\varphi'\},$$

$$F(\varphi') \geq p_0.$$

Величину $\varphi(0)$ називатимемо характеристикою невизначеності PL_2 .

Позначимо через Φ - множину таких функцій, через $T^* = \{0, 1, \dots\}$ - множини натуральних чисел, включаючи нуль.

Дано визначення чистої стратегії $u(.,.,.,.)$ PL_1 називається така функція $u(.,.,.,.): T^* \times R_+ \times \Phi \rightarrow [0,1]$, що $u(t, x, F) \in [0,1], (F \in \Phi)$ [110,111].

Тобто стратегія PL_1 є правилом, яке дозволяє PL_1 на підставі наявної інформації визначати величину обсягу ЦКВ1, яку PL_1 виділяє на купівлю криптовалюти ЦКВ2 другого гравця на торговій сесії.

Другий гравець обирає свою стратегію $v(.)$ на основі будь-якої інформації.

Перший гравець прагне знайти множину $x(0)$ своїх початкових станів (обсягів ЦКВ1) та характеристик невизначеності $\varphi(0)$ другого гравця. Ці характеристики мають таку властивість [110,111].

Властивість: якщо гра розпочнеться з них, то перший гравець може вибором своєї стратегії $u_*(.)$ забезпечити в один із моментів часу t виконання умови (3.3). У цьому дана стратегія, обрана PL_1 , сприяє недопущення PL_2 виконання умови (3.4) попередні моменти часу.

Багато таких станів будемо називати *множини переваги* (W_1) для першого гравця. Тоді $u_*(.)$ - стратегії PL_1 , що володіють зазначеними властивостями, будуть називатися його оптимальними стратегіями [110,111].

Мета PL_1 - знаходження множини переваг, а також знаходження його стратегій, застосовуючи які він отримає виконання умови (3.3).

Сформульована ігрова модель відповідає за класифікацією задачі прийняття рішень за умов нечіткої інформації. Крім того, така модель є багатокроковою грою якості з кількома термінальними поверхнями з одночасними ходами. Знаходження множини переваги першого гравця та його оптимальних стратегій залежить від множини параметрів.

Вирішення сформульованої задачі знаходиться за допомогою інструментарію теорії багатокрокових ігор якості [52, 110-111]. Даний

інструментарій дозволяє знаходити рішення за будь-яких співвідношеннях параметрів гри.

У цьому підрозділі дисертації наведено розв'язання задачі з зору PL_1 . Ставиться завдання знаходження множини «переваги» W_1 і оптимальних стратегій $u_*(.)$ за всіх співвідношеннях параметрів гри. Розв'язання задачі з зору PL_2 аналогічне. Зазначимо, що W_1 є об'єднанням множин W_1^i . Це множина таких початкових станів $(x(0), \varphi(0))$, якщо гра починається з них, то існує стратегія PL_1 , яка, для будь-яких реалізацій стратегії PL_2 , «наводить», в момент часу $t = i$, стан системи $(x(0), \varphi(0))$ в такий, при якому буде виконуватися умова (3.3). При цьому, у PL_2 відсутня стратегія, яка може «привести» до виконання умови (3.4), в один з попередніх моментів часу.

Розв'язання задачі полягає у знаходженні множини переваги PL_1 та її оптимальних стратегій.

$$s_1 = 1 - (k_{pok}/k_{prod}); s_2 = (1/k_{btc1}) - (1/k_{prod});$$

$$s'_1 = s_1 \cdot k_{btc1}; s'_2 = s_2 \cdot k_{btc1};$$

Можливі (потенційно) чотири випадки:

а) $s_1 > 0, s_2 \leq 0$;

б) $s_1 \leq 0, s_2 > 0$;

в) $s_1 > 0, s_2 > 0$;

с) $s_1 \leq 0, s_2 \leq 0$;

У випадку а) і $(\beta/\alpha + S'_2 - 1) > 0$ існує нескінченна (лічильна) кількість множин переваги W_1^i першого гравця-союзника, що володіють властивістю, що якщо $((x(0), \varphi(0)) \in W_1^i)$, то гравець PL_1 за i кроків зможе отримати виконання умови (3.3), як би не діяв гравець PL_2 . Причому гравець PL_2 має стратегію, яка не дозволяє першому гравцеві отримати виконання умови (3.3) за меншу кількість кроків.

Множина W_1^i записується таким чином:

$$W_1^i = \{(x(0), \varphi(0)): k(i-1) \cdot x(0) \leq \varphi(0) < k(i) \cdot x(0)\},$$

де $k(i) = (\alpha/\beta) \cdot [-S_2 - S'_2 \cdot k(i-1) + k(i-1)]$, $k(0) = 0$.

Об'єднання множин W_1^i визначає множину переваг першого гравця W_1 , яке записується так:

$$W_1 = \{(x(0), \varphi(0)): \varphi(0) < q \cdot x(0)\} \quad (3.6)$$

де $q = (-S_2)/[\beta/\alpha + S'_2 - 1]$ причому з будь-якого стану $(x(0), \varphi(0))$ цієї множини гравець PL_1 за кінцеве число кроків може досягти виконання умови (3.3).

Зазначимо, що величина, зворотна до $q = (-S_2)/[\beta/\alpha + S'_2 - 1]$ є рівноважним курсом (з достовірністю p_0) для аналізованих ЦКВ при такому співвідношенні параметрів.

У випадку а) $(\beta/\alpha + S'_2 - 1) \leq 0$ існує кінцева кількість множини переваги W_1^i першого гравця-союзника, що володіють властивістю, що якщо $((x(0), \varphi(0)) \in W_1^i)$, то гравець PL_1 за i кроків зможе отримати виконання умови (3.3), хоч би як діяв гравець PL_2 . Причому гравець PL_2 має стратегію, яка не дозволяє гравцеві PL_1 отримати виконання умови (3.3) за меншу кількість кроків. Множина W_1^i записується таким чином:

$$W_1^i = \{(x(0), \varphi(0)): k(i-1) \cdot x(0) \leq \varphi(0) < k(i) \cdot x(0)\} \quad (3.7)$$

де $k(i) = (\alpha/\beta) \cdot [-S_2 - S'_2 \cdot k(i-1) + k(i-1)]$, $k(0) = 0$.

Об'єднання множин W_1^i визначає множину переваг першого гравця W_1 , яке збігається з R_+^2 .

Оптимальна стратегія першого гравця полягає у виділенні всієї наявної кількості криптовалюти ЦКВ1 на купівлю ЦКВ2.

Другому гравцеві «передбачається» утриматися від покупки ЦКВ1.

У разі б) гравець PL_1 неспроможний «побудувати» свою множину переваги, оскільки за такому співвідношенні параметрів ситуація стає кращою для гравця PL_2 .

У випадку в) множини переваг у гравців немає, тому що при такому співвідношенні параметрів у них будуть в наявності і ЦКВ1 і ЦКВ2, як завгодно довго.

Випадок с) неможливий, оскільки за визначенням курс купівлі ЦКВ2 не може бути більшим за курс його продажу.

З урахуванням вищенаведеного можна сказати, що тільки у двох із чотирьох випадків можливі ситуації, що призводять або до безмежного зростання співвідношення $(\varphi(0)/x(0))$, або до безмежного зростання співвідношення $(x(0)/\varphi(0))$. У випадках, що залишилися, цього не відбувається.

Оскільки безмежне зростання співвідношення $(x(0)/\varphi(0))$, чи співвідношення $(\varphi(0)/x(0))$ небажане, то необхідно «звзити» область W_1 , з метою збільшення області стабільності співвідношення $(\varphi(0)/(x(0)))$.

Як можна побачити, це стає можливим, якщо співвідношення (β/α) буде як завгодно великим, тобто темп зростання ЦКВ2 на валютному ринку, має суттєво перевищувати темп зростання ЦКВ1.

Зауваження. Запропонована ігрова модель торгових операцій дає можливість після закінчення торгової сесії визначити свої валютні позиції, якими вони є відкритими (довгими чи короткими) чи закритими. І залежно від трендів «бичачих» чи «ведмежих» отримувати собі доходи.

У разі «бичачого» тренду відбувається виплата власнику відкритої короткої валютної позиції («шорти») з боку власника відкритої довгої валютної позиції («лонги»). І навпаки – у разі «ведмежого» тренду. Динаміка торгівлі ЦКВ, розглянута у цьому підрозділі, дає можливість гравцям заздалегідь спрогнозувати «перехід» або - у бажану йому відкриту довгу валютну позицію, або - у відкриту коротку валютну позицію.

Крім того, розглянута в даному підрозділі дисертації ігрова модель може дозволити формувати портфель ЦКВ шляхом послідовного відсікання тих, хто програв у процесі торгової сесії.

Перевіримо усі наші викладки за допомогою серії обчислювальних експериментів. Для того щоб результати експериментів були репрезентативними, необхідно виконати процедури, пов'язані з плануванням експерименту. Обчислювальні експерименти з моделями, представленими до роботи, і на стадії перевірки працездатності програмних продуктів, описаних у дисертації, проводяться з метою отримання інформації про характеристики процесів властивих об'єкту - торгам на майданчиках ЦКВ. Ця інформація може бути необхідна для аналізу об'єкта моделювання.

Ефективність обчислювального експерименту із застосуванням пропонованих моделей знаходиться у прямій залежності від того, як буде складено план експерименту. У свою чергу план експерименту визначає порядок і обсяг розрахунків, що проводяться на ЕОМ. Крім того, план експерименту повинен охоплювати такі питання, як прийоми обробки отриманих статистичних даних, процедури накопичення статистичних даних для навчання ШНМ та ін. як математичних залежностей, описують можливі ситуації над ринком ЦКВ. При цьому необхідно мінімізувати витрати обчислювальних та часових ресурсів, які необхідні для проведення моделювання. Тому під час проведення обчислювальних експериментів доцільно планувати як які моделі зачіпатимуться під час експерименту, а й безпосередньо порядок їх проведення.

Для планування обчислювальних експериментів першорядне значення приділяється:

- 1) простоті повторення умов за яких проводилися експерименти з запропонованими у роботі моделями;
- 2) можливостям з управління експериментами з запропонованими математичними моделями, включаючи їх зупинку, відновлення та відтворення проведення;
- 3) простоті при варіюванні умов проведення обчислювальних експериментів;

- 4) наявності кореляцій між послідовностями точок під час моделювання;
- 5) труднощів, які можуть супроводжувати визначення інтервалів моделювання.

Кожен фактор, який присутній у викладених у роботі математичних моделях (див. глави 2 і 3), може під час проведення обчислювальних експериментів набувати різних значень. Теоретично при плануванні експерименту ці значення називають рівнями. Тоді для кожного фіксованого набору рівнів факторів (змінних, розглянутих у моделі) можна поставити у відповідність певну точку, наприклад, у двовимірній системі координат. Не доцільно реалізовувати всі обчислювальні експерименти у всіх точках факторного простору. Більш виправданим є підхід, відповідно до якого під час обчислювальних експериментів стосується лише допустима область.

Вважаємо, що найдостовірніші результати можуть бути отримані для випадку, коли будуть реалізовані всі можливі поєднання рівнів факторів, що розглядаються для конкретної математичної моделі. Наприклад, для моделі викладеної поточному підрозділі дисертаційної роботи такими факторами будуть усі змінні описані залежностями (3.1) і (3.2). У цьому випадку ми матимемо справу з повнофакторним експериментом (або ПФЕ). У подібному обчислювальному експерименті можна варіювати всіма чинниками кількох рівнях. Але на початковому етапі досліджень цілком достатньо якщо ми варіюватимемо факторами на двох рівнях нижньому і верхньому.

Зауважимо, що кількість обчислювальних експериментів у ПФЕ набагато перевищуватиме кількість визначених коефіцієнтів для лінійних моделей. Тому всі моделювані процеси, що описуються моделями, представленими вище, можна призвести до безрозмірної форми і загального інтервалу мінливості, наприклад, від 0 до 1. При моделюванні ситуації на торгових майданчиках ЦКВ можна взяти середньостатистичні дані за

розмірами фінансових ресурсів, з якими гравці виходять на майданчик . Обчислення проводилися на 10-50 кроків за розмірами ФР гравців з інтервалом 0,5 розміру ФР.

Також зауважимо, що оскільки в основі навчання проектованої ШНМ лежать дані не лише за статистикою реальних торгів, що відбуваються на різних торгових майданчиках, що займаються операціями з ЦКВ, а й дані, отримані в ході рішення гри, то не ставилося завдання реалізації факторного експерименту. У разі застосування ШНМ відпадає необхідність мати рівняння регресії, що також пов'язано з тією обставиною, що на результати торгів ЦКВ впливають не лише параметри, розглянуті в наших моделях, а й десятки інших, найчастіше стохастичних факторів. Таким чином, раціональним буде підхід, при якому побудова плану експерименту виконано виходячи з плану поверхні реакції. Це дозволяє уникати ситуацій, коли можливі втрати інформації.

Важливим нюансом при плануванні обчислювальних експериментів з імітаційними моделями, описаними в другому і третьому розділах дисертаційної роботи, є така проблема. Як досягти стохастичної збіжності результатів наших обчислювальних експериментів? Ця проблема може виникнути внаслідок того, що як досліджувані характеристики ринку цифрових активів може знадобитися задіяти середні за деякими розподілами. У свою чергу, при оцінці подібних розподілів, наприклад, що стосуються середнього розміру ФР гравців, ми застосували багаторазовий прогін моделей на ЕОМ. Причому як показали результати проведених обчислювальних експериментів, що більша була вибірка, то більша ймовірність того, що вибіркові середні наближалися до середніх показників розподілів.

У ході обчислювальних експериментів нас більшою мірою цікавили лише два основні фактори, що впливають на вибір гравцями стратегій на ринку цифрових активів. А саме розміри їхніх фінансових ресурсів. Це продиктовано тим, що пріоритет у ході подібних обчислювальних

експериментів віддавався лінійним ефектам. Однак зауважимо, що при подальшому вдосконаленні проєктованої нами ШНМ можна додатково розглянути квадратичні ефекти. Тоді слід задіяти три рівні. Відповідно для дослідження кубічних випадків необхідно буде вивчити чотири рівні тощо. Отже, кількість рівнів дорівнюватиме мінімальній кількості необхідних відновлення функцій точок. Аналіз даних за допомогою ШНМ суттєво спроститься. Однак це питання вимагає проведення окремих досліджень, що виходило за рамки споконвічно обумовлених завдань дослідження.

Також зауважимо, що при тактичному плануванні проведення обчислювальних експериментів ми врахували особливості проведення експерименту виходячи з:

1) наявних машинних ресурсів. Обчислювальні експерименти було проведено на ЕОМ з процесором І7, ОЗП 32ГБ;

2) визначення конкретних способів, при яких були проведені випробування запропонованих математичних моделей (на першому етапі обчислювальні експерименти проведені із застосуванням пакетів математичного моделювання – MathCad 14 та Fuzzy Logic Mathlab, на другому етапі були написані модулі алгоритмічною мовою Python).

На етапі тактичного планування обчислювальних експериментів було:

- 1) визначено початкові умови для проведення експериментів;
- 2) розглянуто питання впливу початкових умов на досягнення результатів, отриманих в ході моделювання;
- 3) забезпечені прийнятні показники точності та достовірність результатів моделювання;
- 4) зменшено показники дисперсії при оцінюванні характеристик процесів функціонування моделюваних систем;
- 5) вибрано правила для автоматичної зупинки обчислювальних експериментів з моделями, представленими в роботі.

Виходячи зі складності предметної галузі, що вивчається в дисертаційній роботі, можна констатувати наступне. Частково проблеми під час реалізації обчислювальних експериментів виникали внаслідок штучності характеру процесів функціонування наших моделей. Адже насправді наші моделі, викладені вище, працюють епізодично на відміну реальних систем властивих діючим торговим майданчикам, які здійснюють торгівлю ЦКВ. Таким чином, щоразу, коли ми запускаємо наші комп'ютерні моделі на прогін і проводимо фіксацію результатів експерименту, нам потрібен час для того, щоб досягти умов рівноваги. Ці умови рівноваги відповідатимуть умовам, у яких приблизно функціонує реальна система. Таким чином, початкові періоди роботи комп'ютерних моделей, створених на основі викладок, представлених у роботі, будуть спотворені внаслідок впливу початкових умов, що склалися під час запуску моделей. Для вирішення цієї проблеми було вирішено виключити розгляд інформації про модель, яка була отримана в початковій частині періодів моделювання торгів ЦКВ. Другий варіант, який передбачає, можливість зміни початкових умов таким чином, щоб можна домогтися скорочення часу досягнення встановленого режиму не розглядався.

Також слід згадати про вирішення ще однієї проблеми, що виникає під час планування обчислювальних експериментів. Це проблема, пов'язана з оцінюванням точності та достовірності результатів моделювання за заданих обсягів вибірки (або іншими словами з кількістю реалізацій обчислювальних експериментів). Фактично потрібно виконати оцінювання необхідної кількості реалізацій обчислювальних експериментів за заданими показниками точності та достовірності результатів моделювання. Виходячи із завдань досліджень було прийнято рішення, що кількість реалізацій для варіантів статистичного моделювання було обрано виходячи з таких міркувань:

- 1) визначено витрати ресурсів на обчислювальні експерименти з моделями, описаними в роботі (сюди включені витрати часу на

побудову моделі та її комп'ютерну реалізацію). Виходячи з цього міркування спочатку перевірка моделей була виконана із застосуванням математичного пакету MahtCAD. Оскільки MahtCAD спочатку має у своєму розпорядженні весь арсенал необхідний для вирішення систем диференціальних рівнянь його продуктивності та вбудованого інструментарію цілком достатньо для того, щоб перевірити працездатність моделі в цілому. А у разі успішності таких обчислювальних експериментів можна переходити на опис моделей, запропонованих у роботі, алгоритмічними мовами високого рівня. Про це йтиметься у наступному підрозділі третього розділу дисертаційного дослідження.

- 2) оцінка точності і достовірності результатів обчислювальних експериментів за допомогою моделювання системи і при обмеженнях на ресурси, що задаються, як тимчасові, так і обчислювальні.

Обчислювальні експерименти завдання пошуку області переваги інвестора в ЦКВ2 проведено у середовищі MahtCAD, див. рис. 3.7.

Результат показано на рисунках 3.8 та 3.9 та в таблиці 3.5.

Цілі обчислювального експерименту:

- 1) визначити множину фінансових стратегій гравців на ринку цифрових активів та зібрати статистичні дані (дані для доповнення навчальної вибірки) за різних результатів гри для подальшого навчання ШНМ (це питання розглядається далі в підрозділі 3.2 цього розділу дисертаційного дослідження);
- 2) оцінити працездатність моделі, викладеної у цьому підрозділі дисертації. Якщо модель є працездатною, то на наступному етапі дослідження при реалізації ШНМ та підготовці відповідної навчальної вибірки цю модель, поряд з моделлю, описаною в

другому розділі роботи, можна буде реалізовувати алгоритмічними мовами високого рівня, наприклад, Python 3.

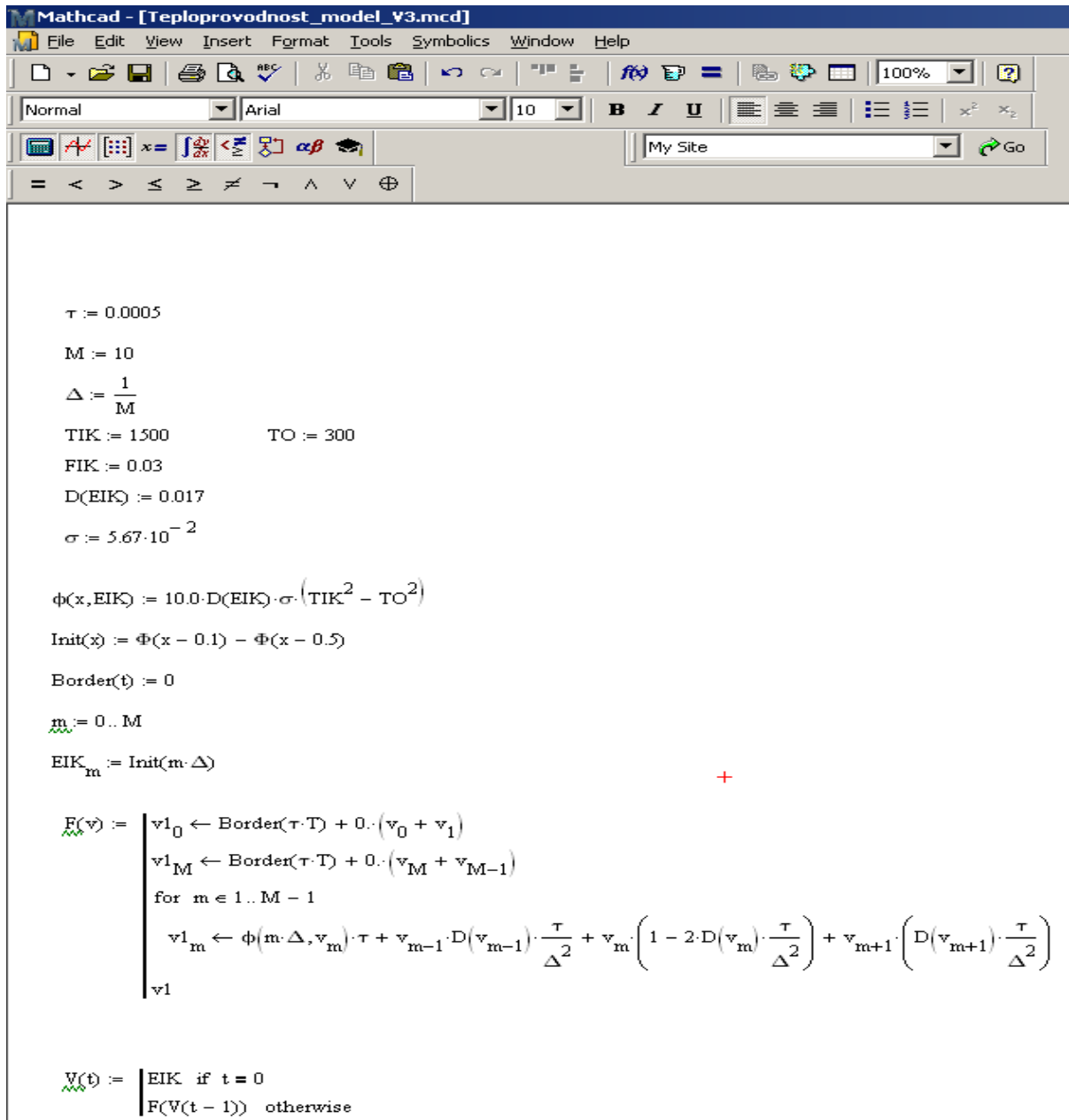


Рисунок 3.7 Приклад застосування MathCAD для вирішення системи рівнянь, що описується виразами (3.1) та (3.2) (Фрагмент лістингу)

Джерело: побудовано автором у середовищі MathCAD(знімок з екрану)

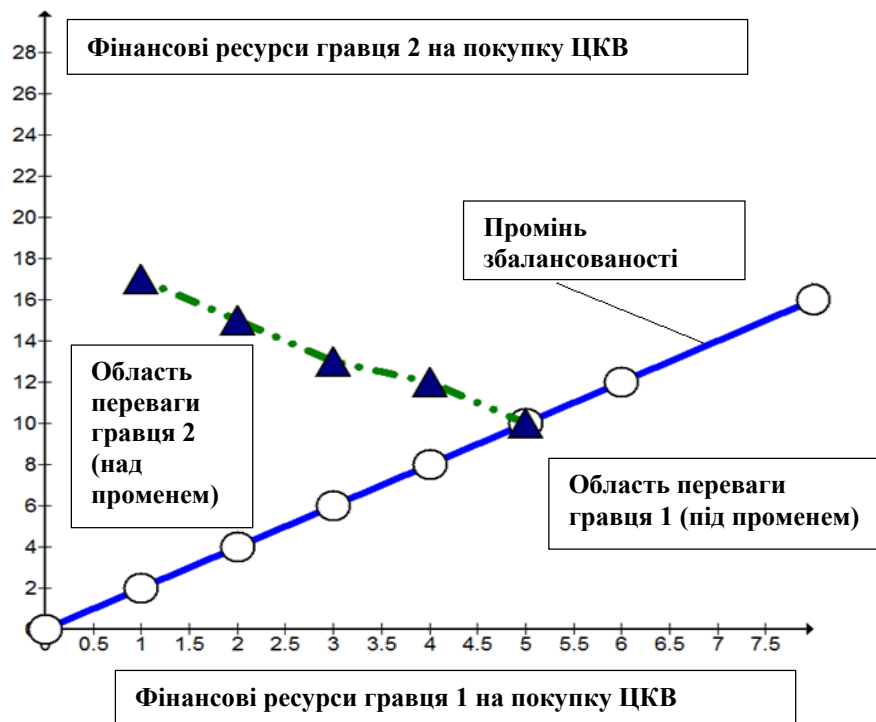


Рисунок 3.8 Результати обчислювального експерименту.

Траєкторія руху гравця PL_2 (покупця ЦКВ2)

Джерело: побудовано автором (знімок з екрану)



Рисунок 3.9 Результати обчислювального експерименту.

Траєкторія руху гравця PL_2 (покупця ЦКВ2)

Джерело: побудовано автором (знімок з екрану)

Для обмежень на розмір фінансового ресурсу гравців

Результати імітаційного експерименту (ІЕ) щодо вибору стратегій гравців на ринку цифрових активів

№ ІЕ	Результати моделювання		
	ФР гравців ринку цифрових активів не обмежені	На ФР гравців на ринку цифрових активів накладено обмеження	
1	$(x(0), y(0))=(10.0, 13.2); (x(1), y(1))=(12.0, 11.36); (x(2), y(2))=(14.0, 10.36); (x(3), y(3))=(16.0, 8.4); (x(4), y(4)) = (18.0, 6.4).$	Обмеження на ФР PL_1	$(x(0), y(0)) = (7.0, 13.0); (x(1), y(1))=(8.0, 11.0); (x(2), y(2)) = (9.0, 10.0); (x(3), y(3)) = (10.0, 8.0); (x(4), y(4)) = (11.0, 6.0).$
2	$(x(0), y(0))=(5.0, 10.0); (x(1), y(1))=(4.0, 12.0); (x(2), y(2))=(3.0, 13.0); (x(3), y(3))=(2.0, 15.0); (x(4), y(4))=(1.0, 17.0).$	Обмеження на ФР PL_2	$(x(0), y(0))=(5.0, 10.0); (x(1), y(1))=(4.0, 11.0); (x(2), y(2))=(3.0, 12.0); (x(3), y(3))=(2.0, 14.0); (x(4), y(4))=(1.0, 15.0).$
3	$(x(0), y(0))=(5.0, 20.0); (x(1), y(1))=(4.0, 16.0); (x(2), y(2))=(3.0, 12.0); (x(3), y(3)) = (2.0, 8.0), (x(4); y(4)) = (1.0, 4.0).$	Обмеження на ФР PL_1	$(x(0), y(0)) = (5.0, 15.0); (x(1), y(1)) = (4.0, 12.0); (x(2), y(2))=(3.0, 9.0), (x(3), y(3))=(2.0, 6.0); (x(4), y(4)) = (1.0, 3.0).$
4	$(x(0), y(0))=(11.0, 12.2); (x(1), y(1))=(12.0, 11.36); (x(2), y(2))=(14.0, 10.36); (x(3), y(3))=(16.0, 8.4); (x(4), y(4)) = (18.0, 6.4).$	Обмеження на ФР PL_1	$(x(0), y(0)) = (7.0, 13.0); (x(1), y(1))=(8.0, 11.0); (x(2), y(2)) = (9.0, 10.0); (x(3), y(3)) = (10.0, 8.0); (x(4), y(4)) = (11.0, 6.0).$
5	$(x(0), y(0))=(6.0, 11.0); (x(1), y(1))=(4.5, 12.5); (x(2), y(2))=(3.5, 13.6); (x(3), y(3))=(2.2, 15.4); (x(4), y(4))=(1.0, 17.0).$	Обмеження на ФР PL_2	$(x(0), y(0))=(5.1, 10.2); (x(1), y(1))=(4.3, 11.4); (x(2), y(2))=(3.0, 12.0); (x(3), y(3))=(2.2, 14.4); (x(4), y(4))=(1.2, 15.4).$
6	$(x(0), y(0))=(5.1, 20.3); (x(1), y(1))=(4.1, 16.4); (x(2), y(2))=(3.3, 12.7); (x(3), y(3)) = (2.1, 8.2), (x(4); y(4)) = (1.3, 4.2).$	Обмеження на ФР PL_1	$(x(0), y(0)) = (5.0, 15.0); (x(1), y(1)) = (4.0, 12.0); (x(2), y(2))=(3.0, 9.0), (x(3), y(3))=(2.1, 6.0); (x(4), y(4)) = (1.3, 3.3).$
7	$(x(0), y(0))=(5.1, 18.9); (x(1), y(1))=(3.9, 16.1); (x(2), y(2))=(3.0, 12.5); (x(3), y(3)) = (2.3, 8.6), (x(4); y(4)) = (1.1, 4.5).$	Обмеження на ФР PL_1	$(x(0), y(0)) = (5.1, 15.1); (x(1), y(1)) = (4.1, 11.9); (x(2), y(2))=(2.9, 8.9), (x(3), y(3))=(2.0, 5.9); (x(4), y(4)) = (1.1, 3.1).$

Джерело: побудовано автором

Рисунки 3.8-3.9 демонструють ситуацію, в якій гравець *PL_2* (покупець ЦКВ2, використовуючи неоптимальну поведінку покупця ЦКВ1 у початковий момент часу, домагається того, що «наводить» стан системи на «свою» термінальну поверхню. Якщо траєкторія покупця збігатиметься з променем збалансованості, то це буде відповідати ситуації рівноважного значення курсу ЦКВ. У цьому випадку (втім, малоймовірному) гравці, застосовуючи свої оптимальні стратегії, рухаються по цьому променю, що задовольняє одночасно обох гравців.

Якщо траєкторія руху перебуватиме під променем збалансованості, це проілюструє ситуацію, коли гравець *PL_1* (покупець ЦКВ1) має перевагу у співвідношенні параметрів, тобто вони перебувають у множині переваги *PL_1*. У цьому випадку *PL_1*, застосовуючи свою оптимальну стратегію, досягне своєї мети, а саме приведення стану системи на свою термінальну поверхню.

У термінах ШНМ функцію активації можна уявити, як раціональну стратегію економічних агентів у парадигмі оптимізації функцій корисності. Якщо аналізувати нейронну мережу як інструментарій, що використовується для глибокої обробки відомостей про ринок ЦКВ та для отримання високоякісних прогнозів щодо курсів ЦКВ, то далі в процесі генерації програмних та архітектурних варіантів нейронних мереж, слід використовувати саме раціональну стратегію гравця, як функції активації. Також раціональна (оптимальна) стратегія гравця може використовуватись при виборі оптимальних параметрів навчання (згортки) ШНМ. Наведену у цьому підрозділі роботи ігрову модель торгової сесії над ринком ЦКВ з нечіткою інформацією можна розглядати як черговий етап (поряд із моделлю, викладеної у другому розділі роботи) для формування ШНМ. Досвід успішних реалізацій ШНМ у задачах прогнозування курсів ЦКВ дає нам підставу з упевненістю стверджувати, що ШНМ через свої переваги в порівнянні з іншими підходами дозволить ефективно виявляти приховані

статистичні та інші залежності на ринку цифрових активів, а також отримувати неочевидні та нетривіальні результати.

Функція активації (ФА) виконує виключно важливу роль в ШНМ. На основі значень ФА приймається рішення про передачу або затримку сигналів в ШНМ. Якщо в нейронній мережі ФА відсутня, то ваги та зміщення виконуватимуть лінійні перетворення. НМ в якій ФА відсутня, по суті є звичайними регресійними моделями.

З урахуванням робіт [74-76], а також викладок, наведених у другому розділі та поточному попередньому підрозділі дисертаційної роботи ФА відповідає виразам (2.27) та (2.28).

Результати роботи ШНМ, див. рис. 2.10, багато в чому зависи від обраної функції активації. Для виявлення залежностей найкраще використовувати нелінійні функції активації. Наприклад, можна використовувати функції (2.27) та (2.28), описані вище.

Таким чином, у контексті завдань дисертаційного дослідження в даному підрозділі розглянуто ігрову модель торгової сесії на ринку цифрових криптовалют (ЦКВ) з нечіткою інформацією. Показано, що керованість процесу на торговій сесії може бути описана з погляду ігрового підходу на основі розв'язання системи дискретних рівнянь. Такий підхід не відкидає реалізацій гри з боку загального колективного контрагента. Він дозволяє розглянути випадки, що призводять до нестабільності відносин фінансових ресурсів гравців, наприклад, ЦКВ1 до ЦКВ2, і навпаки. Новизна моделі в тому, що вона відрізняється від існуючих підходів рішенням багатокрокової гри якості з кількома термінальними поверхнями з нечіткою інформацією. Знайдено рішення нової багатогранної білінійної гри якості з залежними рухами. Знайдене рішення може бути використане в ході реалізації ШНМ, яка використовується для аналізу трендів на торгових майданчиках ЦКВ, про що йтиметься у наступному підрозділі дисертації. Наведені в роботі результати можуть виявитися корисними для запобігання ситуацій курсової нестабільності на ринку інвестицій у ЦКВ в умовах

нечіткої інформації, що, як правило, має місце на практиці. Відповідно, така модель може бути корисною для прогнозування ситуації на торгових майданчиках, що торгують ЦКВ. Також отримані результати можуть дати деякі рекомендації щодо вибору керуючих впливів для підтримки курсової стабільності на ринку інвестування в криптовалюти на рівні великих банківських гравців.

3.3. Управління процедурою купівлі-продажу цифрових криптовалют на основі нейронної мережі у нечіткій постановці

Для впровадження нейронних мереж на основі моделювання даних за допомогою моделей та методів, представлених як у другому розділі дисертації, так і в попередньому підрозділі, ви повинні вибрати:

- середовище програмування;
- мова програмування;
- додаткові інструменти для розробки нейронної мережі.

В принципі, майже будь-яка викнорівнева мова програмування може бути використана для реалізації нейронної мережі. Але враховуючи той факт, що реальне використання такого роду нейронна мережа може бути лише у форматі окремого модуля програмного продукту на торгових площадках для цифрових активів (раніше розглядався як частина першого розділу дисертації) вибір було зроблено на користь Python.

Крім того, наступні міркування послужили додатковим аргументом на користь вибору Python як основної алгоритмічної мови для впровадження наших моделей.

Для реалізації нейронної мережі на мові Python може використовуватись весь потенціал таких додаткових пакетів, як: Keras, Framework TensorFlow, Numpy 3.1.1 Python та інші. Ці пакети спочатку були розроблені для використання у завданнях проектування ШНМ та іншого програмного забезпечення, орієнтованого на вирішення математичних

проблем, і, отже, дозволяють зменшити витрати на ресурси для впровадження ШНМ.

Крім того, Python - це проста, але в той же час потужна мова алгоритмічного програмування. Це надає дослідникам можливість використовувати, наприклад, в синтезі нейронної мережі, весь потенціал ефективних структур високого рівня даних, а також забезпечує простий, але ефективний спосіб реалізації парадигми об'єктно-орієнтованого програмування. Поєднання простого, але елегантного синтаксису Python, крім можливостей динамічного типування, робить цю мову ідеальним вибором спеціально для вирішення загального застосованого завдання дослідження - реалізація нейронної мережі для прогнозування центрального кодексу цифрових активів, а також викладання нейронної мережі на основі оцінки ефективності та ризиків інвестицій у центральний код та управління ризиками процедури купівлі та продажу ЦКВ у нечіткій постановці.

Інтерпретатор Python легко розширюється завдяки новим функціям та типам даних, які, наприклад, раніше записувались у C/C++ (або інших алгоритмічних мовах, до яких можна отримати доступ до C).

Як основне обчислювальне ядро нашої ШНМ може бути використаний відкритий код - `Exsunge_Rate_Prediction` [112] або цілий вибір вже впроваджених ШНМ для вирішення таких проблем [113]. Наприклад, у нашому дослідженні рішення, описане в [114] - `LSTM-Bitcoin-GoogleTrends-Prediction`, було обрано як основне. У цьому рішенні LSTM (Long Short-Term Network)-це по суті повторювана ШНМ. Цей податок використовується в галузі глибокого навчання. Як зазначено в першому розділі роботи, традиційний ШНМ не може згадати попередні вхідні дані. Але повторювані ШНМ дозволяють проводити навчання за допомогою вхідних даних з попередніх послідовностей. Це особливо важливо, враховуючи той факт, що спочатку не є завданням розробити свої «унікальні» ШНМ для вирішення проблеми прогнозування курсів на ринках ЦКВ. Ми бачимо загальне прикладне завдання роботи, щоб зробити потенціал існуючих рішень у

галузі використання апарату ШНМ. Таке розширення функціональності ШНМ, наприклад, можливе шляхом впровадження модулів у них з даними, отриманими під час використання ігрових моделей. Як показано раніше в першій главі твору, блок LSTM складається з комірки, вхідного затвора, вихідного затвора та забуття. У цьому [114] LSTM-Bitcoin-GoogleTrends-Prediction проект, що передбачає ціни BTC на основі ключових слів Google Trend. Алгоритм LSTM для версії Python 3.6 був обраний основним автором. Набір цін на ціни BTC може бути завантажений щогодини за допомогою API Coinapi.io.

Ключові слова Google Trends в авторському варіанті [114] також можна щогодини завантажувати з використанням бібліотеки Python pytrend. Нарешті вибрані ключові слова Bitcoin, BTC, Blockchain, Cryptocurrency та Iota використовуються як стовпці в набір даних. На думку автором цього рішення, алгоритм LSTM досить точно здатний прогнозувати ціни закриття BTC. Причому, як показано на малюнках 3.10-3.12 у міру збільшення кількості епох, такі прогнози стають все точнішими.

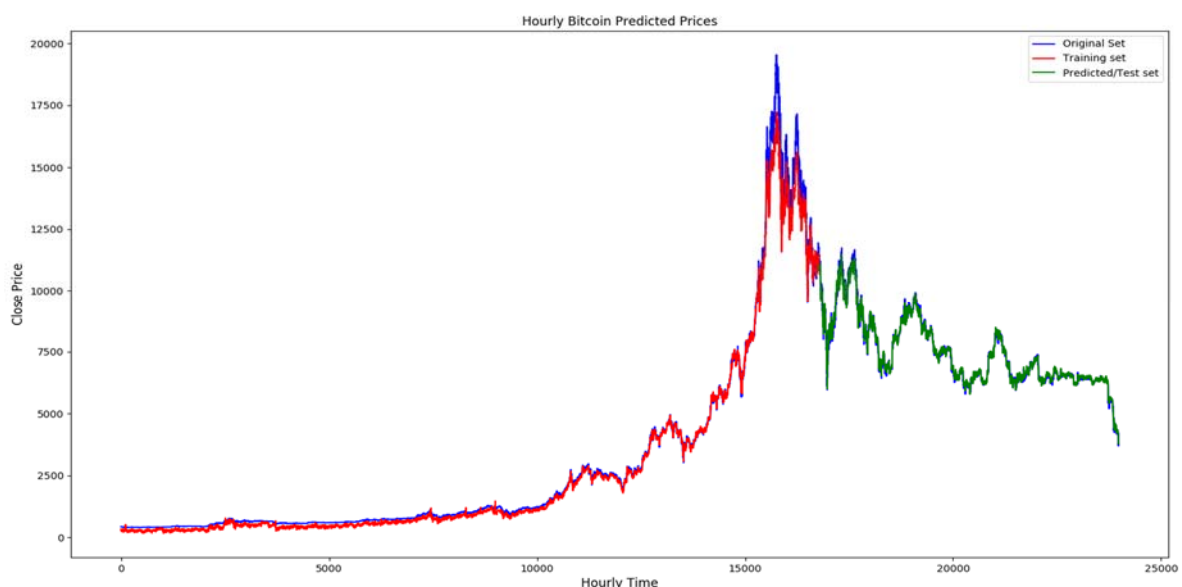


Рисунок 3.10 Результати прогнозування вартості ЦКВ (біткоїн BTC) під час використання вихідних кодів ШНМ, поданих у [114]

Джерело: побудовано автором у середовищі IDE PyChart (знімок з екрану)

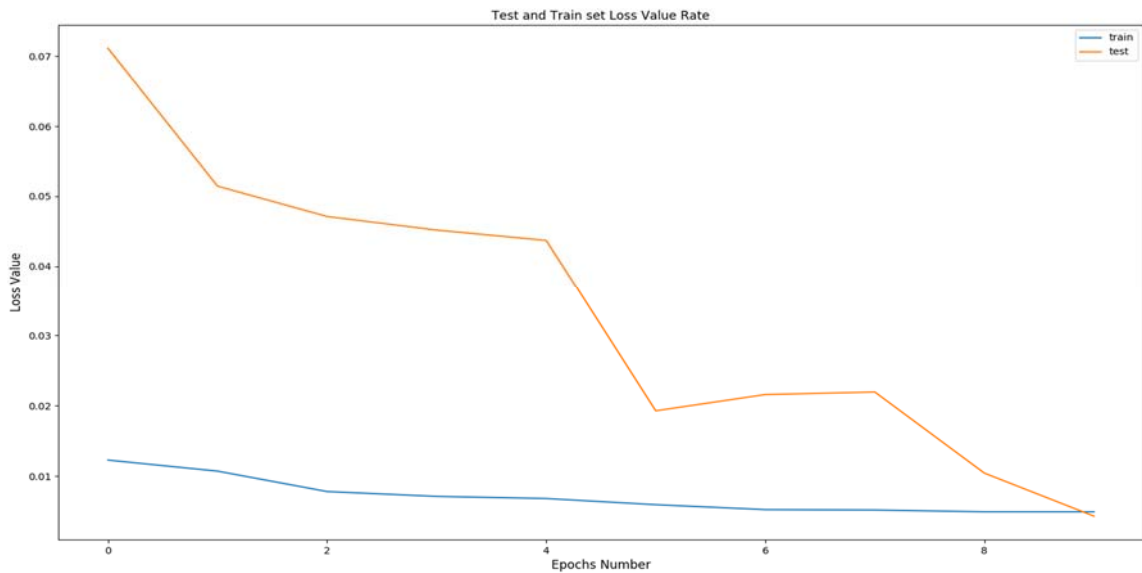


Рисунок 3.11 Результати точності навчання для різної кількості епох при прогнозуванні вартості ЦКВ (біткоїн BTC) при використанні вихідних кодів ШНМ, представлених у [114]

Джерело: побудовано автором у середовищі IDE PyChart (знімок з екрану)

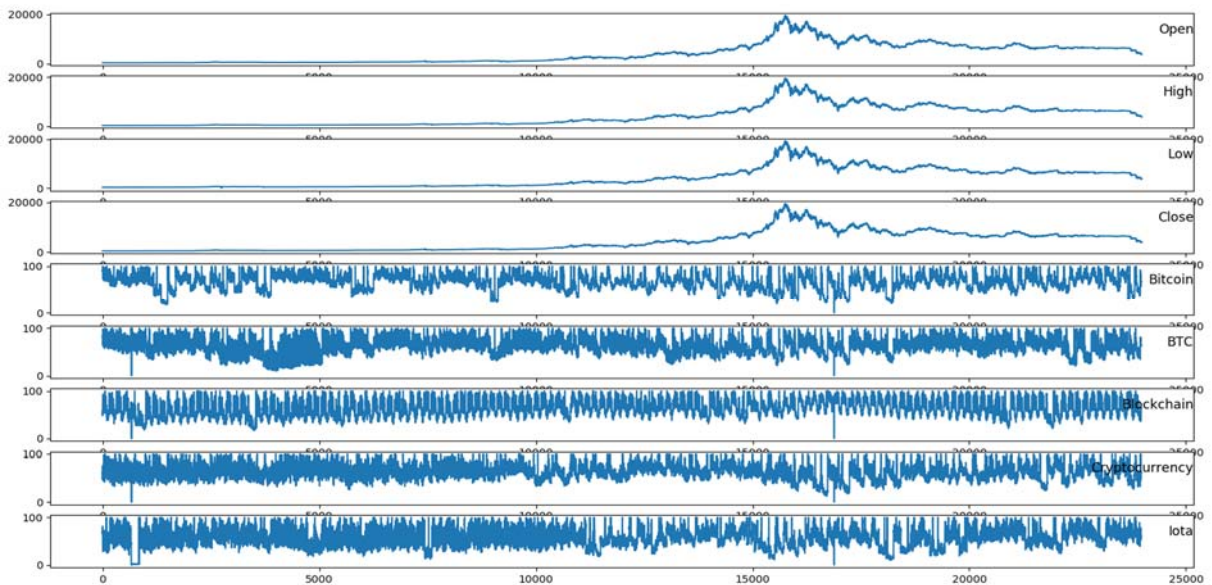


Рисунок 3.12. Результати використання різних ключових слів Google Trends для формування стовпців у наборах даних під час використання нейронної мережі щодо прогнозування вартості цифрових активів

Джерело: побудовано автором на основі [114] (знімок з екрану)

Таким чином, прийнявши, наприклад, дану нейронну мережу як базовий варіант, можна розширити її функціонал шляхом додавання нової інформації для її навчання. Подібною новою інформацією будуть дані, які ми можемо записати в стовпи на підставі результатів моделювання із застосуванням моделей, описаних у другому розділі роботи, а також у попередньому підрозділі. Ці питання ми розглянемо дещо нижче. А далі зупинимося на виборі середовища для реалізації на Python моделей оцінювання результативності та ризиків інвестування в цифрові активи та управління процедурою купівлі-продажу цифрових активів у нечіткій постановці.

Однією з основних етапів розробки будь-якого програмного продукту є вибір інтегрованого середовища програмування [115-117]. Для вибору середовища програмування з урахуванням того, що частково ми будемо використовувати рішення, наявні на ресурсі Github, слід врахувати, що:

- вибране середовище має підтримувати можливості налагодження наявного стороннього коду на Python;
- бажано щоб середовище мало функціонал для автоматичного форматування коду, що дозволить скоротити час фінального рішення;
- необхідно, щоб вибране середовище давало можливості для збереження раніше відкритих файлів у IDE.

З урахуванням вищесказаного, розглядалися такі варіанти реалізації додаткового функціоналу для нейронної мережі на базі алгоритму LSTM [114]:

- IDE PyCharm;
- IDE у складі пакету Anaconda.

Інші IDE не розглядалися, оскільки, як показав аналіз низки публікацій, присвячених практичному досвіду застосування Python, вони не мають усіх необхідних якостей, саме виходячи з завдань нашого проекту. Для порівняння переваг та недоліків кожної з IDE PyCharm та IDE, що входять до складу Anaconda, була побудована таблиця 3.6.

Наприклад, на рисунку 3.13 показано рішення задачі з управління процедурою купівлі-продажу цифрових активів у нечіткій постановці, раніше теоретично описане у підрозділі 3.1 цієї глави дисертаційної роботи.

Таблиця 3.6.

Порівняльний аналіз переваг та недоліків IDE Pycharm та IDE у складі пакету Anaconda для реалізації ШНМ

IDE PyCharm	
Переваги	Недоліки
Простота організації проєктів	Вартість професійної версії
Гарні можливості для рефакторингу	В ОС Лінус інтерфейс не завжди коректно відображається
Зручність інтерфейсу	Потрібні досить великі ресурси ОЗП для нормальної роботи
Зручний редактор коду, включаючи таку можливість як підсвітка коду	Найчастіше виникає необхідність змінювати стандартні налаштування під проєкти, взяті із зовнішніх джерел, наприклад з Github.
IDE в складі пакету Anaconda	
Переваги	Недоліки
У пакет Anaconda за замовчуванням включені безкоштовні редактори Spyder5Elite 5.2 та Jupyter Notebook, які популярні у наукових дослідженнях, у тому числі у задачах синтезу ШНМ Широкий вибір опцій виключно для Python.	У середовищі Anaconda встановлення професійної версії IDE PyCharm необхідно виконувати окремо.
У середовищі Anaconda всі наявні за умовчанням IDE мають гарне робоче оточення для перегляду коду та інтерпретацій.	Для новачків середовище Anaconda може бути складним для розуміння, оскільки містить інструментарій, розрахований на вчених.
У пакеті Anaconda є досить широкий вибір опцій виключно для Python.	Немає можливості автоматичного оновлення до нової версії Anaconda.

Джерело: побудовано автором

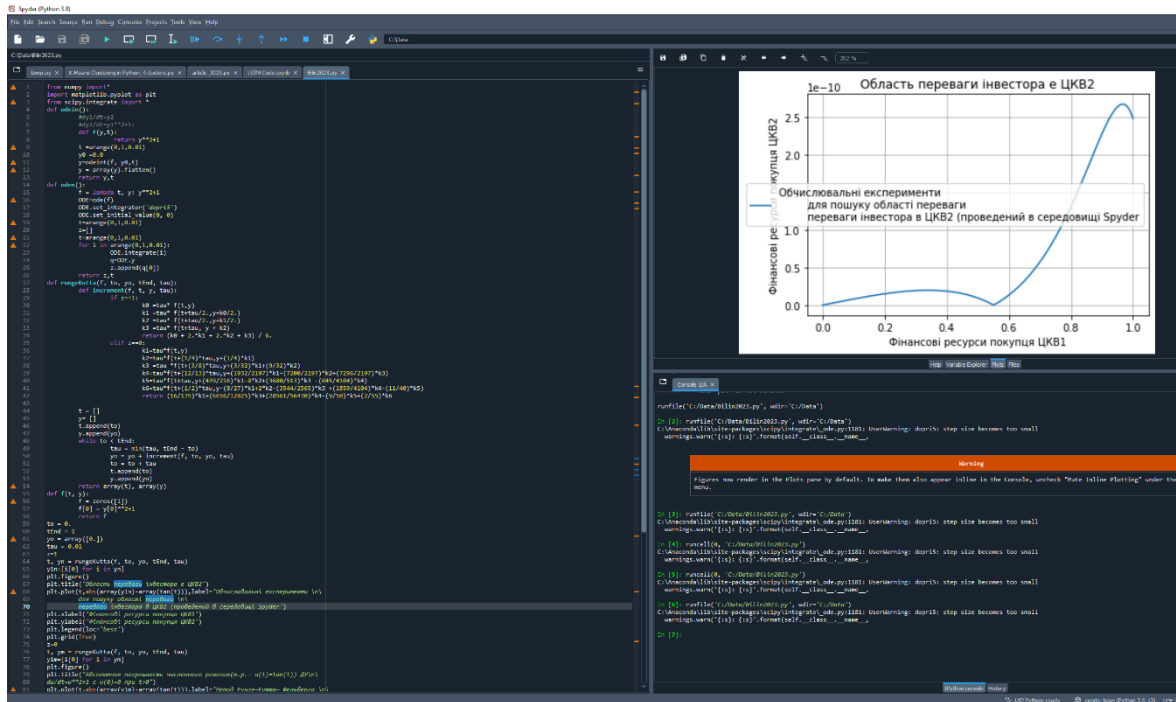


Рисунок 3.13 Приклад вирішення завдання у середовищі Spyder5Elite 5.2 Python (пакет Anaconda) з управління процедурою купівлі-продажу ЦКВ у нечіткій постановці

Джерело: побудовано автором у середовищі Spyder5Elite 5.2 Python (пакет Anaconda) (знімок з екрану)

Аналогічні результати були отримані в IDE PyCharm, див. рисунки 3.14 та 3.15.

У зв'язку з викладеним вище, в ході обчислювальних експериментів розглянуто такий варіант формування платіжної матриці.

По горизонталі розташовуються гравці, які «мінімізують плату (вона приймає 3 значення: -1,0, +1).

По вертикалі – ті гравці, які максимізують цю плату.

При цьому кожного гравця «ідентифікує» конкретний числовий набір значень параметрів, що «бере участь» в описі торгової сесії з боку гравця (в ігровій постановці).

Примітка. У найпростішому варіанті побудови нейронної мережі ми поки що не розглядали такі змінні, як поточні курси купівлі та продажу цифрових активів.

І тоді на перетині горизонталі та вертикалі (вузлі – «нейроні») визначатиметься конкретна «гра» (конкретна торгова сесія між цими конкретними двома гравцями). Так як ігрова модель дає результат для будь-яких параметрів, то на перетині можна поставити одне із значень – $(-1,0,1)$.

Відповідно для формування платіжної матриці та подальшого навчання ШНМ необхідно визначити значення даної матричної гри у класі змішаних стратегій. При цьому буде отримано агрегований результат ринку цифрових активів.

Для навчання фінальної версії ШНМ та її тестування на даних, які можна отримати, наприклад, на таких ресурсах, як біржові майданчики для торгівлі ЦКВ [118], можна розширити перелік вихідних даних для навчання ШНМ. Фрагмент такої навчальної вибірки представлений у таблиці 3.3. У ній також вчені результати, отримані у 2 розділі цього дисертаційного дослідження.

На рисунку 3.8 показано схему алгоритму навчання ШНМ на підставі даних, зібраних під час реалізації ігрових моделей.

Будемо називати модель нейронної мережі моделлю нейронної мережі i – го покоління, якщо вона функціонує на основі нейронної мережі, яка пройшла навчання на i – й ітерації запропонованого алгоритму.

Для того, щоб алгоритм міг видавати прогнози про курс цифрового активу або давати гравцям рекомендації щодо вибору тієї чи іншої оптимальної стратегії на ринку цифрових активів, його необхідно навчити. Навчання виконуємо на наборі даних, що відповідає загальній картині аналізованих ситуацій, що є типовими для торгових майданчиків, на яких відбуваються торги ЦКВ.

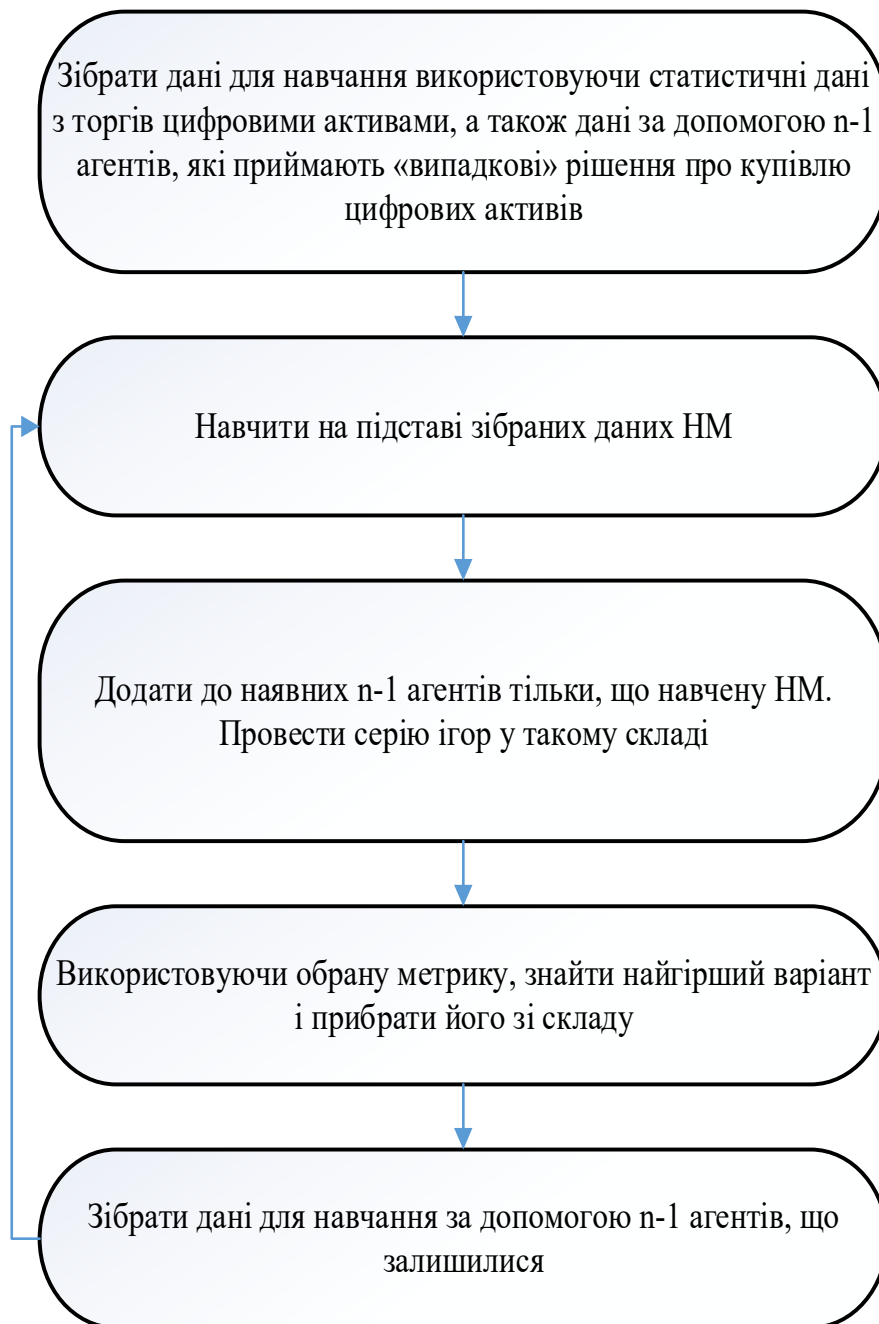


Рисунок 3.14 Алгоритм навчання нейронної мережі на основі даних, зібраних під час реалізації ігрових моделей

Джерело: побудовано автором

Підготовка навчальних наборів чи одного набору – це досить трудомісткий процес. Але від цього процесу зрештою повністю залежатиме, по-перше, і швидкість навчання створюваної ШНМ, а по-друге, якість роботи алгоритму.

Перший етап підготовки даних для навчання ШНМ включає роботи зі складання початкового набору. Тут можна покластися на давно відомий факт - чим більший обсяг та різноманітність даних у навчальному наборі, тим вищі показники ефективності роботи алгоритму. При складанні набору навчальних даних слід врахувати, що працездатний набір складається з різних варіацій. Як, наприклад, це показано в таблиці 3.7, де в окремих рядках відображаються статистичні дані, взяті за відкритими джерелами на підставі результатів торгів цифровими активами на різних торгових майданчиках, так і дані, які були отримані в результаті реалізації ігор на підставі моделей, описаних у другому та третьому розділах дисертаційної роботи.

У першому блоці алгоритму, представленого на рисунку 3.15, збір даних навчання виконується з урахуванням статистичних даних з торгів ЦКВ, і навіть дані з допомогою $n-1$ агентів, які приймають «випадкові» рішення про купівлю ЦКВ. Концептуально вважаємо, що наші математичні моделі, розглянуті вище, є агент-орієнтовані моделі. Тобто кожна угода та відповідний результат або кожен гравець на ринку цифрових активів є агентом. Агент, відповідно, характеризується певним набором властивостей, наприклад, до таких властивостей можна віднести розміри фінансових ресурсів, які має гравець (агент) і функцію приналежності стану гравців. Тоді кінцевою метою процесу створення агентів стане відстеження флуктуацій агентів.

Агенти або гравці з відповідними властивостями були реалізовані мовою Python. Відповідні скріншоти представлені на рисунках 3.15 та 3.16 для IDE PyCharm. Аналогічний результат був отриманий Spyder5Elite 5.2, див. рис. 3.17.

```

1 # This is a sample Python script.
2
3 import ...
4
5 def odein():
6     #dy1/dt = x(t) - alpha*x(t) - u(t) * alpha*x(t) + 1
7     #dy2/dt = -y(t) - beta*y(t) - v(t) * beta*y(t) * 2
8     def f(y, t):
9         return y**2 + 1
10
11     t = arange(0, 1, 0.01)
12     y0 = 0.0
13     y = odeint(f, y0, t)
14     y = array(y).flatten()
15     return y, t
16
17 def odein():
18     f = lambda t, y: y**2 + 1
19     ODE = ode(f)
20     ODE.set_integrator('dopri5')
21     ODE.set_initial_value(0, 0)
22     t = arange(0, 1, 0.01)
23
24 odein()
25 lambda(t, y)

```

Рисунок 3.15 Приклад реалізації агента (фрагмент лістингу програми із системою дискретних білінійних рівнянь у IDE PyCharm з управління процедурою купівлі-продажу ЦКВ у нечіткій постановці)

Джерело: побудовано автором у середовищі IDE PyCharm (знімок з екрану)

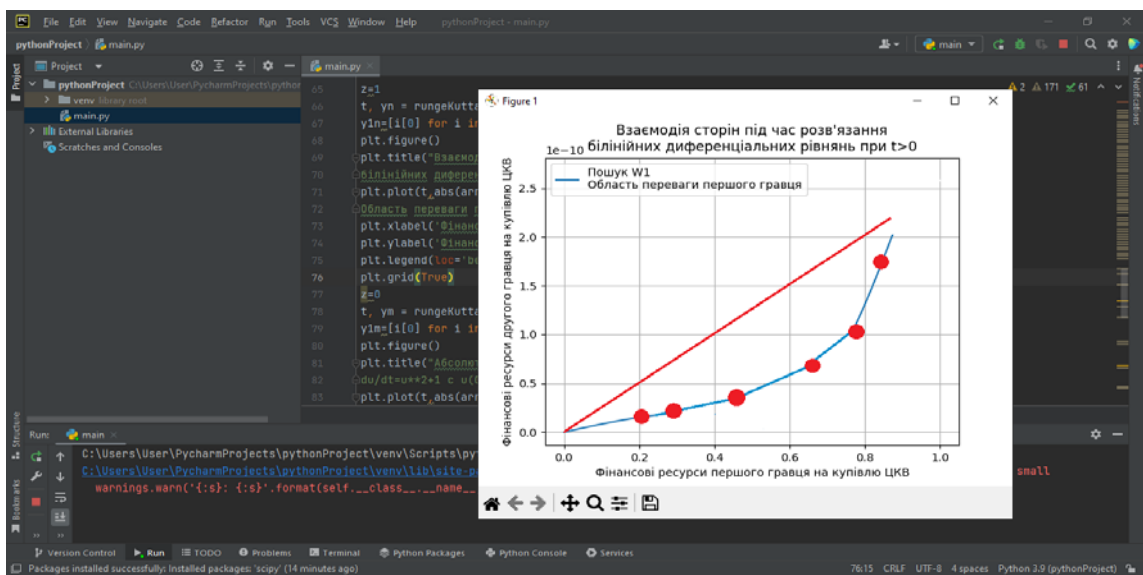


Рисунок 3.16 Приклад діяльності агента (гравця) при вирішенні завдання в середовищі IDE PyCharm з управління процедурою купівлі-продажу ЦКВ у нечіткій постановці

Джерело: побудовано автором у середовищі IDE PyCharm (знімок з екрану)

Фрагмент навчальної вибірки для ШНМ

(на основі даних статистики з торгів та даних обчислювальних експериментів 1-2, див. рис. 2.5-2.7 та обчислювальних експериментів 1, 2, див. рис. 3.8 і 3.9)

Дата	Значення Bitcoin	Значення Litecoin	Значення ethereum-eth_usd	Значення вихід (Значення оптимально ї стратегії інвесторів гравець 1)	Значення вихід (Значення оптимально ї стратегії інвесторів гравець 2)	ФР гравців ринку цифрових активів не обмежені	На ФР гравець на ринку цифрових активів накладені обмежені
16.09.2022	19 758,25	55,73	1 460,96	10	26	$(x(0), y(0))=(10.0, 13.2); (x(1), y(1))=(12.0, 11.36); (x(2), y(2))=(14.0, 10.36); (x(3), y(3))=(16.0, 8.4); (x(4), y(4)) = (18.0, 6.4).$	$(x(0), y(0)) = (7.0, 13.0); (x(1), y(1))=(8.0, 11.0); (x(2), y(2)) = (9.0, 10.0); (x(3), y(3)) = (10.0, 8.0); (x(4), y(4)) = (11.0, 6.0).$
15.09.2022	19 798,84	56,92	1 497,71	9	29	$(x(0), y(0))=(5.0, 10.0); (x(1), y(1))=(4.0, 12.0); (x(2), y(2))=(3.0, 13.0); (x(3), y(3))=(2.0, 15.0); (x(4), y(4))=(1.0, 17.0).$	$(x(0), y(0))=(5.0, 10.0); (x(1), y(1))=(4.0, 11.0); (x(2), y(2))=(3.0, 12.0); (x(3), y(3))=(2.0, 14.0); (x(4), y(4))=(1.0, 15.0).$
14.09.2022	19 964,12	59,64	1 597,84	9	39	$(x(0), y(0))=(5.0, 20.0); (x(1), y(1))=(4.0, 16.0); (x(2), y(2))=(3.0, 12.0); (x(3), y(3)) = (2.0, 8.0); (x(4), y(4)) = (1.0, 4.0).$	$(x(0), y(0)) = (5.0, 15.0); (x(1), y(1)) = (4.0, 12.0); (x(2), y(2))=(3.0, 9.0); (x(3), y(3))=(2.0, 6.0); (x(4), y(4)) = (1.0, 3.0).$
13.09.2022	20 340,42	59,75	1 616,41	8,5	38,5	$(x(0), y(0))=(11.0, 12.2); (x(1), y(1))=(12.0, 11.36); (x(2), y(2))=(14.0, 10.36); (x(3), y(3))=(16.0, 8.4); (x(4), y(4)) = (18.0, 6.4).$	$(x(0), y(0)) = (7.0, 13.0); (x(1), y(1))=(8.0, 11.0); (x(2), y(2)) = (9.0, 10.0); (x(3), y(3)) = (10.0, 8.0); (x(4), y(4)) = (11.0, 6.0).$

Джерело: побудовано автором

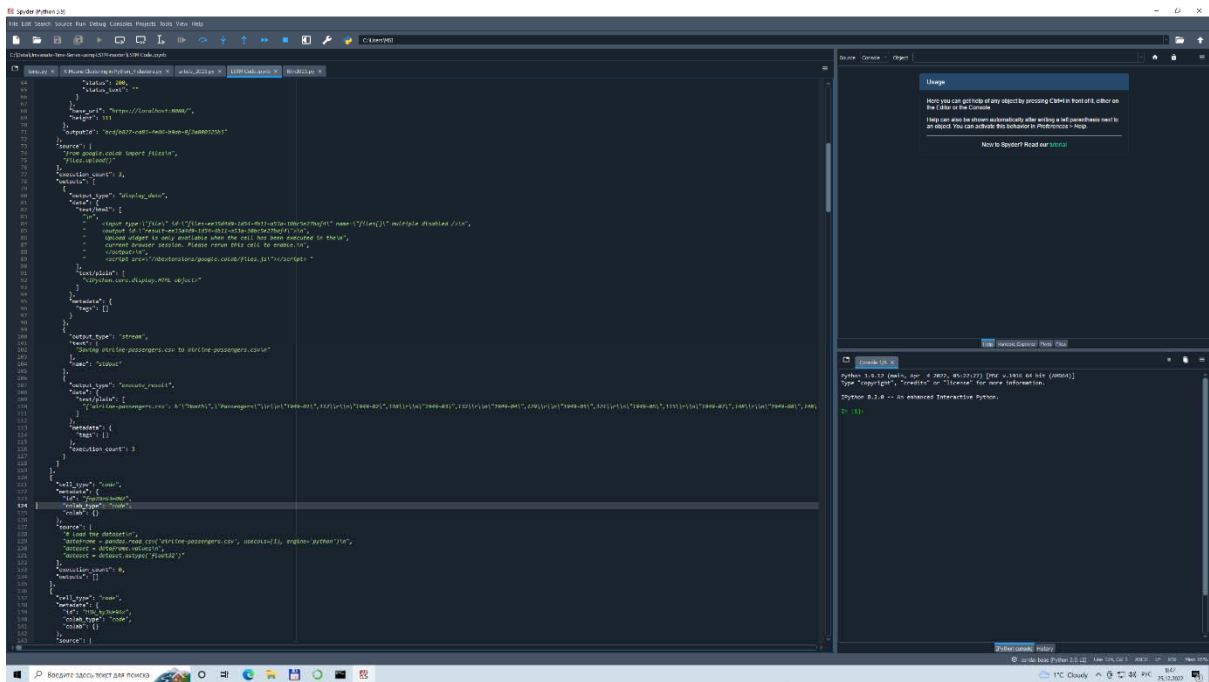


Рисунок 3.17 Приклад діяльності агента (гравця) при вирішенні завдання в середовищі IDE Spyder5Elite 5.2 з управління процедурою купівлі-продажу ЦКВ у нечіткій постановці

Джерело: побудовано автором у середовищі IDE Spyder5Elite 5.2 (знімок з екрану)

Питання передобробки даних докладно не розкривається [119]. Оскільки для проєктованої нами ШНМ всі дані, як неважко переконається, представлені у числовому форматі, див. таблицю 3.7. У результаті формуємо векторний простір ознак. У цьому векторному просторі і будуть зібрані приклади для навчальної вибірки, що формується нами. Власне, у нашій задачі підготовки даних для навчальної вибірки передобробка даних фактично зводиться до приведення всіх даних до числової форми. Враховуючи раніше сформульовані цілі дослідження, у нас немає необхідності розглядати категорійні, булеві та інші не числові типи даних. Єдину відносну складність може бути процедура нормалізації даних. При нормалізації ми намагаємось досягти того, щоб середні значення за кожною їх ознакою, наприклад, по ФР гравців, було таким, що дисперсія буде одиничною. Підвищувати чи знижувати розмірність векторного простору

ознак також немає особливої потреби. Статистика з торгів ЦКВ знаходиться у практично відкритому доступі. А регламентувати кількість обчислювальних експериментів також немає змилу. Їх число визначається лише здоровим глуздом під час підготовки даних для навчальної вибірки. У нашій вибірці загальна чисельність таких обчислювальних експериментів варіювалася від 1500 до 2000.

Далі поставимо параметри навчання нашої НМ, див. таблицю, 3.8.

Таблиця 3.8

Параметри навчання НМ

№	Параметр	Значення
1	Максимальна кількість циклів навчання	400
2	Граничне значення критерія навчання НМ	$1e-3$
3	Швидкість навчання НМ	0.1
4	Інтервал виведення інформації	2
5	Параметр збурення	1

Джерело: побудовано автором

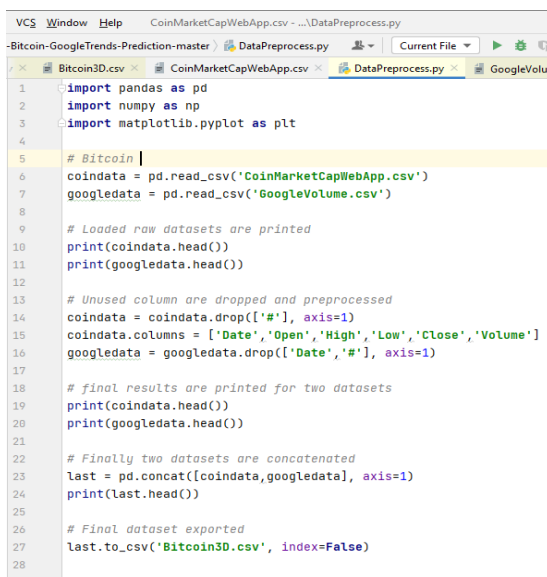
Як було раніше показано в першому розділі дисертаційного дослідження, абсолютно більша кількість рішень у задачі прогнозування курсів і трендів на біржових майданчиках, що займаються операціями з ЦКВ, побудовані на застосуванні математичного апарату регресійного аналізу часових рядів. Такий підхід виправдав загалом, проте не дає конкретним гравцям можливостей для реалізації своїх стратегій на ринку цифрових активів. Регресійний аналіз наявних даних по тимчасових рядах з кількома виходами може прогнозувати відразу кілька кроків тимчасового ряду, проте марний для прогнозування того, чим може завершитися для конкретного гравця його спроби інвестувати в ЦКВ при наявних фінансових ресурсах і різних стратегіях інших гравців на ринку. Саме з метою нівелювати цей недолік класичних підходів на аналізі тимчасових рядів чи

інших статистичних даних до навчального набору та включені дані за результатами ігрового моделювання. З урахуванням окремого модуля, що реалізує пропонувані в роботі ігрові моделі, кількість нейронів в останньому вихідному шарі визначатиме результативність прогнозування як вартості ЦКВ або пар, так і раціональність обраних гравцем стратегій. При складанні архітектури мережі використовують спеціальні бібліотеки алгоритмічної мови Python. Наприклад, була задіяна відкрита нейромережева бібліотека Keras.

Архітектура мережі була показана раніше у другому розділі роботи, див. 2.10.

На першому кроці роботи нашої ШНМ необхідно завантажити дані. З цією метою служить бібліотека Pandas DataReader.

Приклад фрагмента коду для завантаження даних показано нижче на рисунку 3.18.



```
VCS Window Help CoinMarketCapWebApp.csv - ...DataPreprocess.py
-Bitcoin-GoogleTrends-Prediction-master > DataPreprocess.py
Bitcoin3D.csv CoinMarketCapWebApp.csv DataPreprocess.py GoogleVolu
1 import pandas as pd
2 import numpy as np
3 import matplotlib.pyplot as plt
4
5 # Bitcoin |
6 coindata = pd.read_csv('CoinMarketCapWebApp.csv')
7 googledata = pd.read_csv('GoogleVolume.csv')
8
9 # Loaded raw datasets are printed
10 print(coindata.head())
11 print(googledata.head())
12
13 # Unused column are dropped and preprocessed
14 coindata = coindata.drop(['#'], axis=1)
15 coindata.columns = ['Date', 'Open', 'High', 'Low', 'Close', 'Volume']
16 googledata = googledata.drop(['Date', '#'], axis=1)
17
18 # final results are printed for two datasets
19 print(coindata.head())
20 print(googledata.head())
21
22 # Finally two datasets are concatenated
23 last = pd.concat([coindata, googledata], axis=1)
24 print(last.head())
25
26 # Final dataset exported
27 last.to_csv('Bitcoin3D.csv', index=False)
28
```

Рисунок 3.18 Приклад фрагмента коду в PyCharm IDE для завантаження даних з навчальної вибірки у форматі .csv

Джерело: побудовано автором у середовищі IDE PyCharm (знімок з екрану)

На другому кроці роботи з нашою ШНМ можна вивчити наявний набір даних:

Так одразу після завантаження, у нижній частині вікна IDE PyCharm ми можемо ці дані та рекомендований графік на підставі наявного часового ряду, а також на підставі даних, отриманих під час реалізації ігрових моделей, описаних вище. див. рис. 3.19. Лінійні графіки виглядають так, як і очікувалося, і відображають історію цін ЦКВ. Оскільки можна отримувати подібні дані фактично щодня, дані будуть виглядати по-різному, залежно від того, коли ви запускаєте код.

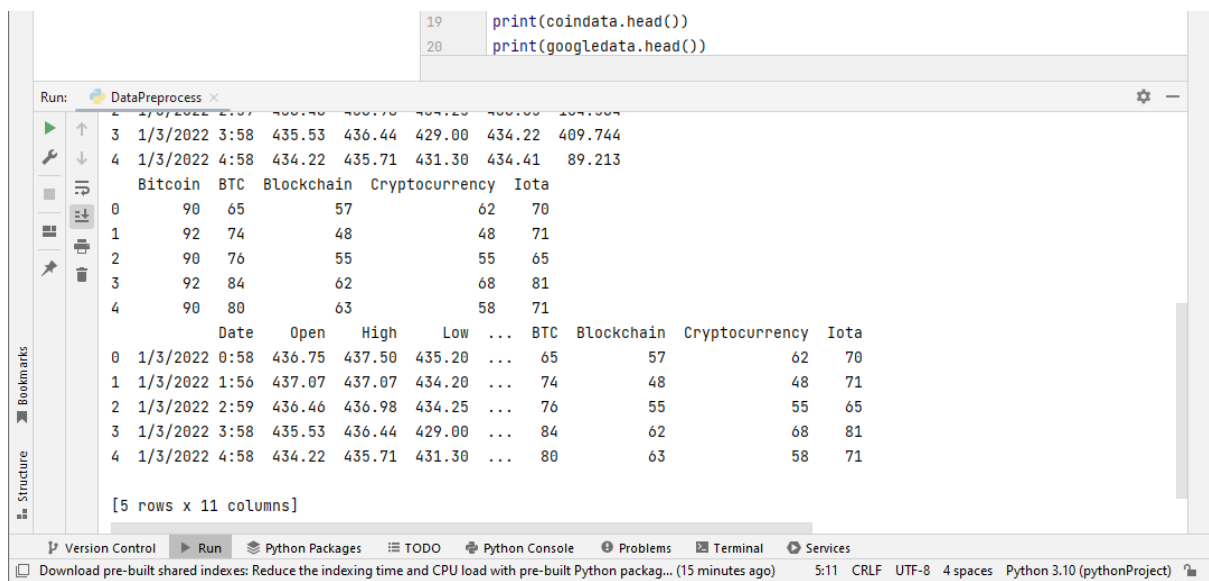


Рисунок 3.19 Приклад фрагмента із завантаженими даними, що використовуються для навчання ШНМ

Джерело: побудовано автором у середовищі IDE PyCharm (знімок з екрану)

Далі практично всі наступні процедури під час роботи з ШНМ є стандартними, тож докладно не розглядаються. Звернемо увагу, що в порівнянні з первісним варіантом ШНМ типу LSTM, яка була взята за основу, в нашій мережі додатково реалізовано модуль Geme. Цей модуль дозволяє підключати дані, отримані на основі ігрових моделей, представлених у другому розділі роботи, а також у підрозділі 3.2 цього розділу. На рисунку 3.20 показані результати роботи нашої покращеної ШНМ. Мережа не тільки дозволяє отримувати прогнозні оцінки про

вартість ЦКВ на основі аналізу статистики, за ключовими словами в Google Trend, та даними торгів на біржах ЦКВ, з використанням алгоритму LSTM, але й доповнена навчальними наборами (додані відповідні стовпці у файли навчальних вибірок) на підставі представлених у роботі моделей.

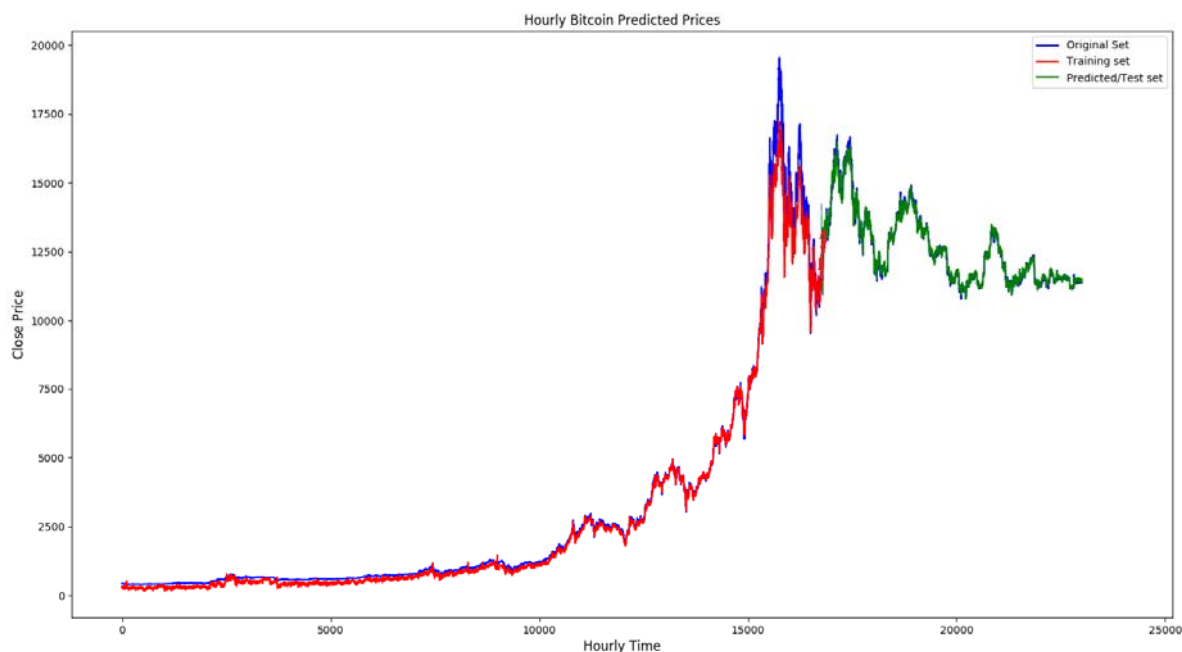


Рисунок 3.20 Результати прогнозування вартості ЦКВ (біткоїн BTC) при використанні модифікованої ШНМ LSTM

Джерело: побудовано автором у середовищі IDE PyChart (знімок з екрану)

Як можна побачити на рисунку 3.21 якість отриманих прогнозів про вартість пари Біткоїн/UAH на грудень 2022 року цілком прийнятна. Загалом на 92-97% 5 отримані прогнозні оцінки збігалися з даними, отриманими на кінець грудня 2022 року, на реальних торгових майданчиках пари Біткоїн/UAH, див. рис. 3.22.

Отже, модифікований алгоритм LSTM передбачав ціни закриття ЦКВ із прийнятною точністю, покращуючи своє навчання у кожен епоху.

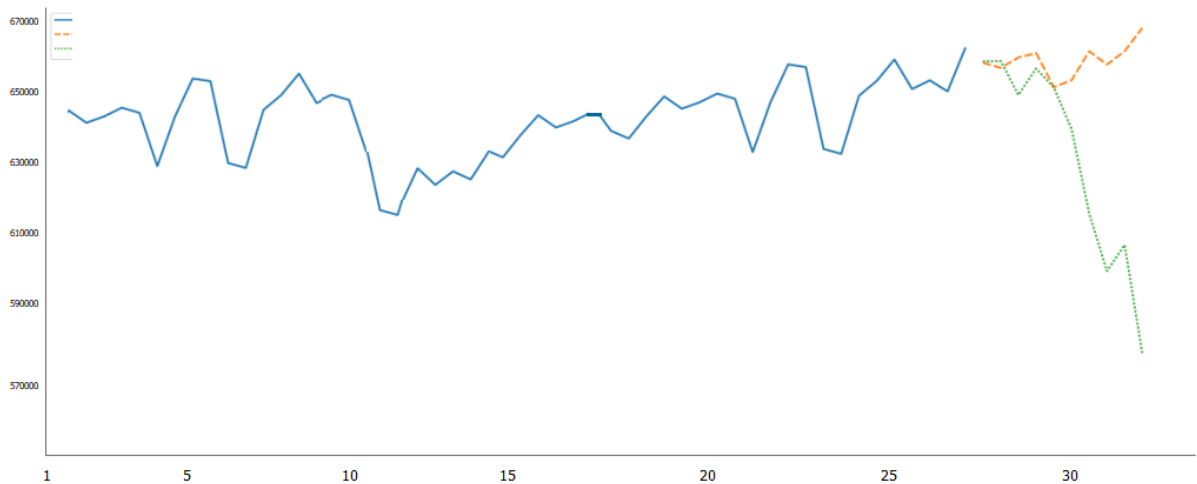


Рисунок 3.21 Результати прогнозування вартості Біткойн/UAH у грудні 2022 року при використанні модифікованої ШНМ LSTM

Джерело: побудовано автором у середовищі IDE PyChart (знімок з екрану)



Рисунок 3.22. Результати реальних торгів пари Біткойн/UAH на кінець грудня 2022 року

Джерело: побудовано автором у середовищі Google Finance (знімок з екрану)

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

Таким чином у третьому розділі отримано такі основні результати:

- спроектовано за допомогою CASE-технології ERwin контекстна модель багатоконтурної інформаційної системи управління цифровими активами з інтелектуальною підтримкою. Здійснені декомпозиції моделі в нотаціях IDEF0 та IDEF3 надають комплексний огляд системи, як в її загальному вигляді, так і у формі простих проєкцій контурів, що детально описані. Важливо відзначити, що кожен передній етап декомпозиції безпосередньо впливає на всі наступні рівні декомпозиції та на процес прийняття рішень. Це сприяє глибшому розумінню структури системи та забезпечує зручну основу для аналізу та оптимізації її функціональних компонентів;
- розроблено та описано стратегію управління багатоконтурною інформаційною системою управління цифровими активами з інтелектуальною підтримкою як комплекс алгоритмів та методики, які застосовуються для аналізу інформації про різні аспекти торгівлі цифровими активами для подальшого прогнозування коливання курсів цифрових активів та формування рекомендацій з управління цифровими активами;
- розглянуто ігрову модель торгової сесії на ринку цифрових активів з нечіткою інформацією. Показано, що керованість процесу на торговій сесії може бути описана з погляду ігрового підходу на основі розв'язання системи дискретних рівнянь. Такий підхід не відкидає реалізацій гри з боку загального колективного контрагента. Пропонований у роботі підхід, дозволив розглянути випадки, що призводять до нестабільності відносин фінансових ресурсів гравців, наприклад, ЦКВ1 до ЦКВ2, і навпаки;

- показано, що наукова новизна запропонованої в цьому розділі моделі полягає в тому, що вона відрізняється від існуючих підходів рішенням білінійної багатокрокової гри якості з кількома термінальними поверхнями з нечіткою інформацією. Знайдено рішення нової білінійної багатокрокової гри якості з залежними рухами. Знайдене рішення було використано при програмній реалізації фінальної версії нейронної мережі, яка використовується для аналізу трендів на торгових майданчиках цифрових активів;
- показано, що наведені в роботі результати будуть корисними для запобігання ситуацій курсової нестабільності на ринку інвестицій у цифрові активи в умовах нечіткої інформації, що, як правило, має місце на практиці. Відповідно, запропонована у цьому розділі модель може бути корисна у завданнях прогнозування ситуації на торгових майданчиках, торгуючих цифровими активами;
- показано, що отримані результати можуть дати рекомендації гравцям щодо вибору керівних впливів для підтримки курсової стабільності на ринку інвестування в цифрові активи на рівні великих банківських гравців;
- набула подальшого розвитку нейронна мережа LSTM-Bitcoin-GoogleTrends-Prediction. На відміну від існуючого рішення у дисертаційній роботі для навчання мережі LSTM (Long Short-Term Network) використовувалась розширена вибірка. Ця навчальна вибірка була доповнена результатами, отриманими в ході вирішення ігрових моделей на основі багатокрокових білінійних ігор якості з декількома термінальними поверхнями. Це розширює підхід, описаний у попередньому розділі роботи. Тобто для навчання нейронної мережі застосовується комбінований метод оцінки ризиків втрати фінансових ресурсів

гравцями та прогнозування курсів цифрових активів на основі застосування теорії ігор, нечіткої логіки. Крім того використовується модель прогнозної оцінки успішності процедури інвестування в цифрові активи, дозволяють оптимізувати процеси прийняття рішень щодо оцінки ринку цифрових активів.

Основні результати розділу висвітлені у науково-дослідній роботі НДР № 0122U001549 «Моделювання інтелектуальних систем управління діяльністю підприємств», (довідка від 05.06.2020 №1148/56)

Основні результати розділу опубліковані в наукових працях автора:

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

[1], [3], [4], [6], [7].

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

[8], [10], [12], [13].

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

[14], [15], [16].

ВИСНОВКИ

Таким чином в процесі дисертаційного дослідження отримано наступні результати та зроблено такі висновки.

1) Здійснено аналіз методів, моделей та інформаційних технологій, які застосовуються для оцінки ризиків та прогнозування курсів цифрових активів. Показано, що інтерес до цього ринку останнім часом стрімко зростає. Наразі багато держав та їхні фінансові організації, наприклад, банки, кредитні та страхові компанії мають у своїх фондах цифрові активи. Одним з найбільш перспективних напрямів моделювання процесів управління цифровими активами є використання нейронних мереж.

Проаналізовано переваги та недоліки основних моделей нейронних мереж, що використовуються для передбачення дохідності за операціями з цифровими активами. Зроблено порівняння моделей нейронних мереж, навчених на різних наборах даних, що базуються на технічних індикаторах, фундаментальних та макроекономічних показниках.

2) Визначено сутність поняття «контур» в розрізі інформаційних систем та описані контури системи в рамках задачі управління цифровими активами.

Проведено аналіз підходів до визначення поняття багатоконтурних інформаційних систем управління цифровими активами та запропоновано авторський підхід до визначення поняття «багатоконтурної інформаційної системи управління цифровими активами» як сукупність контурів для збору та зберігання, обробки та відображення інформації для управління нематеріальним благом, яке є об'єктом цивільних прав, має вартість та виражене системою даних в електронній формі.

3) Розроблено математичний інструментарій вирішення задачі щодо пошуку оптимальних стратегій інвестування в цифрові активи або набір цифрових активів з боку інвестора. Рішення знайдено на основі застосування теорії ігор, теорії нечітких множин та комп'ютерних систем імітаційного моделювання. Розроблена математична модель, що дозволяє

отримати алгоритм прогнозування успішності процедури інвестування в цифрові активи або набір цифрових активів з боку інвестора, який може бути реалізований в одному з модулів інтелектуальної інформаційної системи прогнозування курсів цифрових активів.

4) Доведено, що розв'язання задачі щодо пошуку оптимальних стратегій інвестування в цифрові активи з боку інвестора може бути отримане на основі інтелектуального підходу шляхом комплексного застосування теорії ігор, теорії нечітких множин та комп'ютерних систем імітаційного моделювання.

Розроблено комбінований метод оцінки ризиків та прогнозування курсів цифрових активів на основі застосування теорії ігор, нечіткої логіки та нейронних мереж. В основі зазначеного методу лежить алгоритм прогнозування успішності процедури інвестування в цифрові активи, який дозволяє оптимізувати процеси прийняття рішень на ринку цифрових активів. Алгоритм прогнозування успішності процедури інвестування може бути реалізований в одному з модулів інтелектуальної інформаційної системи прогнозування курсів цифрових активів.

Для навчання нейронної мережі LSTM (Long Short-Term Network) використано розширену навчальну вибірку, яка була доповнена результатами, отриманими в ході вирішення ігрових моделей на основі багатокрокових білінійних ігор якості з декількома термінальними поверхнями. Для навчання нейронної мережі застосовується комбінований метод оцінки ризиків втрати фінансових ресурсів гравцями та прогнозування курсів цифрових активів на основі інтелектуального підходу шляхом комплексного застосування теорії ігор, нечіткої логіки та апарату нейронних мереж.

5) За допомогою CASE-технології ERWin спроектовано та реалізовано контекстну модель багатоконтурної інформаційної системи управління цифровими активами з інтелектуальною підтримкою. Декомпозиції моделі в нотаціях IDEF0 та IDEF3 надають комплексне

представлення системи як в її загальному вигляді, так і у формі простих проєкцій контурів, що детально описані.

Розроблено стратегію управління багатоконтурною інформаційною системою керування цифровими активами з інтелектуальною підтримкою, як комплекс алгоритмів та методики, які застосовуються для аналізу інформації про різні аспекти торгівлі цифровими активами для подальшого прогнозування коливання курсів цифрових активів та формування рекомендацій з управління цифровими активами.

б) Побудовано модель торгової сесії на ринку цифрових активів з нечіткою інформацією про фінансові ресурси гравців у формі білінійної багатокрокової гри якості з кількома нечіткими термінальними поверхнями. Розроблена модель торгової сесії є основою для програмної реалізації нейронної мережі, яка дозволяє в умовах нечіткої інформації аналізувати тренди на торгових майданчиках цифрових активів та запобігти ситуаціям курсової нестабільності на ринку інвестицій.

Основні результати розділу висвітлені у науково-дослідній роботі НДР № 0122U001549 «Моделювання інтелектуальних систем управління діяльністю підприємств», (довідка від 29.08.2023 №1454/24)

Основні результати розділу опубліковані в наукових працях автора:

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

[1], [2], [3], [4], [6], [7], [8], [9], [10], [11].

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

[13], [14], [15], [16], [18], [20], [23].

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

[27], [31], [32].

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Примостка, О. О. “Проблеми та перспективи інституційного регулювання ринку криптовалют.” Економіка. Фінанси. Менеджмент: актуальні питання науки і практики 5 (2016): 69-79.
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. Alyona, V. (2021). Development of cryptocurrencies in the modern system of money circulation розвиток криптовалют в сучасній системі грошового обігу. Економічні студії, 16.
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-Іляш, 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, Вип. 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. L. Suárez-Cetrulo, A. Cervantes, and D. Quintana, “Convolution on neural networks for high-frequency trend prediction of cryptocurrency exchange rates using technical indicators,” *Expert Systems with Applications*, vol. 149, p. 113250, 2020.

13. W. Huang, K. K. Lai, Y. Nakamori, S. Wang, and L. Yu, “Neural networks in finance and economics forecasting,” *International Journal of Information Technology & Decision Making*, vol. 06, no. 01, pp. 113–140, 2007.

14. C. J. Neely, D. E. Rapach, J. Tu, and G. Zhou, “Forecasting the Equity Risk Premium: The Role of Technical Indicators,” *Management Science*, vol. 60, pp. 1772–1791, July 2014.

15. T. Zoumpiskas, E. Houstis, and M. Vavalis, “Eth analysis and predictions utilizing deep learning,” *Expert Systems with Applications*, vol. 162, p. 113866, 2020.

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.

19. Bunjaku, F., Gjorgieva-Trajkovska, O., & Miteva-Kacarski, E. (2017). Cryptocurrencies—advantages and disadvantages. *Journal of Economics*, 2(1), 31-39.

20. Sapovadia, V. (2015). Legal issues in cryptocurrency. In Handbook of Digital Currency (pp. 253-266). Academic Press.
21. Haynes, A., & Yeoh, P. (2020). Cryptocurrencies and Cryptoassets: Regulatory and Legal Issues. Taylor & Francis.
22. Lansky, J. (2018). Possible state approaches to cryptocurrencies. *Journal of Systems integration*, 9(1), 19.
23. Busse, K., Tahaei, M., Krombholz, K., von Zezschwitz, E., Smith, M., Tian, J., & Xu, W. (2020, September). Cash, Cards or Cryptocurrencies? A Study of Payment Culture in Four Countries. In 2020 IEEE European Symposium on Security and Privacy Workshops (EuroS&PW) (pp. 200-209). IEEE.
24. Navamani, T. M. (2021). A review on cryptocurrencies security. *Journal of Applied Security Research*, 1-21.
25. Zhang, Y., Gai, K., Qiu, M., & Ding, K. (2020, October). Understanding privacy-preserving techniques in digital cryptocurrencies. In International Conference on Algorithms and Architectures for Parallel Processing (pp. 3-18). Springer, Cham.
26. Tredinnick, L. (2019). Cryptocurrencies and the blockchain. *Business Information Review*, 36(1), 39-44.
27. Morisse, M. (2015). Cryptocurrencies and bitcoin: Charting the research landscape.
28. Bucko, J. O. Z. E. F., Palová, D., & Vejcka, M. (2015, September). 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.
30. Z. Liu et al., "A Survey on Blockchain: A Game Theoretical Perspective," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 47615-47643, 2019, 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.

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.

34. Naimy, V. Y., & Hayek, M. R. (2018). Modelling and predicting the Bitcoin volatility using GARCH models. *Int. J. Math. Model. Numer. Optimisation*, 8(3), 197-215.

35. Chen, W., Xu, H., Jia, L., & Gao, Y. (2021). Machine learning model for Bitcoin exchange rate prediction using economic and technology determinants. *International Journal of Forecasting*, 37(1), 28-43.

36. Мокін, В. Б., Жуков, С. О., Куперштейн, Л. М., & Слободянюк, О. В. (2022). Інформаційна технологія прогнозування курсу криптовалют на основі комплексної інженерії ознак. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, (2), 81-93.

37. Резнікова, Т. О., & Пестун, А. П. (2019). Інноваційні міжнародні системи фінансових розрахунків–криптовалюти. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія: Міжнародні економічні відносини та світове господарство*, (24 (3)), 67-72.

38. Пилипченко, О. І., Кузьмінський, В. З., & Чумаченко, О. Г. (2021). Використання методів технічного аналізу для прогнозування ринку криптовалют. *Вчені записки Університету «КРОК»*, (4 (64)), 28-35.

39. Катуніна, О. С. (2021). Застосування динамічного факторного аналізу для моделювання ринку віртуальних активів України. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія «Економіка»*, (1 (57)), 18-29.

40. Бондаренко, Борис, and Олена Качко. “Методи та Алгоритми для Прогнозування Цін Електронних Валют.” «Інформаційні системи та технології» ICT-2018 (2018): 281.

41. Charandabi, S. E., & Kamyar, K. (2021). Prediction of cryptocurrency price index using artificial neural networks: a survey of the literature. *European Journal of Business and Management Research*, 6(6), 17-20.

42. Chowdhury, R., Rahman, M. A., Rahman, M. S., & Mahdy, M. R. C. (2020). An approach to predict and forecast the price of constituents and index of cryptocurrency using machine learning. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 551, 124569.

43. Abraham, M. (2020). Studying the patterns and long-run dynamics in cryptocurrency prices. *Journal of Corporate Accounting & Finance*, 31(3), 98-113.

44. 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.

45. 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.

46. 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.

47. Sebastião, H., & Godinho, P. (2021). Forecasting and trading cryptocurrencies with machine learning under changing market conditions. *Financial Innovation*, 7(1), 1-30.

48. 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.

49. 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.

50. Mannaro, K., Pinna, A., & Marchesi, M. (2017, September). Crypto-trading: Blockchain-oriented energy market. In *2017 AEIT International Annual Conference* (pp. 1-5). IEEE..

51. 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), 1-59.

52. Kartbayev, T., Lakhno, V., Malyukov, V., Turgynbayeva, A., Alimseitova, Z.H., Malikova, F., Kashaganova, G. Model for the decision support system during the procedure of investment projects assessment in the field of enterprise digitalization considering multifactoriality (2022) *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 100 (7), pp. 1684-1692.

53. Karuna, Sharlaty. (2022). Assessing the effectiveness of Chaos Theory over Game Theory in forecasting the stock market.

54. Akhmetov, B., Lakhno, V., Malyukov, V., Akhmetov, B., Yagaliyeva, B., Lakhno, M., Gulmira, Y. A Model for Managing the Procedure of Continuous Mutual Financial Investment in Cybersecurity for the Case with Fuzzy Information (2022) *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 93, pp. 539-553.

55. Lakhno, V., Kartbayev, T., Malyukov, V., Uskenbayeva, R., Togzhanova, K., Alimseitova, Z.H., Beketova, G., Turgynbayeva, A. Risk assessment of investment losses aimed at the development of smart city systems (2021) *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 99 (15), pp. 3683-3692.

56. Lakhno, V., Malyukov, V., Kasatkin, D., Blozva, A., Zhyrova, T., Kotenko, N., Kotova, M. Model for Supporting Decisions of Investors, Taking into Consideration Multifactoriality and Turnover (2021) *Communications in Computer and Information Science*, 1388 CCIS, pp. 525-535.

57. Lakhno, V., Malyukov, V., Roskladka A., Rzaieva S., Gamaliy V., Kraskevich, V., Kasatkina, O. Computer support system for choosing the optimal managing strategy by the mutual investment procedure in smart city (2021) *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1194 AISC, pp. 278-287.

58. Lakhno, V., Malyukov, V., Mazur, N., Kuzmenko, L., Akhmetov, B., Hrebenuik, V. Development of a model for decision support systems to control the process of investing in information technologies (2020) *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (3), pp. 74-81.

59. Lakhno, V., Malyukov, V., Kryvoruchko, O., Desiatko, A., Shestak, Y. Smart City Technology Investment Solution Support System Accounting Multi-factories (2020) *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1294, pp. 1-11.

60. Lakhno, V., Malyukov, V., Kasatkin, D., Vlasova, G., Kravchuk, P., Kosenko, S. Model for Choosing Rational Investment Strategies, with the Partner's Resource Data Being Uncertain (2020) *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1295, pp. 332-341.

61. Lakhno, V., Malyukov, V., Akhmetov, B., Gerasymchuk, N., Mohylnyi, H., Kravchuk, P. Decision Support Model for Assessing Projects by a Group of Investors with Regards of Multi-factors (2020) *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1225 AISC, pp. 1-10.

62. Lakhno, V.A., Malikov, V.G., Kasatkin, D.Y., Blozva, A.I., Saiko, V.G., Domrachev, V.N. Computer-Based Support for Searching Rational Strategies for Investors in Case of Insufficient Information on the Condition of the Counterparty (2020) *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1225 AISC, pp. 120-130.

63. Valeriy, L., Volodymyr, M., Olena, K., Mykola, T., Alyona, D., Tetyana, M. Model of Evaluating Smart City Projects by Groups of Investors Using a Multifactorial Approach (2020) *Communications in Computer and Information Science*, 1193 CCIS, pp. 13-26.

64. Lakhno, V., Matus, Y., Malyukov, V., Desyatko, A., Hnatchenko, T. Smart City Cybersecurity Projects Financing Model in Case of Description of

Investors' Resources with Fuzzy Sets (2019) 2019 IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory, ATIT 2019 - Proceedings, статья № 9030499, pp. 249-252.

65. Akhmetov, B.S., Akhmetov, B.B., Lakhno, V.A., Malyukov, V.P. Adaptive model of mutual financial investment procedure control in cybersecurity systems of situational transport centers (2019) News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences, 3 (435).

66. Akhmetov, B., Lakhno, V., Malyukov, V., Sarsimbayeva, S., Zhumadilova, M., Kartbayev, T. Decision support system about investments in smart city in conditions of incomplete information (2019) International Journal of Civil Engineering and Technology, 10 (2), pp. 661-670.

67. Akhmetov, B., Balgabayeva, L., Lakhno, V., Malyukov, V., Alenova, R., Tashimova, A. Mobile platform for decision support system during mutual continuous investment in technology for smart city (2019) Studies in Systems, Decision and Control, 199, pp. 731-742.

68 Lakhno, V., Akhmetov, B., Malyukov, V., Kartbaev, T. Modeling of the decision-making procedure for financing of cyber security means of cloud services by the medium of a bilinear multistep quality game with several terminal surfaces (2018) International Journal of Electronics and Telecommunications, 64 (4), pp. 467-472.

69. Lakhno, V., Malyukov, V., Gerasymchuk, N., Shtuler, I. Development of the decision making support system to control a procedure of financial investment (2017) Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (3-90), pp. 35-41.

70. Ali, M., & Shatabda, S. (2020, November). A data selection methodology to train linear regression model to predict bitcoin price. In *2020 2nd International Conference on Advanced Information and Communication Technology (ICAICT)* (pp. 330-335). IEEE.

71. Bouri, E., Christou, C., & Gupta, R. (2022). Forecasting returns of major cryptocurrencies: evidence from regime-switching factor models. *Finance Research Letters*, 49, 103193.

72. Long, H., Zaremba, A., Demir, E., Szczygielski, J. J., & Vasenin, M. (2020). Seasonality in the cross-section of cryptocurrency returns. *Finance Research Letters*, 35, 101566.

73. Ibrahim, A., Kashef, R., Li, M., Valencia, E., & Huang, E. (2020). Bitcoin network mechanics: Forecasting the btc closing price using vector auto-regression models based on endogenous and exogenous feature variables. *Journal of Risk and Financial Management*, 13(9), 189.

74. Law T., Shawe-Taylor J. Practical Bayesian support vector regression for financial time series prediction and market condition change detection // *Quantitative Finance*. – 2017. – T. 17. – №. 9. – pp. 1403-1416.

75. Shintate, Takuya, and Lukáš Pichl. 2019. "Trend Prediction Classification for High Frequency Bitcoin Time Series with Deep Learning" *Journal of Risk and Financial Management* 12, no. 1: 17. <https://doi.org/10.3390/jrfm12010017>.

76. Alymova E. V., Kudryavtsev O. E. Neural networks usage for financial time series prediction. Abstracts of Talks Given at the 4th International Conference on Stochastic Methods // *Theory of Probability & Its Applications*, 2020, Vol. 65, № 1, pp. 122-123.

77. Alev Taskin Gumus, Ali Fuat Guneri, Selcan Keles, Supply chain network design using an integrated neuro-fuzzy and MILP approach: A comparative design study, *Expert Systems with Applications*, Volume 36, Issue 10, 2009, Pages 12570-12577, ISSN 0957-4174, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.05.034>.

78. Abbasi, E., & Abouec, A. (2008, December). Stock price forecast by using neuro-fuzzy inference system. In *Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology* (Vol. 36, No. December, pp. 320-323).

79. Tim Hill, Leorey Marquez, Marcus O'Connor, William Remus, Artificial neural network models for forecasting and decision making, International Journal of Forecasting, Volume 10, Issue 1, 1994, Pages 5-15, ISSN 0169-2070, [https://doi.org/10.1016/0169-2070\(94\)90045-0](https://doi.org/10.1016/0169-2070(94)90045-0).

80. Wang, Fei, Zengqiang Mi, Shi Su, and Hongshan Zhao. 2012. "Short-Term Solar Irradiance Forecasting Model Based on Artificial Neural Network Using Statistical Feature Parameters" Energies 5, no. 5: 1355-1370. <https://doi.org/10.3390/en5051355>

81. Salim Lahmiri, Stelios Bekiros, Cryptocurrency forecasting with deep learning chaotic neural networks, Chaos, Solitons & Fractals, Volume 118, 2019, Pages 35-40, ISSN 0960-0779, <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2018.11.014>.

82. P. Jay, V. Kalariya, P. Parmar, S. Tanwar, N. Kumar and M. Alazab, "Stochastic Neural Networks for Cryptocurrency Price Prediction," in IEEE Access, vol. 8, pp. 82804-82818, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2990659.

83. Закон України «Про захист інформації в інформаційно-комунікаційних системах». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/80/94-%D0%B2%D1%80#Text>

84. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Положення про інформаційну систему переліку територій, на яких ведуться (велися) бойові дії або тимчасово окупованих Російською Федерацією». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/562-2022-%D0%BF#Text>

85. Словник Britannica розділ Science&Tech. URL: <https://www.britannica.com/topic/information-system>

86. NIST Glossary. URL: https://csrc.nist.gov/glossary/term/information_system

87. NIST SP 800-66 Rev.1. URL: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-66r1.pdf>

88. NISTIR 8062. URL: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/ir/2017/NIST.IR.8062.pdf>

89. Aram, M., Neumann, G. Multilayered analysis of co-development of business information systems. *J Internet Serv Appl* 6, 13 (2015). <https://doi.org/10.1186/s13174-015-0030-8>

90. E.Burton Swanson, The information loop as a general analytic view, *Information & Management*, Volume 20, Issue 1, 1991, Pages 37-47, ISSN 0378-7206, [https://doi.org/10.1016/0378-7206\(91\)90026-X](https://doi.org/10.1016/0378-7206(91)90026-X)

91. Проект Закону України «Про віртуальні активи» від 17.02.2022. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2074-20#Text>

92. IBM/. What is Digital Asset Management. URL: [https://www.ibm.com/topics/digital-asset-management#:~:text=Digital%20asset%20management%20\(DAM\)%20is,and%20access%20their%20media%20assets](https://www.ibm.com/topics/digital-asset-management#:~:text=Digital%20asset%20management%20(DAM)%20is,and%20access%20their%20media%20assets)

93. Десятко А. М., Кочарян А. Б., Криворучко О. В. Поняття інформаційно-управляючих систем логістики підприємств торгівлі та їх особливості. Сучасний стан та перспективи розвитку економіки, менеджменту, обліку та права: зб. тез доп. Міжнар. наук.-практ. конф., Полтава, 14 серпня 2018 р. С. 62–63

94. Mwiinga, Preston. (2023). Management Information Systems (MIS). Preston Mwiinga Enterprise. Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/372599725_Management_Information_Systems_MIS

95. NAVEN JINDAL School of Management. Management Information Systems Aka MIS: A Versatile Degree in a Growing Field. URL: <https://jindal.utdallas.edu/blog/management-information-systems-mis-degree-growing-field/>

96. Simon Trimborn, Mingyang Li, Wolfgang Karl Härdle, Investing with Cryptocurrencies—a Liquidity Constrained Investment Approach, *Journal of Financial Econometrics*, Volume 18, Issue 2, Spring 2020, Pages 280–306, <https://doi.org/10.1093/jjfinec/nbz016>

97. Petukhina, A., Trimborn, S., Härdle, W. K., & Elendner, H. (2018). Investing with cryptocurrencies-evaluating the potential of portfolio allocation strategies (No. 2018-058). IRTG 1792 Discussion Paper. *Quantitative Finance*, 21(11), 1825-1853.
98. Martin Angerer, Christian Hugo Hoffmann, Florian Neitzert, Sascha Kraus, Objective and subjective risks of investing into cryptocurrencies, *Finance Research Letters*, Volume 40, 2021, 101737, ISSN 1544-6123, <https://doi.org/10.1016/j.frl.2020.101737>.
99. Maiti, M., Vukovic, D., Krakovich, V. and Pandey, M.K. (2020) 'How integrated are cryptocurrencies', *Int. J. Big Data Management*, Vol. 1, No. 1, pp.64–80. <https://doi.org/10.1504/IJBDM.2020.106874>
100. Dirk G. Baur, Thomas Dimpfl, Asymmetric volatility in cryptocurrencies, *Economics Letters*, Volume 173, 2018, Pages 148-151, ISSN 0165-1765, <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2018.10.008>.
101. Yaohao Peng, Pedro Henrique Melo Albuquerque, Jader Martins Camboim de Sá, Ana Julia Akaishi Padula, Mariana Rosa Montenegro, The best of two worlds: Forecasting high frequency volatility for cryptocurrencies and traditional currencies with Support Vector Regression, *Expert Systems with Applications*, Volume 97, 2018, Pages 177-192, ISSN 0957-4174, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.12.004>.
102. Lanouar Charfeddine, Youcef Maouchi, Are shocks on the returns and volatility of cryptocurrencies really persistent?, *Finance Research Letters*, Volume 28, 2019, Pages 423-430, ISSN 1544-6123, <https://doi.org/10.1016/j.frl.2018.06.017>.
103. Caporale, Guglielmo Maria and Zekokh, Timur, Modelling Volatility of Cryptocurrencies Using Markov-Switching GARCH Models (August 02, 2018). CESifo Working Paper Series No. 7167. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3251701>

104. Glas, T. N. (2019). Investments in cryptocurrencies: handle with care! *The Journal of Alternative Investments*, 22(1), 96-113. DOI: 10.3905/jai.2019.22.1.096

105. Bianchi, Daniele, Cryptocurrencies As an Asset Class? An Empirical Assessment (June 6, 2018). *Journal of Alternative Investments*, forthcoming. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3077685>

106. Büyükaslan, Adem & Ecer, Fatih, 2021. "Determination of drivers for investing in cryptocurrencies through a fuzzy full consistency method-Bonferroni (FUCOM-F'B) framework," *Technology in Society*, Elsevier, vol. 67(C). DOI: 10.1016/j.techsoc.2021.101745

107. Michael Dempsey, Huy Pham & Vikash Ramiah (2022) Investment in Cryptocurrencies: lessons for asset pricing and portfolio theory, *Applied Economics*, 54:10, 1137-1144, DOI: 10.1080/00036846.2021.1998321

108. Bharadwaj, S., & Deka, S. (2021, Xcember). Behavioural intention towards investment in cryptocurrency: an integration of Rogers' diffusion of innovation theory and the technology acceptance model. In *Forum Scientiae Oeconomia* (Vol. 9, No. 4, pp. 137-159). DOI: 10.23762/FSO_VOL9_NO4_7

109. Криптовалюта Helium стала стала найприбутковішою за добу. URL: <https://noworries.news/kryptovalyuta-helium-stala-najprybutkovishoyu-za-dobu/#>

110. Malyukov, V.P., Linder, N.V. A multistep game of kind between two economic systems under complete information. *Cybern Syst Anal* 30, 545–554 (1994). <https://doi.org/10.1007/BF02366564>

111. Lakhno, V., Malyukov, V., Kasatkin, D., Chubaieskyi, V., Rzaieva, S., Rzaiev, D. (2023). Continuous Investing in Advanced Fuzzy Technologies for Smart City. In: Buyya, R., Hernandez, S.M., Kovvur, R.M.R., Sarma, T.H. (eds) *Computational Intelligence and Data Analytics. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, vol 142. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-3391-2_24

112. Exchange Rate Prediction by Evrim Akgul October 18, 2020 MSDS 692 - Data Science Practicum I Instructor: Christy Pearson. URL: https://github.com/evrimakgul/Excynge_Rate_Prediction
113. Bitcoin price prediction. URL: <https://github.com/topics/bitcoin-price-prediction?l=python>
114. LSTM-Bitcoin-GoogleTrends-Prediction. URL: <https://github.com/falaybeg/LSTM-Bitcoin-GoogleTrends-Prediction>
115. Reitz, K., & Schlusser, T. (2016). The Hitchhiker's guide to Python: best practices for development. O'Reilly Media, Inc. ISBN-13 978-1491933176
116. Saabith, Sayeth & Thangarajah, Vinothraj & Fareez, MMM. (2021). A Review on Python Libraries and IDEs for Data Science. International Journal of Research in Engineering and Science (IJRES) Volume 09 Issue 11, 2021, pp. 36-53
117. Annamaa, Aivar. (2015). Introducing Thonny, a Python IDE for learning programming. In Proceedings of the 15th Koli Calling Conference on Computing Education Research (pp. 117-121). DOI: 117-121. 10.1145/2828959.2828969.
118. Офіційний сайт біржі криптовалют Kraken. URL: <https://www.kraken.com/>
119. Пістунов, І. М. Нейромережеві технології економіці та фінансах з розрахунками на комп'ютері [Електронний ресурс]: навч. посібн. / І.М. Пістунов, О.П. Антонюк ; Нац. гірн. ун-т. – Електрон. текст. дані. – Д. : НГУ, 2014. – 105 с. – URL: http://pistunovi.narod.ru/N_M.pdf
120. Офіційний сайт COINMETRICS. URL: <https://coinmetrics.io/community-network-data/>

ДОДАТКИ

Таблиця А1

Складові компоненти контекстної моделі «Багатоконтурна інформаційна система управління цифровими активами з інтелектуальною підтримкою»

Назва (Name)	Характеристика (Description)
Data preparation	<p>Процес, що включає збір, очищення, трансформацію та структурування даних для подальшого збереження, аналізу та/або моделювання, що включає такі етапи:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Збір даних: Дані збираються з API Data Source, що включають виклики до API для отримання даних про фондовий ринок, цифрові активи та ін. ○ Попередня обробка даних: Дані, отримані від API, вимагають попередньої обробки, щоб перетворити їх у формат, придатний для подальшого використання системою. ○ Виокремлення даних: На цьому етапі дані розділяються на дві частини: fundamental data (фундаментальні дані, що відображають економічні показники) та technical data (технічні дані, що включають ціни, обсяги торгів та ін). ○ Первинна індексація: Після виокремлення даних проводиться процес первинної індексації, який дозволяє швидко і ефективно виконувати подальші операції з даними. Індекс створюється на основі різних ознак, таких як час, торговельний об'єм, ціна акції тощо. ○ Формування final dataset: Після виконання всіх вищезазначених кроків, створюється «final dataset». Цей набір даних готовий до подальшого використання: аналізу або навчання моделі.
DataStorage	Сервіс, що використовується для зберігання, управління та доступу до великих обсягів даних. DataStorage є фізичним сервером бази даних, та забезпечує такі вимоги як: масштабованість, продуктивність, надійність, безпека, доступність та повний контроль над управлінням даними.
Scenario Analysis	Процес оцінки важливих показників на основі історії та припущень про можливі майбутні стани ринку цифрових активів. Застосовує нейронні мережі, теорію ігор та нечітку логіку з метою збільшення точності і деталізації для моделювання економічних ситуацій та впливу їх на ціну цифрових активів.
Reporting	Процес збирання, обробки та відображення інформації, отриманої в результаті аналізу. Важливо зазначити, що ефективний процес Reporting вимагає належного управління даними, включаючи зберігання, очищення, трансформацію та індексацію, а також здатність інтерпретувати отримані дані та використовувати їх для прийняття обґрунтованих рішень.

Характеристика стрілок до діаграми «Багатоконтурна інформаційна система управління цифровими активами з інтелектуальною підтримкою»

Назва (Name)		Характеристика (Description)	Тип (Type)	Складові моделі (Components)
API DataSource		Інструмент, що дозволяє отримувати доступ до даних з джерел через API (Application Programming Interface) інтерфейси, що надає інформацію про різні аспекти торгівлі цифровими активами, включати дані про поточні ціни, історичні ціни, обсяги торгів, волатильність, та інші ключові метрики.	Input	Data preparation
Нормативно-правова база	Проект Закону України «Про віртуальні активи» (від 17.02.2022)	Цей Закон регулює правовідносини, що виникають у зв'язку з оборотом віртуальних активів в Україні, визначає права та обов'язки учасників ринку віртуальних активів, засади державної політики у сфері обороту віртуальних активів [91].	Control	Reporting
	Закон України «Про інформацію»	Цей Закон регулює відносини щодо створення, збирання, одержання, зберігання, використання, поширення, охорони, захисту інформації [92].	Control	Data preparation
Стратегія управління багатоконтурною системою	Алгоритм підготовки даних для навчання нейронної мережі	Комплекс правил та рекомендацій до процесу обробки та трансформації вихідних даних таким чином, щоб їх можна було використовувати для навчання нейронної мережі.	Control	Data preparation
	Алгоритм кластеризації індексування	Комплекс програмних алгоритмів що використовуються для групування схожих елементів або точок даних у кластери за допомогою різних методів індексування, з метою покращення швидкості та ефективності пошуку та отримання даних.	Control	DataStorage
	Методика створення прогнозів	Ряд процедур, за допомогою яких стає можливим прогнозування майбутніх подій на основі наявних статистичних даних та математичних моделей для створення прогнозів на основі історичних даних та трендів.	Control	Scenario Analysis
	Алгоритм створення звітності	Процедура аналізу, обробки, агрегації та трансформації даних, отриманих в результаті роботи системи створення прогнозів.	Control	Reporting
Ресурси	Технічні ресурси	CPU - Intel(R) Core i9-9900K	Mechanism	Data preparation
		GPU - GeForce RTX 3050	Mechanism	DataStorage
		RAM - 2x8Gb Corsair RGB Pro DDR4 3200Mhz	Mechanism	Scenario Analysis
		Storage - Samsung 860 EVO 500Gb Motherboard - Asus ROG Strix Z390-E	Mechanism	Reporting
	Програмні ресурси	Golang	Mechanism	Data preparation
		Python, PostgreSQL	Mechanism	DataStorage
			Mechanism	Scenario Analysis

		Golang	Mechanism	Reporting
	Human resources	Кінцевий користувач багатоконтурної системи управління цифровими активами з інтелектуальною підтримкою.	Mechanism	Reporting
Final DataSet		Опис фінального набору даних що зберігається в DataStorage та містить в собі: тренувальний, тестовий та валідаційний набір даних.	Output	Data preparation
			Input	DataStorage
Normalized DataSet		Опис отриманого з DataStorage набору даних у відсортованому вигляді, з метою подальшого навчання нейронної мережі та/або моделювання та аналізу.	Output	DataStorage
			Input	Scenario Analysis
Forecast Data		Опис результату аналізу можливих сценаріїв управління цифровими активами. Важливо зазначити, що подібний опис не є у структурованому та зрозумілому людині вигляді.	Output	Scenario Analysis
			Input	Reporting
Human Readable Forecast Report		Опис результату аналізу можливих сценаріїв управління цифровими активами приведений до формату звіту, а отже набувший структурованого та зрозумілого людині вигляду.	Output	Reporting
Forecast Data Storage		Результат аналізу сценаріїв управління цифровими активами для збереження в DataStorage.	Output	Reporting
			Input	DataStorage
Report Storage		Звіти з рекомендаціями щодо управління цифровими активами для збереження в DataStorage.	Output	Scenario Analysis
			Input	DataStorage

Довідка про впровадження в освітній процес ДТЕУ окремих положень, висновків та пропозицій, що містяться в дисертаційному дослідженні



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ТОРГОВЕЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

вул. Кіото, 19, м. Київ, 02156, тел. +380 (44) 531 47 41, e-mail: knute@knute.edu.ua, код ЄДРПОУ 44470624

40.08.2023 № 1459/22

На № _____

ДОВІДКА

Видана Бебешку Богдану Тарасовичу, здобувачу вищої освіти третього освітнього рівня «доктор філософії» (наукова спеціальність 122 «Комп'ютерні науки») кафедри інженерії програмного забезпечення та кібербезпеки Державного торговельно-економічного університету, про те, що окремі положення, висновки та пропозиції, що містяться в дисертаційному дослідженні на тему «Багатоконтурна інформаційна система управління цифровими активами з інтелектуальною підтримкою», застосовуються в освітньому процесі ДТЕУ при вкладанні дисциплін, що закріплені за кафедрою інженерії програмного забезпечення та кібербезпеки.

Бебешком Богданом Тарасовичем розроблено (у співавторстві) та впроваджено в освітній процес:

1. «Технологія розробки та тестування програмного забезпечення». Програма (ДТЕУ-2020). Для здобувачів вищої освіти ОС «бакалавр» спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення».
2. «Інформаційні технології у професійній діяльності». Програма (КНТЕУ-2020). Для здобувачів вищої освіти ОС «бакалавр» спеціальностей 121 «Інженерія програмного забезпечення» та 125 «Кібербезпека».
3. «Управління проектами інформатизації». Програма (КНТЕУ-2020). Для здобувачів вищої освіти ОС «бакалавр» спеціальностей 121 «Інженерія програмного забезпечення» та 125 «Кібербезпека».
4. «Управління проектами інформатизації». Програма (КНТЕУ-2021). Для здобувачів вищої освіти ОС «магістр» спеціальності 072 «Фінанси, банківська справа та страхування».
5. «Архітектура та проектування програмного забезпечення». Програма (КНТЕУ-2020). Для здобувачів вищої освіти ОС «бакалавр» спеціальностей 121 «Інженерія програмного забезпечення» та 125 «Кібербезпека».
6. «Автоматизація тестування програмного забезпечення». Програма (КНТЕУ-2021). Для здобувачів вищої освіти ОС «магістр» спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення».

7. «Хмарні та GRID-технології». Програма (КНТЕУ-2021). Для здобувачів вищої освіти ОС «магістр» спеціальності 072 «Фінанси, банківська справа та страхування».
8. «Хмарні та GRID-технології». Робоча програма (КНТЕУ-2021). Для здобувачів вищої освіти ОС «бакалавр» спеціальності 124 «Системний аналіз», спеціальності 051 «Економіка», спеціальності 076 «Підприємництво, торгівля та біржова діяльність».
9. «Хмарні та GRID-технології». Програма (КНТЕУ-2021). Для здобувачів вищої освіти ОС «магістр» спеціальності 072 «Фінанси, банківська справа та страхування».
10. «WEB-дизайн та WEB-програмування». Робоча програма (КНТЕУ-2021). Для здобувачів вищої освіти ОС «бакалавр» спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення».
11. «WEB-дизайн та WEB-програмування». Робоча програма (КНТЕУ-2021). Для здобувачів вищої освіти ОС «бакалавр» спеціальності 242 «Туризм».
12. «Хмарні та GRID-технології». Робоча програма (ДТЕУ-2022). Для здобувачів вищої освіти ОС «бакалавр» спеціальності 124 «Системний аналіз».
13. «Об'єктно-орієнтоване програмування». Збірник тестових завдань (ДТЕУ-2022). Для здобувачів вищої освіти ОС «бакалавр» спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення».
14. Об'єктно-орієнтоване програмування». Збірник тестових завдань (ДТЕУ-2022). Для здобувачів вищої освіти ОС «бакалавр» спеціальності 125 «Кібербезпека».
15. Програма кваліфікаційного екзамену для студентів освітнього ступеня «бакалавр» (ДТЕУ-2022). Для здобувачів вищої освіти ОС «бакалавр» спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення».
16. Програма кваліфікаційного екзамену для студентів освітнього ступеня «бакалавр» (ДТЕУ-2022). Для здобувачів вищої освіти ОС «бакалавр» спеціальності 125 «Кібербезпека».
17. Наскрізна програма практичної підготовки (ДТЕУ-2022). Для здобувачів вищої освіти ОС «бакалавр» спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення».
18. Робоча програма практичної підготовки 1 (ДТЕУ-2022). Для здобувачів вищої освіти ОС «бакалавр» спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення».

Довідку видано для подання до спеціалізованої вченої ради

**Проректор з науково-педагогічної роботи
та міжнародних зв'язків**

Божко Тетяна Василівна
(044) 531 47 33



Анжеліка ГЕРАСИМЕНКО

Довідка про участь у виконанні науково-дослідної роботи



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ТОРГОВЕЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

вул. Кіото, 19, м. Київ, 02156, тел. +380 (44) 531 47 41, e-mail: knute@knute.edu.ua, код ЄДРПОУ 44470624

29.08.2023 № 1454/24

На № _____

ДОВІДКА

Видана Бебешку Богдану Тарасовичу, здобувачу кафедри інженерії програмного забезпечення та кібербезпеки Державного торговельно-економічного університету, про те, що він дійсно з IV кв. 2022 р. бере участь у виконанні науково-дослідної роботи «Моделювання інтелектуальних систем управління діяльністю підприємств» (термін виконання теми: I кв. 2022 р. – IV кв. 2024 р.).

Державний торговельно-економічний університет є правонаступником Київського національного торговельно-економічного університету.

Номер державної реєстрації НДР 0122U001549.

Особистий внесок Бебешка Богдана Тарасовича:

- розроблено математичну модель прогнозування успішності процедури інвестування у цифрові активи підприємства, що ґрунтується на розв'язанні білінійної гри якості в нечіткій постановці;
- удосконалено принципи побудови багатоконтурної інформаційної системи управління цифровими активами підприємства для формування рекомендацій з управління інвестиційною діяльністю підприємства на ринку цифрових активів.

Проректор
з науково-педагогічної роботи
та міжнародних зв'язків



Анжеліка ГЕРАСИМЕНКО

Фокіна Марина (044) 531 49 73

Довідка про впровадження результатів дисертаційного
дослідження на
ТОВ ІНТЕРНЕТ ІНВЕСТИЦІЙНА ГРУПА

Товариство з обмеженою відповідальністю

ІНТЕРНЕТ ІНВЕСТИЦІЙНА ГРУПА

ЄДРПОУ 36176783

№ 3005.1 від 30.05.2023

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційного дослідження
Бешко Богдана Тарасовича
на тему: «Багатоконтурна інформаційна система управління цифровими
активами з інтелектуальною підтримкою»

Дана довідка підтверджує, що отримані наукові результати дисертаційного дослідження Бешко Богдана Тарасовича на тему: «Багатоконтурна інформаційна система управління цифровими активами з інтелектуальною підтримкою» використовуються в роботі ТОВ «ІНТЕРНЕТ ІНВЕСТИЦІЙНА ГРУПА» та в розробці програмного продукту внутрішнього використання.

Бешком Б.Т. було знайдено рішення на основі застосування теорії ігор, теорії нечітких множин та комп'ютерних систем імітаційного моделювання. Розроблена математична модель дозволила отримати алгоритм прогнозування успішності процедури інвестування в цифрові активи з боку інвестора і була реалізована в одному з модулів програмного продукту прогнозування курсів цифрових активів, яке використовується в роботі нашої компанії.

Для оцінки ринку цифрових активів з точки зору інвестування Бешком Б.Т. було запропоновано до використання ігрові підходи, що ґрунтуються на вирішенні білінійної гри якості в нечіткій постановці, а надана стратегія управління багатоконтурною інформаційною системою управління цифрових активів дозволила ефективно аналізувати тренди на торгових майданчиках цифрових активів.

Розроблені пропозиції були прийняті для впровадження в роботу підприємства.

Даний акт не є основою для фінансових розрахунків.



Директор

Джелмач Богдан Михайлович

Довідка про впровадження результатів дисертаційного дослідження на ТОВ «САППОРТІОРАПП»

ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «САППОРТІОРАПП» код ЄДРПОУ 41081898 вул. Михайлівська, буд. 24А, 01001, м. Київ	LIMITED LIABILITY COMPANY "SUPPORTYOURAPP" USREOU No. 41081898 24 A Mykhailivska st. 01001 Kyiv
--	--

№161-08-1 від 05.07.2023

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційного дослідження
Бешко Богдана Тарасовича
на тему: «Багатоконтурна інформаційна система управління цифровими активами з інтелектуальною підтримкою»

Дана довідка про впровадження підтверджує, що результати дисертаційного дослідження Бешко Богдана Тарасовича на тему: «Багатоконтурна інформаційна система управління цифровими активами з інтелектуальною підтримкою» використовуються у фінансового-господарській діяльності підприємства ТОВ «САППОРТІОРАПП».

Бешком Б.Т. було надано оптимізовану нейронну мережу LSTM-Bitcoin-GoogleTrends-Prediction із розширеною вибіркою. Ця навчальна вибірка була доповнена результатами, отриманими в ході вирішення ігрових моделей на основі багатокрокових білінійних ігор якості з декількома термінальними поверхнями. Тобто для навчання нейронної мережі застосовувався комбінований метод оцінки ризиків втрати фінансових ресурсів гравцями та прогнозування курсів цифрових активів на основі застосування теорії ігор, нечіткої логіки, а також апарату нейронної мережі. Крім того, використано модель прогнозування успішності процедури інвестування в цифрові активи, дозволяють оптимізувати процеси прийняття рішень щодо оцінки ринку цифрових активів.

Також апробована та прийнята до впровадження контекстна модель багатоконтурної інформаційної системи управління цифровими активами, основою якої є стратегія управління багатоконтурною інформаційною системою управління цифрових активів, як комплекс алгоритмів та методики, які застосовуються для аналізу інформації про різні аспекти торгівлі цифровими активами для подальшого прогнозування коливання курсів цифрових активів та формування рекомендацій з управління цифровими активами.

Значною перевагою розробленої моделі є універсальність та можливість розширення кількості параметрів для навчання нейронної мережі, що дозволяє застосовувати її для прогнозування вартості цифрових активів.

Розроблені пропозиції були прийняті для покращення фінансових показників підприємства ТОВ «САППОРТІОРАПП».

Даний акт не є основою для фінансових розрахунків.

Директор ТОВ «САППОРТІОРАПП»



Moiseeva

Моїсеєва Галина Петрівна
05.07.2023

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

20. Bebeshko V., Artificial intelligence face recognition for authentication./ Kryvoruchko, O., Bebeshko, V., Khorolska, K., Desiatko, A., Kotenko, N. (2020). Technical Sciences and Technologies, 2 (20), 139-148.

(Особистий внесок: побудова експериментальної архітектури згорткової нейронної мережі для аутентифікації з використанням TensorFlow).

21. Bebeshko, V. (2022). Аналіз методів та моделей прогнозування ринку цифрових криптовалют. Електронне фахове наукове видання «Кібербезпека: освіта, наука, техніка», 2(18), 163-174. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2022.18.163174>

22. Bebeshko, V. (2023). Навчання штучної нейронної мережі на основі даних оцінювання результативності та ризиків інвестування в цифрові активи. Електронне фахове наукове видання «Кібербезпека: освіта, наука, техніка», 3(19), 135–145. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2023.19.135145>

23. Бебешко Б.Т. Штучна нейронна мережа управління процедурою купівлі-продажу цифрових активів у нечіткій постановці. Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. 2023. Вип. № 2 (139). С. 70–79. <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2023.2.24>

24. Khorolska K., Lazorenko V., Bebeshko V., Desiatko A., Kharchenko O., Yaremych V. (2022) Usage of Clustering in Decision Support System. In: Raj J.S., Palanisamy R., Perikos I., Shi Y. (eds) Intelligent Sustainable Systems. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 213. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-2422-3_49

(Особистий внесок: модель на основі методу К-середніх із залежними рухами, що дозволяє давати конкретні рекомендації аналітикам у торгових проектах).

25. V. Bebeshko, K. Khorolska and A. Desiatko, "Analysis and Modeling of Price Changes on the Exchange Market Based on Structural Market Data," 2021 IEEE

8th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), 2021, pp. 151-156, doi: 10.1109/PICST54195.2021.9772208

(Особистий внесок: метод використання нейронних мереж у процесі моделювання та аналізу цін на фондовому ринку).

26. Bebeshko B., Malyukov V., Lakhno M., Skladannyi P., Sokolov V., Shevchenko S., Zhumadilova M (2022) Application of game theory, fuzzy logic and neural networks for assessing risks and forecasting rates of digital currency Journal of Theoretical and Applied Information Technology 31st December 2022. Vol.100. No 24 <http://www.jatit.org/volumes/Vol100No24/15Vol100No24.pdf>

(Особистий внесок: розроблена математична модель для вирішення задачі пошуку оптимальних стратегій інвестування в цифрові криптовалюти з боку інвестора/інвесторів на основі застосування теорії ігор, теорії нечітких множин і штучних нейронних мереж (ШНМ), розроблена модель, яка дозволяє отримати алгоритм прогнозування успішності процедури інвестування в цифрові активи інвестором, який потім може бути реалізований в одному з модулів інтелектуальної інформаційної системи для прогнозування курсів цифрових активів).

27. Lakhno, V., Akhmetov, B., Smirnov, O., Chubaievskiy, V., Khorolska, K., Bebeshko, B. (2023). Selection of a Rational Composition of Information Protection Means Using a Genetic Algorithm. In: Rajakumar, G., Du, KL., Vuppalapati, C., Beligiannis, G.N. (eds) Intelligent Communication Technologies and Virtual Mobile Networks. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 131. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-1844-5_2

(Особистий внесок: описано модифікований генетичний алгоритм для вирішення задачі багатокритеріальної оптимізації вибору та оптимізації кількості засобів захисту інформації).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

28. Bebeshko V. Cyberattacks prediction with incomplete data/ Bebeshko V., Khorolska K. // Безпека соціально-економічних процесів в кіберпросторі: зб. матеріалів Всеукр. наук.-практ. конф. (Київ, 27 бер. 2019 р.). – Київ : Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2019. – с.123-125

(Особистий внесок: запропонована структура, яка підвищує надійність системи, і майбутня робота може бути зосереджена на динамічних стратегіях навчання та автоматизованому оцінюванні для адаптації до нових нетрадиційних даних).

29. Bebeshko V. Use of AI in data protection/ Kryvoruchko O., Bebeshko V., Khorolska K. // Безпека ресурсів інформаційних систем: збірник тез I Міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів 16-17 квітня 2020 р.). – Чернігів : НУЧП, 2020. – с.15-18

(Особистий внесок: описано методи оцінки ризиків підтримки та розпізнавання та звітування про порушення безпеки).

30. Бебешко Б.Т., Лазоренко В.В., Хорольська К.В. Безпека інтелектуальної системи управління цифровими активами за допомогою методу k-means при дослідженні видобутку даних // Кібергігієна. Кібербезпека. Безпека держави: матеріали наукових семінарів (Київ, 27 листопада 2020 р.)/відп. ред. АМ Десятко.–Київ: Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2020.– с.34-36

(Особистий внесок: інтелектуального керування системами управління цифровими активами для досягнення надійності та ефективності, на основі інтелектуальної технології аналізу даних (Data Mining)).

31. Лазоренко В.В., Бебешко Б.Т., Хорольська К.В. Аналіз методів прогнозування кібератак // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2021) : матеріали тез доповідей XI Міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів, 26–27 травня 2021 р.) : у 2 т. / Національний університет «Чернігівська політехніка» [та ін.] ; відп. за вип.: Єрошенко Андрій Михайлович [та ін.]. – Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2021. – Т. 2. – 236 с. ISBN 978-617-7932-16-0

(Особистий внесок: порівняльний аналіз методів прогнозування кібератак).

32. Bebeshko B. Enhancing stock market predictive accuracy through the application of convolutional neural networks. Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference. Osaka, Japan. 2023. Pp.438-441 DOI: 10.46299/ISG.2023.1.6

33. Бебешко Б.Т., Хорольська К.В. Аналіз кіберстійкості фінансових ринків // Проблеми кібербезпеки інформаційно-телекомунікаційних систем: Збірник матеріалів доповідей та тез; м.Київ, 15-16 квітня 2021 року р.; Київський національний університет імені Тараса Шевченка / Редкол.: О.К. закусило. (голова) та ін.-К.:ВПЦ «Київський університет», 2021.-с.135-136
(*Особистий внесок*: висвітлення ідей щодо кіберстійкості фінансових фондових ринків, щоб обмежити ескалацію можливих ризиків кібератак, які становлять загрозу фінансовій стабільності).

*Наукові праці, які додатково відображають наукові результати
дисертації*

34. Бебешко Б.Т. UX-дизайн інформаційної системи підприємства торгівлі. / Котенко Н.О., Жирова Т.О., Десятко А.М., Хорольська К.В., Бебешко Б.Т., Тогжанова К.О. // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. 2020. Вип. № 3 (122). С. 107–112. DOI: 10.30929/1995-0519.2020.3.67-74

(*Особистий внесок*: описано зміст та місце кожної складової в процесі UX-дизайну).

35. Tetiana Zhyrova, Nataliia Kotenko, Volodymyr Tokar, Karyna Khorolska, Bohdan Bebeshko, (2021) Testing the Accessibility of Web-applications The International Scientific Journal «Computer Systems and Information Technologies» 2021, #3 DOI: <https://doi.org/10.31891/CSIT-2021-5-12>

(*Особистий внесок*: систематизовано існуючі підходи тестування доступності веб-додатків в залежності від особливих потреб користувача).

36. Lakhno V., Akhmetov B., Ydyryshbayeva M., Bebeshko B., Desiatko A., Khorolska K. (2021) Models for Forming Knowledge Databases for Decision

Support Systems for Recognizing Cyberattacks. In: Vasant P., Zelinka I., Weber GW. (eds) Intelligent Computing and Optimization. ICO 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1324. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68154-8_42

(Особистий внесок: описано шаблони байєсівських мереж, що дозволяють оперувати різними випадковими величинами та визначати ймовірність кіберзагрози або конкретного етапу вторгнення за заданих умов).

37. Zhyrova, T., Kotenko, N., Bebeshko, B., Khorolska, K., Shevchenko, S.(2022) Benchmarking between the DQL Index and the Web Application Accessibility Index using Automatic Test Tools CEUR Workshop Proceedings, 2022, 3288, pp. 110–116

(Особистий внесок: описано п'ять компонент індексу цифрової якості життя).

38. Bebeshko, B., Khorolska, K., Kotenko, N., Kharchenko, O., & Zhyrova, T. (2021). Use of neural networks for predicting cyberattacks. Paper presented at the CEUR Workshop Proceedings, 2923 213-223. <http://ceur-ws.org/Vol-2923/paper23.pdf>

(Особистий внесок: досліджено сучасні алгоритми для прогнозування кібератак, які працюють разом із системами прогнозування даних для усунення прогалин у неповному витоку даних).