

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Буткевича Миколи Віталійовича на тему «Моделі, методи та інформаційна технологія прогнозування часових рядів епідемічних процесів», представлену на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки

На засіданні кафедри математичного моделювання та штучного інтелекту за участі:

Карташова Олексія Вікторовича, к.ф.-м.н., доцента, в.о. завідувача кафедри математичного моделювання та штучного інтелекту Національного аерокосмічного університету «ХАІ»;

Скоба Юрія Олексійовича, д.т.н., професора, професора кафедри математичного моделювання та штучного інтелекту Національного аерокосмічного університету «ХАІ»;

Пічугіної Оксани Сергіївни, д.ф.-м.н., професора, професора кафедри математичного моделювання та штучного інтелекту Національного аерокосмічного університету «ХАІ»;

Коробчинського Кирила Петровича, к.т.н., доцента, доцента кафедри математичного моделювання та штучного інтелекту Національного аерокосмічного університету «ХАІ»;

Халтуріна Володимира Олександровича, к.ф.-м.н., доцента, доцента кафедри математичного моделювання та штучного інтелекту Національного аерокосмічного університету «ХАІ»;

Чумаченка Дмитра Ігоровича, к.т.н., доцента, доцента кафедри математичного моделювання та штучного інтелекту Національного аерокосмічного університету «ХАІ»;

Московича Ігоря Володимировича, старшого викладача кафедри математичного моделювання та штучного інтелекту Національного аерокосмічного університету «ХАІ»;

Трофимової Ірини Олексіївни, старшого викладача кафедри математичного моделювання та штучного інтелекту Національного аерокосмічного університету «ХАІ»;

Болотової Тетяни Володимирівни, провідного інженера кафедри математичного моделювання та штучного інтелекту Національного аерокосмічного університету «ХАІ»;

Рубеля Олексія Сергійовича, к.т.н., доцента, доцента кафедри інформаційно-комунікаційних технологій ім. О.О. Зеленського Національного аерокосмічного університету «ХАІ»

Сіденка Євгена Вікторовича, к.т.н., доцент, доцент кафедри інтелектуальних інформаційних систем Чорноморського національного університету імені Петра Могили,

відбулася публічна презентація дисертаційної роботи Буткевича Миколи Віталійовича на тему «Моделі, методи та інформаційна технологія прогнозування часових рядів епідемічних процесів».

На підставі обговорення змісту презентації дисертаційної роботи ухвалено такий висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації (результати голосування – одноголосно).

Актуальність теми дослідження

Прогнозування захворюваності на інфекційні хвороби є одним із ключових завдань системи громадського здоров'я, що безпосередньо впливає на ефективність планування ресурсів, закупівель вакцин та антивірусних препаратів, а також на своєчасність реагування на епідемічні загрози. Точні короткострокові прогнози дозволяють медичним закладам завчасно підготуватися до сезонних спалахів, оптимізувати розподіл ліжкового фонду та забезпечити достатні запаси медикаментів.

Традиційні підходи до епідемічного прогнозування базуються на детерміністичних та стохастичних компартментних моделях (SIR, SEIR, SEIRS), які вимагають точного знання біологічних параметрів передачі інфекції та контактних матриць населення. Водночас статистичні моделі часових рядів, зокрема ARIMA, забезпечують формальну процедуру ідентифікації та діагностики, проте обмежені припущенням лінійності та погіршують точність при наявності складних нелінійних залежностей та структурних зламів. Методи глибокого навчання, зокрема рекурентні нейронні мережі з довгою короткочасною пам'яттю (LSTM), продемонстрували здатність автоматично виявляти складні нелінійні патерни у послідовних даних без явної специфікації функціональної форми залежностей, що робить їх перспективним інструментом для моделювання епідемічних часових рядів з вираженою сезонністю, множинними періодичними компонентами та непередбачуваними структурними зламами.

Україна, як країна, що протягом останніх років переживає повномасштабний військовий конфлікт, стикається з унікальними викликами у сфері епідемічного спостереження. Порушення функціонування систем епідемічного нагляду внаслідок руйнування медичної інфраструктури у прифронтових та окупованих регіонах, масова міграція населення як усередині країни, так і за її межі, критичне

зниження охоплення планової імунізації та перевантаження медичної інфраструктури створюють сприятливі умови для зростання захворюваності на керовані інфекції. У таких екстремальних умовах методи машинного навчання, здатні функціонувати при неповних, запізнілих та частково недостовірних даних, швидко адаптуватися до раптових структурних зламів епідемічної ситуації без повного перенавчання моделей, набувають критичної важливості для національної системи охорони здоров'я як інструмент підтримки прийняття оперативних рішень в умовах високої невизначеності.

Існуючі дослідження у сфері застосування LSTM для епідемічного прогнозування мають суттєві прогалини: більшість робіт виконано на стабільних даних країн з розвинутою системою нагляду та не враховують умов порушеної звітності; питання оптимального представлення даних для нейромережових моделей залишається недостатньо дослідженим; валідаційні стратегії часто не відповідають реальним умовам експлуатації прогнозних систем, допускаючи вигік інформації з тестового періоду; відсутні систематичні рекомендації щодо вибору архітектури LSTM залежно від обсягу та характеру доступних даних в умовах обмежених обчислювальних ресурсів.

Таким чином, актуальним науковим завданням є розроблення інформаційної технології прогнозування епідемічних часових рядів на основі інтеграції статистичних моделей та рекурентних нейронних мереж з довгою короткочасною пам'яттю. Це визначає актуальність дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дослідження, результати яких викладено в дисертації, виконано на кафедрі математичного моделювання та штучного інтелекту Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут» в рамках виконання науково-дослідних робіт за проектами «Мультидисциплінарне дослідження впливу надзвичайних ситуацій на поширення інфекційних захворювань для підтримки прийняття управлінських рішень у сфері біобезпеки населення» (Національний фонд досліджень України, № 2023.03/0197), «Моделювання та прогнозування поширення інфекцій у воєнних та повоєнних умовах з використанням даних епідеміологічного, поведінкового та геномного спостереження» (фінансування Національною академією наук США (US NAS) через Науково-технологічний центр в Україні (STCU), № 7136).

Наукова новизна отриманих результатів

У дисертації одержані такі нові наукові результати:

1. Уперше запропоновано метод кумулятивного представлення епідемічних часових рядів для прогнозування мережами довгої короткочасної пам'яті, заснований на принципі заміни рівневих значень кількості випадків захворювання наростаючим підсумком від початку періоду спостереження з подальшою min-max нормалізацією, параметри якої обчислюються виключно на навчальній вибірці, який відрізняється від існуючих підходів до прогнозування захворюваності використанням монотонно зростаючої траєкторії, що згладжує короткострокові флуктуації та знижує відносну дисперсію, що дозволяє знизити середню абсолютну відсоткову похибку прогнозування у 16–94 рази залежно від захворювання (до 0,28% для гепатиту С, 0,82–0,85% для гепатиту В).

2. Уперше запропоновано метод циклічного кодування сезонних ознак для LSTM моделей епідемічного прогнозування, заснований на тригонометричному відображенні дискретного часового індексу на одиничне коло у двовимірному просторі за допомогою синусоїдальної та косинусоїдальної функцій від номера місяця, який відрізняється від існуючих підходів до моделювання сезонності в епідемічних нейромережових моделях забезпеченням безперервності та рівновіддаленості сусідніх місяців, включаючи перехід грудень–січень, що дозволяє покращити точність прогнозування на 46,6% порівняно з моделями без явних сезонних ознак.

3. Удосконалено метод валідації прогностичних моделей епідемічних часових рядів для коротких вибірок від 72 місяців в умовах структурних зламів, заснований на стратегії walk-forward з послідовним розширенням навчального вікна та принципі строгої темпоральної каузальності, який відрізняється від існуючих обов'язковим обчисленням параметрів усіх трансформацій, включаючи нормалізацію та формування ознак, виключно на навчальній частині вибірки на кожному кроці, що дозволяє отримати реалістичну оцінку продуктивності моделі в режимі послідовного прогнозування та запобігає витоку інформації з тестового періоду.

4. Набула подальшого розвитку архітектура LSTM мереж для епідемічного прогнозування, заснована на принципі ієрархічного представлення часових залежностей із адаптацією складності моделі до обсягу та характеру доступних даних, яка відрізняється від існуючих систематичним емпіричним обґрунтуванням достатності компактних двошарових конфігурацій з 64 одиницями пам'яті на шар для коротких рядів від 72 місяців та необхідності глибоких тришарових

пірамідальних архітектур з 11,89 мільйонами параметрів для рядів з множинними сезонними компонентами та структурними зламами, що дозволяє забезпечити навчання моделей за 40 секунд на стандартному CPU без GPU-прискорювачів та обирати архітектуру з мінімальними обчислювальними витратами без втрати точності прогнозування.

5. Набула подальшого розвитку архітектура інформаційної технології прогнозування інфекційної захворюваності, заснована на розділенні тренувального та інференсного шарів з версіонованим сховищем артефактів моделей, яка відрізняється від існуючих інтеграцією статистичних моделей ARIMA та нейромережевих моделей LSTM у єдиний конвеєр з автоматизованим контролем якості через маніфести версій та метрики валідації, що дозволяє забезпечити відтворюваність прогнозів та оперативне перенавчання при надходженні нових епідемічних даних.

Теоретичне та практичне значення результатів роботи

Створено комплекс програм на мові Python у середовищі Jupyter Notebook, які автоматизують розрахунки за усіма запропонованими методами та реалізують побудову, навчання та використання розроблених моделей LSTM та ARIMA для прогнозування епідемічних часових рядів із застосуванням бібліотек scikit-learn, TensorFlow/Keras, statsmodels, pandas, matplotlib та plotly.

Досягнуто підвищення точності прогнозування інфекційної захворюваності: для кумулятивних представлень часових рядів середня абсолютна відсоткова похибка становить менше одного відсотка, що на один-два порядки нижче за рівневі прогнози. Похибка кумулятивного прогнозу гепатиту В (близько 400 випадків на річний горизонт) вписується в запас безпеки центрального медичного складу України, що свідчить про оперативну корисність для планування закупівель вакцин та антивірусних препаратів.

Розроблена інформаційна технологія забезпечує практичну застосовність в умовах обмежених обчислювальних ресурсів: компактні двошарові LSTM моделі навчаються за 40 секунд на стандартному процесорі класу ноутбука без необхідності GPU-прискорювачів, що дозволяє оперативне перенавчання при надходженні нових даних та розгортання в умовах обмеженої інфраструктури воєнного часу.

Результати дисертаційної роботи впроваджено у практичну діяльність Державної установи «Харківський обласний центр контролю та профілактики хвороб Міністерства охорони здоров'я України» (акт впровадження від 26

листопада 2025 р.); у навчальний процес кафедри епідеміології Харківського національного медичного університету (акт впровадження від 10 січня 2026 р.); у науково-дослідну роботу кафедри епідеміології Харківського національного медичного університету в рамках міжнародного проекту STCU № 7136 «Моделювання та прогнозування поширення інфекцій у воєнних та повоєнних умовах з використанням даних епідеміологічного, поведінкового та геномного спостереження» (акт впровадження від 5 січня 2026 р.); у практичну діяльність Комунального некомерційного підприємства «Міська клінічна лікарня №13» Харківської міської ради (акти впровадження від 15 листопада 2025 р. та від 17 листопада 2025 р.). Розроблені методи моделювання та прогнозування розвитку інфекційних захворювань на основі штучних нейронних мереж та статистичних моделей часових рядів активно використовуються в практичній діяльності зазначених установ для прогнозування епідеміологічної ситуації, підтримки управлінських рішень та підвищення якості підготовки фахівців.

Апробація/використання результатів дисертації

Основні положення, ідеї та висновки дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на міжнародних наукових та науково-практичних конференціях:

IV Міжнародна науково-практична конференція IT-професіоналів і аналітиків комп'ютерних систем «ProFIT Conference 2021» (м. Харків, Україна, 2021);

V Міжнародна науково-практична конференція IT-професіоналів і аналітиків комп'ютерних систем «ProFIT Conference 2023» (м. Харків, Україна, 2023);

4th International Workshop of IT-professionals on Artificial Intelligence (ProFIT AI 2024) (м. Кембрідж, Массачусетс, США, 2024);

7th International Conference on Informatics & Data-Driven Medicine (IDDM 2024) (м. Бірмінгем, Велика Британія, 2024);

2024 14th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT 2024) (м. Афіни, Греція, 2024);

2024 IEEE 17th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET 2024) (м. Львів – Славське, Україна, 2024);

International Conference «Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering – 2024» (ICTM 2024) (м. Харків, Україна, 2024);

5th International Workshop of IT-professionals on Artificial Intelligence (ProIT AI 2025) (м. Ліверпуль, Велика Британія, 2025);

2025 15th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT 2025) (м. Сібернік, Хорватія, 2025);

International Conferences on Applied Computing and WWW/Internet 2025 (м. Порту, Португалія, 2025).

Розроблені моделі, методи та програмне забезпечення зареєстровані як об'єкти авторського права (8 свідоцтв про реєстрацію авторського права на комп'ютерні програми).

Дотримання принципів академічної доброчесності

Дисертація М. В. Буткевича є оригінальною роботою, виконана здобувачем самостійно й доброчесно, текст рукопису дисертаційної роботи не містить ознак академічного шахрайства. Роботу передано експерту для проведення науково-технічної експертизи щодо збігів з Internet-джерелами, про що буде надано відповідний звіт.

Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача

Основні результати дисертації опубліковані у 23 наукових працях, у тому числі:

– п'ять статей у періодичних наукових виданнях, що індексуються у наукометричній базі Scopus (дві статті у закордонних виданнях – одна Q1, одна Q2; три статті у наукових фахових виданнях України категорії А – Q3);

– вісім публікацій у матеріалах міжнародних науково-практичних конференцій, індексованих у Scopus;

– дві публікації у матеріалах міжнародних науково-практичних конференцій;

– вісім свідоцтв про реєстрацію авторського права на комп'ютерні програми.

Статті у закордонних наукових виданнях (Scopus):

I. Butkevych, M., Yakovlev, S., Chumachenko, D. (2025). Data-Driven Forecasting of Acute and Chronic Hepatitis B in Ukraine with Recurrent Neural Networks. Applied Sciences, 15(13), 7573. DOI: 10.3390/app15137573. (Scopus Q2, Швейцарія).

Здобувачем розроблено архітектуру LSTM мереж, реалізовано метод кумулятивного представлення часових рядів та проведено експериментальну валідацію для гострого та хронічного гепатиту В.

2. Chumachenko, D., Butkevych, M., Lode, D., Frohme, M., Schmailzl, K.J.G., Nechyporenko, A. (2022). *Machine Learning Methods in Predicting Patients with Suspected Myocardial Infarction Based on Short-Time HRV Data*. *Sensors*, 22(18), 7033. DOI: 10.3390/s22187033. (Scopus Q1, Швейцарія).

Здобувачем проведено підготовку та обробку даних, реалізовано методи машинного навчання для класифікації, виконано порівняльний аналіз моделей.

Статті в наукових фахових виданнях України категорії А (Scopus Q3):

3. Butkevych, M., Meniailov, I., Lutsiv, Y., Kraivskyi, B., Chumachenko, D. (2025). *War-driven displacement and COVID-19 in Poland: simulation study using LSTM model*. *Radioelectronic and Computer Systems*, 2025(4), pp.25–34. DOI: 10.32620/reks.2025.4.02.

Здобувачем розроблено контрфактуальний аналіз впливу воєнної міграції на динаміку COVID-19 у Польщі із застосуванням LSTM.

4. Butkevych, M., Chumachenko, D. (2024). *Time series analysis of leptospirosis incidence for forecasting in the Baltic countries using the ARIMA model*. *Radioelectronic and Computer Systems*, 2024(4), pp.5–19. DOI: 10.32620/reks.2024.4.01.

Здобувачем розроблено моделі ARIMA для аналізу часових рядів лептоспірозу в країнах Балтії.

5. Chumachenko, D., Bazilevych, K., Butkevych, M., Meniailov, I., Parfeniuk, Y., Sidenko, I., Chumachenko, T. (2024). *Methodology for assessing the impact of emergencies on the spread of infectious diseases*. *Radioelectronic and Computer Systems*, 2024(3), pp.6–26. DOI: 10.32620/reks.2024.3.01.

Здобувачем розроблено методологію оцінювання впливу надзвичайних ситуацій на поширення інфекційних захворювань.

Статті у збірниках матеріалів міжнародних конференцій (Scopus):

6. Butkevych, M., Chumachenko, D. (2025). *Simulation of Acute Upper Respiratory Tract Infections in Kharkiv Oblast (Ukraine): The ARIMA Model Approach*. In: *Lecture Notes in Networks and Systems*. Vol. 1473, pp.153–161. DOI: 10.1007/978-3-031-94845-9_13.

Здобувачем розроблено модель ARIMA для прогнозування динаміки ГРВІ у Харківській області.

7. Butkevych, M., Vasiuk, K., Trofymova, I., Chumachenko, T. (2026). *Forecasting of Acute Upper Respiratory Tract Infection in Ukraine during the War Conditions using LSTM Model*. CEUR Workshop Proceedings, Vol. 4164, pp.478–486. DOI: 10.5281/zenodo.19435654.

Здобувачем розроблено архітектуру LSTM мережі для прогнозування ГРВІ та проведено експериментальну валідацію з циклічними сезонними ознаками.

8. Butkevych, M., Chumachenko, D. (2024). *Simulation of Influenza Dynamics in Kharkiv Oblast (Ukraine) using ARIMA Model*. CEUR Workshop Proceedings, Vol. 3777, pp.223–237. DOI: 10.5281/zenodo.19413876.

Здобувачем розроблено моделі ARIMA для моделювання динаміки грипу.

9. Butkevych, M., Meniailov, I., Bazilevych, K., Parfeniuk, Y., Chumachenko, D. (2024). *Simulation of influenza dynamics with LSTM deep learning model*. CEUR Workshop Proceedings, Vol. 3892, pp.115–125. DOI: 10.5281/zenodo.19414265.

Здобувачем розроблено LSTM модель для моделювання динаміки грипу у Харківській області.

10. Butkevych, M., Chumachenko, D. (2025). *Simulation of Acute Hepatitis A in Ukraine Using LSTM Deep Learning Model*. 2025 15th ACIT, pp.88–91. DOI: 10.1109/acit65614.2025.11185739.

Здобувачем розроблено LSTM модель для моделювання гострого гепатиту А в Україні.

11. Butkevych, M., Chumachenko, T. and Chumachenko, D. (2024). *Forecasting of Acute Upper Respiratory Tract Infections based on LSTM Model*. 2024 14th DESSERT, pp.1–5. DOI: 10.1109/dessert65323.2024.11122125.

Здобувачем розроблено LSTM модель прогнозування ГРВІ.

12. Butkevych, M., Manakova, O., Chumachenko, D. (2024). *Forecasting of Salmonellosis Dynamics with LSTM Deep Learning Model*. 2024 IEEE 17th TCSET, pp.213–216. DOI: 10.1109/tcset64720.2024.10755553.

Здобувачем розроблено модель прогнозування динаміки сальмонельозу методом LSTM.

13. Chumachenko, D., Butkevych, M., Chumachenko, T., Kirpich, A., Kyrychenko, L., Matsyi, O. (2025). *Deep Learning Forecasts of Hepatitis A, B, and C incidence in war-torn Ukraine: a Multivariate LSTM Approach*. International Conferences on Applied Computing and WWW/Internet 2025, pp.321–323. DOI: 10.33965/ac_icwi_2025_202508p047.

Здобувачем розроблено моделі LSTM для мультиваріатного прогнозування динаміки гепатитів А, В та С в Україні.

Тези доповідей на науково-практичних конференціях:

14. *Chumachenko T., Butkevych M.* Information technologies for the assessment of the impact of the russian war in Ukraine on public health. V Міжнародна науково-практична конференція IT-професіоналів і аналітиків комп'ютерних систем «ProfIT Conference 2023», С. 19–20.

15. *Буткевич М. В., Чумаченко Д. І.* Інформаційна система збору даних захворюваності на COVID-19. IV Міжнародна науково-практична конференція IT-професіоналів і аналітиків комп'ютерних систем «ProfIT Conference 2021», С. 16–17.

Свідоцтва про реєстрацію авторського права на комп'ютерні програми:

16. Чумаченко Д. І., Буткевич М. В. Комп'ютерна програма «Модель динаміки грипу на базі ARIMA», Свідоцтво № 132251, 20 грудня 2024.

17. Чумаченко Д. І., Буткевич М. В., Чумаченко Т. О. Комп'ютерна програма «Інтелектуальна модель динаміки гострих інфекцій верхніх дихальних шляхів на базі архітектури LSTM», Свідоцтво № 132250, 20 грудня 2024.

18. Чумаченко Д. І., Буткевич М. В. Комп'ютерна програма «Інтелектуальна модель динаміки грипу на базі архітектури LSTM», Свідоцтво № 132249, 20 грудня 2024.

19. Чумаченко Д. І., Буткевич М. В., Чумаченко Т. О. Комп'ютерна програма «Модель динаміки гострих інфекцій верхніх дихальних шляхів на базі ARIMA», Свідоцтво № 131623, 25 листопада 2024.

20. Буткевич М. В., Чумаченко Д. І. Комп'ютерна програма «Нейромережева модель епідемічного процесу COVID-19 з архітектурою LSTM», Свідоцтво № 112762 від 27.04.2022.

21. Буткевич М. В., Чумаченко Д. І. Комп'ютерна програма «Модель Prophet для моделювання динаміки захворюваності на COVID-19 в Україні», Свідоцтво № 112634 від 11.04.2022.

22. Буткевич М. В., Чумаченко Д. І. Комп'ютерна програма «Модель авторегресійного ковзного середнього для прогнозування епідемічного процесу COVID-19», Свідоцтво № 112605 від 07.04.2022.

23. Буткевич М. В., Чумаченко Д. І. Комп'ютерна програма «Інформаційна технологія збору, обробки та аналізу даних захворюваності на COVID-19», Свідоцтво № 110034 від 03.12.2021.

Висновок наукового керівника

Виконання індивідуального навчального плану, індивідуального плану наукової роботи, досягнення результатів навчання за відповідною науково-освітньою програмою та написання дисертації Буткевичем Миколою Віталійовичем вважаю успішним. Дисертаційна робота є результатом самостійного дослідження, завершеною науковою працею, яка містить наукову новизну. Вона виконана на високому науковому рівні та відповідає всім установленим вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, й може бути рекомендована до захисту, а її автор Буткевич Микола Віталійович – до присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки.

Отже, вважаємо, що дисертаційна робота Буткевича Миколи Віталійовича на тему «Моделі, методи та інформаційна технологія прогнозування часових рядів епідемічних процесів», представлена на здобуття ступеня доктора філософії, відповідає вимогам Порядку присудження наукового ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44). Відтак, вона може бути представлена до захисту в разовій спеціалізованій раді для присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки.

Головуючий на засіданні
кандидат фізико-математичних наук, доцент,
завідувач кафедри математичного моделювання
та штучного інтелекту
Національного аерокосмічного університету
«Харківський авіаційний інститут»



Олексій КАРТАШОВ

Протокол № 8 від «09» квітня 2026 р.