

ВИСНОВОК

**про наукову новизну, теоретичне і практичне значення
результатів дисертації Токарєвої Катерини Анатоліївни на тему:
«Гібридні та ансамблеві методи та моделі машинного навчання
прогнозування фінансових часових рядів»,
поданої на здобуття ступеня доктора філософії
за спеціальністю 113 – «Прикладна математика»
в галузі знань 11 – «Математика та статистика»**

1. Обґрунтування вибору теми дослідження та її зв'язок із науковими програмами, планами та темами.

Ускладнення систем є природнім шляхом розвитку будь якої науки, зокрема математику в цілому, так і її прикладні аспекти. В теорії часових рядів, найпростіші моделі (AR та MA моделі) ґрунтувалися на припущеннях про гомоскедастичність на незалежність моделі. Такі класичні моделі були зручними з погляду теоретичних викладок та простоти використання на реальних прикладах через простоту оцінок параметрів. Проте, як було помічено багатьма дослідниками, дана простота з дуже малою ймовірністю зустрічається в реальному світі, оскільки неможливо позбутися впливу зовнішніх факторів. У зв'язку із цим, теорія часових рядів зосередила свою увагу на комбінованих моделях, в яких основний процес описується з використанням класичних моделей, а “допоміжні процеси” описуються за допомогою інших математичних моделей. Найпростішим прикладом такої комбінації є ARCH і GARCH-моделі та їх модифікації, в яких робиться припущення про гетероскедастичність дисперсії σ_t^2 основного процесу $x(t)$, причому σ_t^2 також підпорядковується моделі часового ряду із врахуванням впливу екзогенних змінних та процесу $x(t)$. Оцінка параметрів таких моделей стала можливою як за рахунок швидкого розвитку теорії оптимізації з одного боку, так і за рахунок збільшення обчислювальних потужностей середньостатистичного користувача.

Другим кроком для узагальнення класичних моделей є використання гібридних моделей, в яких основний процес описується за допомогою деякої

моделі часового ряду, проте залишки можуть описуватися більш складнішими математичними моделями. В даній роботі основна увага звернена на випадок використання моделей машинного навчання в якості моделі опису залишків. Вибраний підхід добре себе зарекомендував з погляду задачі прогнозування часових рядів. За нейронні мережі було вибрано декілька основних підкласів, які найчастіше зустрічаються в літературі для прогнозування часових рядів, а саме RNN, LSTM, нейронна мережа прямого поширення помилки, нейронна мережа Елмана, багатошаровий перцептрон. Крім того, для візуалізації багатовимірних даних шляхом конфігурації нейронів з метою квантування або кластеризації вхідного простору в топологічну структуру використовувалася самоорганізаційна карта Кохонена. Оскільки при використанні відсутнє припущення про те, що одна модель здатна «охопити динаміку» всього часового ряду, то здійснено її інтеграцію з адаптивною нейро-нечіткою системою виводу. Дані моделі дали змогу достатньо повно описати загальний підхід до побудови гібридних моделей часових рядів на основі нейронних мереж.

З іншого боку, досить часто внаслідок наявності випадкових чинників, динамічні системи підпорядковані впливу детермінованого хаосу, за наявності якого детермінований процес матиме поведінку, близьку до випадкової. У зв'язку з цим у дисертаційній роботі розроблено підхід до визначення хаотичної складової у часовому ряді для покращення оцінки прогнозу.

Отже, дисертаційна робота спрямована на побудову гібридних моделей на основі нейронних мереж для опису динаміки залишків та використання методів визначення наявності детермінованого хаосу в системі для зменшення впливу детермінованих чинників у системі.

Тема дисертаційної роботи відповідає одному з напрямків наукової роботи кафедри прикладної математики та інформаційних технологій Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича. Дослідження дисертаційної роботи проведено під керівництвом канд. фіз.-мат. наук, доцента Кушніра Миколи Ярославовича в рамках науково-дослідної теми кафедри «Математичне моделювання і числово-аналітичні методи дослідження

динамічних та інформаційних процесів» (номер державної реєстрації 0102U006591).

Об'єкт дослідження: задача знаходження прогнозу фінансового часового ряду для реальних фінансових процесів, що описують динаміку випадкових фінансових активів (акцій, облігацій, дериватив).

Предмет дослідження: побудова оптимального прогнозу на основі використання гібридних систем.

Методи дослідження: в основу дисертаційної роботи покладені методи часових рядів; методи машинного навчання та штучного інтелекту, які включають в себе нейронні мережі, метод опорних векторів; статистичні метод оцінок параметрів; теорія стохастичних диференціальних рівнянь та теорія оптимального керування; генетичні алгоритми.

2. Формулювання наукового завдання, нове розв'язання якого отримано в дисертації. У дисертаційному дослідженні розроблено та обгрунтовано ряд підходів створення гібридних систем для оцінки прогнозу ризикових фінансових активів на основі нейронних мереж та класичних моделей часових рядів, причому створення гібридних систем здійснювалося як на основі “паралельного” використання моделі часового ряду та нейронної мережі, так і на основі суперпозиції двох останніх.

1. Наукові положення, розроблені особисто дисертантом та їх новизна.

Дисертанткою у роботі одержано такі нові результати або покращено вже існуючі:

- розглянуто гібридну систему, опис динаміки залишків якої описується на основі моделей машинного навчання, а саме нейронних мереж;

- розглянуто різні моделі нейронних мереж як варіанти для побудови оптимального прогнозу;

- проведено порівняльний аналіз існуючих класичних алгоритмів оцінки прогнозу та розроблених гібридних алгоритмів на реальних даних фінансового ринку;

- проведено аналіз гібридних систем із врахуванням наявності детермінованого хаосу в часовому ряді та розроблено алгоритм оцінки детермінованого хаосу в часових рядах;

- розроблено алгоритм зменшення складності оцінки прогнозу часового ряду із використанням генетичного алгоритму для пошуку початкових значень ваг нейронної мережі;

- розроблено розширену LSTM модель нейронної мережі із врахуванням залежності типу AR;

- розроблено алгоритми оцінки параметрів часового ряду на основі стохастичних диференціальних рівнянь із запізненням та здійснено перехід від непараметричної оптимізаційної задачі до параметричної оптимізаційної задачі пошуку коефіцієнтів часового ряду або відповідного стохастичного диференціального рівняння.

4. Обґрунтування і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, що захищаються.

Дослідження, які виконані автором в даній дисертаційній роботі, спрямовані на постановку та розв'язання нових наукових задач, що є важливими для розвитку загальної теорії машинного навчання в цілому, так і для розвитку прикладного напрямку оцінки прогнозу систем зокрема.

Ідеї та підходи, які використані для досліджень, є результативними. Усі одержані результати є строго математично обґрунтованими, що підтверджується наведеними в роботі прикладами та забезпечується узгодженістю з відомими раніше результатами.

Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків до розділів, загальних висновків та списку використаних джерел та одного додатку. Дисертаційна робота є самостійною науковою працею. Висновки, рекомендації та пропозиції, що характеризують, зокрема, наукову новизну дослідження, сформульовані автором дисертації.

5. Рівень теоретичної підготовки здобувачки та рівень її обізнаності з результатами наукових досліджень інших науковців.

Здобувачка продемонструвала високий науковий рівень наявних

публікацій стосовно досліджень дисертаційної роботи. Для розв'язання поставлених наукових завдань здійснено ґрунтовний аналіз літературних джерел, пов'язаних з тематикою дисертаційної роботи, засвоєно та удосконалено ряд методик для побудови гібридних алгоритмів машинного навчання.

6. Наукове та практичне значення роботи.

Результати дисертаційної роботи є вагомим внеском у розвиток теорії часових рядів та побудови гібридних алгоритмів. Розроблені та апробовані запропоновані алгоритми можуть використовуватися для подальших досліджень у цій галузі, адже на сьогодні немає універсального способу побудови прогнозу часових рядів, зокрема фінансових. Цю проблему поставлено в дисертаційній роботі, простежено, що розроблені генетичні алгоритми оцінки прогнозу часового ряду дають кращі результати порівняно з існуючими класичними алгоритмами як для реальних задач, так і для відомих динамічних систем. Практичне значення дисертаційної роботи полягає в тому, що розроблений гібридні системи можуть бути використані в прогностичних системах для аналізу фінансових ринків із метою побудови більш достовірних прогнозів.

7. Повнота викладу матеріалів дисертації в публікаціях та особистий внесок здобувачки в публікації

Результати перевірки тексту дисертації з використанням антиплагіатної системи UNICHECK показав 7,75% схожості з джерелами з Інтернету. Робота відповідає принципам академічної доброчесності.

Всі основні положення і висновки дисертаційної роботи достатньо детально висвітлено у 5 статтях автора, з яких 1 стаття належать до переліку наукових видань України категорії "Б", 2 статті входять до переліку наукових видань України категорії "А" і 2 статті проіндексовані у наукометричній базі даних Scopus. Зміст та обсяг публікацій відповідають темі дисертації, відображають основні отримані результати, свідчать про їх новизну. Матеріали дисертації доповідалися і опубліковані у 4 тезах доповідей на Міжнародних та Всеукраїнських наукових конференціях.

Результати дисертації повною мірою викладені в зазначених публікаціях.

Наукові праці у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у наукометричній базі даних Scopus

1. Kushnir, M., Tokarieva, K. A Generalization of the Arima Model to the Nonlinear and Continuous Cases. *Cybernetics and Systems Analysis*, 2023. Vol. 59. Iss. 6. P. 900–909.
2. Кушнір М.Я., Токарева К.А. Використання Систем Штучного Інтелекту У Задачах Прогнозування Фінансових Індексів: Огляд Наукових Джерел / Artificial Intelligence Systems In The Financial Market Predictions: Literature Review. *Radioelectronic and Computer Systems*. 2020. Is. 3(95). С. 108-117.

Наукові праці у періодичних наукових фахових виданнях України:

3. Кушнір М.Я., Токарева К.А. Одне узагальнення ARIMA-моделі на нелінійний та неперервний випадки / A Generalization of the Arima Model to the Nonlinear and Continuous Cases. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2023. Vol. 59. Iss. 6. P. 900 – 909
4. Кушнір М.Я., Токарева К.А. Гібридна модель самоорганізаційної карти Кохонена та адаптивної нейро-нечіткої системи виводу у задачах прогнозування цін фондових індексів. *Буковинський математичний журнал*. 2021. Т. 9. № 2. С. 70–80.
5. Кушнір, М. Я., Токарева, К. А. Одне узагальнення LSTM-нейронних мереж. *International Scientific Technical Journal "Problems of Control and Informatics"*. 2023. 68(4). С. 111–118.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

6. M. Kushnir, A. Komarnytskyi, K. Tokarieva, N. Savchyn, P. Kroialo and V. Toronchuk, Technological and Legal Aspects of the Use of Machine Learning Elements in Chaotic Information Processing Systems. *2020 IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T)*, Kharkiv, Ukraine, 6-9 October 2020, P. 713-716. ISBN: 978-172819177-5.
7. V. Hryhorkiv, L. Buiak, A. Verstiak, M. Hryhorkiv, O. Verstiak and K. Tokarieva, "Forecasting Financial Time Series Using Combined ARIMA-ANN Algorithm," *2020 10th International Conference on Advanced Computer*

Information Technologies (ACIT), Deggendorf, Germany, 16-18 September 2020, P. 455-458. ISBN: 978-172816760-2.

8. Токарева К.А. Використання систем штучного інтелекту у прогнозуванні фінансових ринків. *Міжнародний науковий симпозиум «Інтелектуальні рішення»*. Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи): праці міжнар. наук.-практ. конф., 15-20 квітня 2019 р., Ужгород / М-во освіти і науки України, ДВНЗ «Ужгородський національний університет», та [ін.]; наук. ред. В.Є. Снитюк. С. 54-55.
9. Токарева К.А. Лог-рентабельність активів у дослідженні фінансових часових рядів. *Математичні методи, моделі та інформаційні технології в економіці*: Матеріали VI Міжнародної науково-методичної конференції. Чернівці: Друк Арт, 6 вересня 2019. С. 154-155.

8. Апробація матеріалів дисертації здійснювалася на таких конференціях:

- IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), Kharkiv, Ukraine, 6-9 October 2020.
- 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Deggendorf, Germany, 16-18 September 2020.
- Міжнародний науковий симпозиум «Інтелектуальні рішення». Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи), м. Ужгород, Україна, 15-20 квітня 2019 р.,
- VI Міжнародна науково-методична конференції, м. Чернівці, Україна, 6 вересня 2019 р.

9. Оцінка мови і стилю дисертації.

Дисертація написана чіткою, добре зрозумілою мовою для фахівців. Стиль викладу матеріалу послідовний, логічний та відповідає вимогам, що висуваються до праць такого рівня.

10. Відповідність змісту дисертації спеціальності з відповідної галузі знань, з якої вона подається до захисту.

Зміст дисертації відповідає чинним вимогам до оформлення дисертації, встановленим освітньо-науковою програмою «Прикладна математика» галузі

знань 11 «Математика та статистика» спеціальності 113 – «Прикладна математика».

11. Дотримання нормативних вимог щодо оформлення дисертації.

Нормативні вимоги щодо оформлення дисертації дотримані повністю.

12. Рекомендації дисертації до захисту

Дисертаційна робота Токаревої Катерини Анатоліївни на тему «Гібридні та ансамблеві методи та моделі машинного навчання прогнозування фінансових часових рядів», подана на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 – «Прикладна математика» в галузі знань 11 – «Математика та статистика» за її актуальністю, новизною та науково-теоретичним рівнем обґрунтованості результатів відповідає вимогам пунктів 6, 7, 8, 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44 (із змінами внесеними згідно з Постановою Кабінету Міністрів України від 21 березня 2022 р. №431).

За результатами публічної презентації результатів дисертації та їх обговорення 14 березня 2024 року на розширеному засіданні кафедри прикладної математики та інформаційних технологій факультету математики та інформатики Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича за участю фахівців за тематикою дисертації дисертацію Токаревої Катерини Анатоліївни рекомендовано до захисту на разовій спеціалізованій вченій раді на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 – «Прикладна математика» в галузі знань 11 – «Математика та статистика».

18.03.2024р.

Голова засідання, завідувач кафедри прикладної математики та інформаційних технологій Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича,
доктор фізико-математичних наук, професор



Ярослав БІГУН