

ВИСНОВОК

**про наукову новизну, теоретичне і практичне значення
результатів дисертації Косовича Ігоря Тарасовича на тему:
«Моделювання прогнозування поширення епідемій методами рухомих
клітинних автоматів та навчання з підкріпленням», 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.

Оскільки процес поширення інфекційних хвороб не може бути досліджений експериментально в нашому суспільстві, тому математичні та імітаційні інструменти, безумовно, забезпечують реальну альтернативу дослідження механізму їх поширення для ефективного контролю шляхом теоретичного моделювання з подальшим аналізом результатів.

Одним з базових підходів для аналізу поширення інфекційних захворювань є класична SIR модель запропонована Кермаком і Маккендриком. В подальшому ця модель одержала велике число більш реалістичних модифікацій, які враховують міграційні процеси, інкубаційний період, смертність та інші фактори.

Інший підхід для моделювання процесів в епідеміології – це імітаційне моделювання з використанням мультиагентного методу. Він дозволяє, задавши початкові параметрами для кожного типу об'єктів і систему правил їхньої взаємодії виявити динамічні закономірності розвитку інфекції і найбільш суттєві властивості агентів, що сприяють зміні темпів поширення.

З цією метою дисертаційна робота спрямована на вивчення сучасних математичних моделей інфекційних захворювань з особливим акцентом на обчислювальні інструменти їх моделювання. Головна увага досліджень направлена на розвинення алгоритмів та методик для математичного моделювання поширення хвороби шляхом включення гібридних підходів до моделювання, які охоплюють класичні епідеміологічні моделі з сучасними

обчислювальними алгоритмами, включаючи мультиагентні алгоритми та машинне навчання.

Тема дисертаційної роботи відповідає науковому напрямку кафедри математичного моделювання факультету математики та інформатики Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича. Дослідження дисертаційної роботи виконуються в рамках держбюджетної наукової теми "Математичне та комп'ютерне моделювання динамічних процесів, що описуються детермінованими і стохастичними диференціально-функціональними та еволюційними рівняннями, і їх застосування" (номер держреєстрації 0120U105712).

Об'єкт дослідження: компартаментні SIR моделі, імітаційне моделювання з використанням мультиагентного методу за допомогою клітинних автоматів, алгоритми машинного навчання з підкріпленням.

Предмет дослідження: математичний аналіз властивостей розв'язків SIR моделі, модифікації SIR моделі на основі рухомих клітинних автоматів, розробка функціональної схеми мультиагентного моделювання, алгоритми реалізації методів машинного навчання для дослідження динаміки епідеміологічних процесів.

Методи дослідження: методи якісної теорії звичайних диференціальних, імітаційне моделювання з використанням мультиагентного методу, методи клітинних автоматів та машинного навчання.

2. Формулювання наукового завдання, нове розв'язання якого отримано в дисертації.

Відповідно до поставленої мети в дисертаційній роботі розв'язано такі основні завдання.

1) Проведено детальний аналіз основних наукових праць та існуючих математичних моделей епідеміологічних процесів з метою виявлення їх переваг та недоліків. Здійснено аналіз найбільш поширеного програмного забезпечення для моделювання епідеміологічних процесів, наведено приклади використання.

2) Розроблено нові алгоритми прогнозування динаміки інфекційних захворювань рухомими клітинними автоматами, що базуються на методах

штучного інтелекту, зокрема машинного навчання та врахування просторово-часової динаміки протікання хвороби.

3) На основі Марковського процесу прийняття рішень запропоновано середовище моделювання, що розширює класичні SIR моделі та реалізовано алгоритм епізодичного машинного навчання для оптимізації прийнятих рішень у задачах поширення COVID-19.

4) Здійснено процес розробки, архітектурного проектування, тестування та розгортання веб-додатку для моделювання поширення інфекцій, який дозволяє користувачам запускати чисельні симуляції, змінювати параметри моделі та аналізувати результати у зручному графічному форматі.

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

Дисертантом у роботі одержано такі нові і важливі результати:

1) Встановлено, що класична SIR моделі Кермака–Маккендріка, яка описує динаміку захворювання на макрорівні, має єдиний розв’язок, досліджено граничні властивості розв’язків SIR моделі.

2) Запропоновано модифікації SIR моделі на основі клітинних автоматів, що базуються на розроблених правилах взаємодії агентів, які враховують вплив різних факторів зовнішнього середовища.

3). Розроблено та реалізовано функціональну схему моделювання різних сценаріїв поширення пандемії COVID-19, проведено аналіз результатів моделювання та запропоновано рекомендації, які дозволяють зменшити негативні наслідки пандемії.

4) Запропоновано SIHRD-модель в якості середовища моделювання динаміки COVID 19 для розширеної класичної SIR-моделі за допомогою епізодичного навчання з підкріпленням.

5) Проведеного моделювання ефективності різних рівнів соціального дистанціювання алгоритмом Advantage Actor-Critic на базі нейронної мережі використанням фреймворку PyTorch за допомогою розробленого прикладного WEB додатку.

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 алгоритмів математичного моделювання та машинного навчання в цілому, так і для розвитку прикладного напрямку оцінки прогнозу ефективності різних рівнів просторових обмежень та соціальної взаємодії для стримування поширення інфекції зокрема. Ідеї та підходи, які використані для досліджень, є результативними. Усі одержані результати є строго математично обґрунтованими, та узгоджуються з відомими раніше результатами.

Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків до розділів, загальних висновків та списку використаних джерел і 2 додатків. 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.

Здобувач продемонстрував високий науковий рівень знання наявних публікацій стосовно досліджень дисертаційної роботи. Для розв'язання поставлених наукових завдань здійснено критичний аналіз літературних джерел, пов'язаних з тематикою дисертаційної роботи, засвоєно, оптимізовано та удосконалено ряд методик для побудови гібридних алгоритмів машинного навчання.

Чисельні експерименти здійснено здобувачем самостійно, їх аналіз та інтерпретація обговорювалися спільно з науковим керівником.

6. Наукове та практичне значення роботи.

Робота ілюструє важливе значення та потенціал математичного моделювання для вивчення закономірностей розповсюдження епідемій та планування політики щодо заходів боротьби з ними. SIR модель та її модифікації добре описують поведінку інфекційних процесів на макрорівні, однак високий рівень абстракції від реальності не дозволяють ефективно передбачити наслідки різноманітних обмежувальних заходів, що

впроваджуються. Поєднання математичного моделювання та машинного навчання до дослідження епідемій дозволяє здійснити моделювання більш чутливим до змін умов протікання хвороби та здійснити більш точні прогнози. Застосування машинного навчання з підкріпленням дозволяє проаналізувати можливі рівні дистанціювання при пандемії та вибрати оптимальні стратегії соціального дистанціювання.

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

Результати перевірки тексту дисертації з використанням антиплагіатної системи TURNITIN показав 6% схожості з джерелами з Інтернету. Робота відповідає принципам академічної доброчесності.

Всі основні положення і висновки дисертаційної роботи достатньо детально висвітлено у 4 статтях автора, з яких 2 статті належать до переліку наукових видань України категорії "Б" і 2 статті проіндексовані у наукометричній базі даних Scopus. Зміст та обсяг публікацій відповідають темі дисертації, відображають основні отримані результати, свідчать про їх новизну.

Результати роботи апробовані на численних міжнародних наукових конференціях і наукових семінарах.

Наукові праці у періодичних наукових фахових виданнях України:

1. Косович І. Т., Щур Т. В., Черевко І. М. Математичне та імітаційне моделювання епідеміологічних процесів. Математичне та комп'ютерне моделювання. Серія: Фізико-математичні науки: Зб. наукових праць. Кам'янець-Подільський, 2022. Вип. 23. С. 49-57. ISSN: 2308-5878.
<https://doi.org/10.32626/2308-5878.2022-23.49-57> (Черевку І. М. належить постановка задачі, визначення загальної схеми досліджень, Щур Т. В. – результати п. 2, а результати п. 1, 3 – автору).
2. Черевко І. М., Косович І. Т. Імітаційне моделювання SIR моделей методом клітинних автоматів. Науковий вісник Ужгородського університету. Серія "Математика і інформатика". Т. 45, No 2. Ужгород : Видавництво УжНУ "Говерла", 2024. С. 276-285. ISSN: 2616-7700.
[https://doi.org/10.24144/2616-7700.2024.45\(2\).276-285](https://doi.org/10.24144/2616-7700.2024.45(2).276-285)

(Черевку І. М. належить постановка задачі та обговорення результатів).

Наукова праці у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у наукометричній базі даних Scopus:

3. Kosovych I., Cherevko I., Vyklyuk Y., Nevinskyi D. Simulation of Various Distribution Restrictions of COVID-19 using Cellular Automata. Proceedings – International Conference on Advanced Computer Information Technologies, ACIT (26–28 September 2022, Spisska Kapitula, Slovakia). P. 58-61. (Scopus) <https://doi.org/10.1109/ACIT54803.2022.9913172>
ISSN: 2770-5226. *(Черевку І. М. та Вуклюку Я. І. належить визначення загальної схеми досліджень, Невінському Д. – обговорення результатів).*
4. Kosovych I., Cherevko I., Shchur T., Shkilniuk D. Computer Modeling of the Dynamics of Epidemiological Processes. Proceedings – International Conference on Advanced Computer Information Technologies, ACIT (19-21 September 2024, Ceske Budejovice, Czech Republic). P. 32-35. (Scopus) <https://doi.org/10.1109/ACIT62333.2024.10712524>
ISSN: 2770-5226 *(Черевку І. М. належить постановка задачі, визначення загальної схеми досліджень, Щур Т. В. – результати п. 2, Шкільнюку Д. В. – обговорення результатів, а результати п. 1, 3 – автору).*

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

5. Косович І. Т. Моделювання різних сценаріїв поширення COVID-19 методом клітинних автоматів. Підстригачівські читання – 2022: матеріали конференції молодих учених (Львів, 25-27 травня 2022 р.). Матеріали конференції. Львів, 2022.
<http://www.iapmm.lviv.ua/chyt2022/abstracts/Kosovych.pdf>
6. Косович І. Імітація поширення COVID-19 методом клітинних автоматів. Матеріали міжнародної наукової конференції "Прикладна математика та інформаційні технології", присвяченої 60-річчю кафедри прикладної математики та інформаційних технологій, 22-24 вересня 2022 р. Чернівці: Чернівецький нац. ун-т, 2022. С. 176-178.
<http://www.amit60.fmi.org.ua/?page=materials>
7. Косович І. Моделювання навчання з підкріпленням для соціального дистанціювання під час COVID-19. Матеріали міжнародної наукової

конференції "Сучасні проблеми механіки та математики – 2023" (23-25 травня 2023 р., Львів, Україна). С. 253-254.

http://iapmm.lviv.ua/mpmm2023/materials/mm07_10.pdf

8. Косович І., Щур Т., Щур О. Моделювання SIR моделей для прогнозування поширення COVID-19. Матеріали міжнародної наукової конференції "Математика та інформаційні технології", присвяченої 55-річчю факультету математики та інформатики, 28-30 вересня 2023 р. Чернівці: Чернівецький нац. ун-т, 2023. С. 225-226.

<https://fmi55.chnu.edu.ua/media/ghufs0d5/materialy-mizhnorodnoi-naukovoi-konferentsii-fmi55.pdf> (Щур Т. В. і Щуру О. В. належить обговорення результатів).

9. Косович І. Т., Черевко І. М., Краснокутський О. С. Агентно-орієнтоване моделювання поширення епідемій. 10 Міжнародна наукова конференція "Сучасні проблеми математичного моделювання, прогнозування та оптимізації" пам'яті проф., чл.-кор. НАПНУ А.Ф. Верланя (28-29 червня 2024 р., Кам'янець-Подільський). Тези доповідей. Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2024. С. 98-100.

https://cs.kpnu.edu.ua/wp-content/uploads/2024/07/optima_2024-tezdop_1.pdf (Черевку І. М. належить постановка задач, визначення загальної схеми досліджень, Краснокутському О.С. – обговорення результатів).

10. Косович І. Ефективність стратегій в боротьбі з епідемією. Матеріали VI Міжнародній науково-практичній конференції "Моделювання, керування та інформаційні технології" (9-11 листопада 2023 року, м. Рівне). С. 121-122.

<https://itconfdoc.nuwm.edu.ua/index.php/ITConf/article/view/414/197>

8. Апробація матеріалів дисертації здійснювалася на таких конференціях:

- конференції молодих учених "Підстригачівські читання – 2022" (Львів, 25–27 травня 2022 р.),

- 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT'2022, 26–28 September 2022, Spisska Kapitula, Slovakia),
- міжнародній науковій конференції "Прикладна математика та інформаційні технології", присвяченої 60-річчю кафедри прикладної математики та інформаційних технологій, 22–24 вересня 2022 р., Чернівці,
- міжнародній науковій конференції "Сучасні проблеми механіки та математики – 2023" (23–25 травня 2023 р., Львів, Україна),
- міжнародній науковій конференції "Математика та інформаційні технології", присвяченої 55-річчю факультету математики та інформатики, 28 вересня 2023 р.,
- VI Міжнародній науково-практичній конференції "Моделювання, керування та інформаційні технології" (9–11 листопада 2023 р., Рівне),
- 10 Міжнародній науковій конференції "Сучасні проблеми математичного моделювання, прогнозування та оптимізації" пам'яті проф., чл.-кор. НАПНУ А.Ф. Верланя (28–29 червня 2024 р., Кам'янець-Подільський),
- 14th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT'2024, 19–21 September 2024, Ceske Budejovice, Czech Republic),
- X Міжнародній науково-практичній конференції "Математика в сучасному технічному університеті" 20–21 лютого 2025 р., Київ,
- наукових семінарах кафедри математичного моделювання факультету математики та інформатики Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича (Чернівці, 2022, 2023, 2024, 2025 рр.).

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.

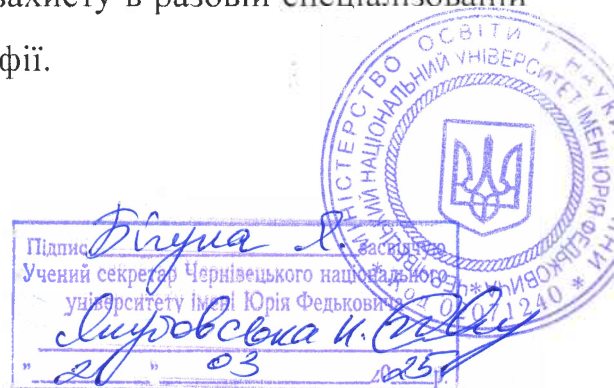
12. Рекомендації дисертації до захисту.

Дисертаційна робота Косовича Ігоря Тарасовича на тему «Моделювання прогнозування поширення епідемій методами рухомих клітинних автоматів та навчання з підкріпленням», 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 на розширеному засіданні кафедри математичного моделювання факультету математики та інформатики Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича 20 березня 2025 року дисертацію Косовича Ігоря Тарасовича рекомендовано до захисту в разовій спеціалізованій вченій раді на здобуття ступеня доктора філософії.

21.03.2025 р.

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



Ярослав БІГУН