Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0826U004453

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 10-08-2026

Статус: Захищена

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:

II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Балаба Ярослав Андрійович

2. Yaroslav Balaba

Кваліфікація: 122

Ідентифікатор ORCID ID: 0009-0005-9710-2971

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 122

Назва наукової спеціальності: Комп'ютерні науки

Галузь / галузі знань: інформаційні технології

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Комп'ютерні науки

Дата захисту: 07-09-2026

Спеціальність за освітою: прикладна математика

Місце роботи здобувача: Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

Код за ЄДРПОУ: 02071180

Місцезнаходження: вул. Кирпичова, Харків, Харківський р-н., 61002, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

III. Відомості про організацію, де відбувся захист

Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради): PhD 16306

Повне найменування юридичної особи: Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

Код за ЄДРПОУ: 02071180

Місцезнаходження: вул. Кирпичова, Харків, Харківський р-н., 61002, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію

Повне найменування юридичної особи: Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

Код за ЄДРПОУ: 02071180

Місцезнаходження: вул. Кирпичова, Харків, Харківський р-н., 61002, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації: Українська

Коди тематичних рубрик: 20.54.06, 20.54.08

Тема дисертації:

1. Гібридні дробові FSIR-моделі епідемій з ембеддингом параметрів і фізично інформованими нейронними мережами (PINN)

2. Hybrid discrete-time FSIR epidemic models with parameter embedding and physically informed neural networks (PINN)

Реферат/анотація:

1. У дисертаційній роботі вирішено науково-практичне завдання розроблення та дослідження методів гібридного моделювання епідемічних процесів на основі дробових SIR-рівнянь із нейромережевою ідентифікацією часозмінних параметрів. Запропонований підхід поєднує фізичну інтерпретованість механістичних моделей, можливість врахування ефектів пам'яті за допомогою дробових диференціальних рівнянь та адаптивність машинного навчання при роботі з реальними зашумленими даними COVID-19. Об'єкт дослідження – процеси поширення інфекційних захворювань з ефектами пам'яті та нестаціонарними параметрами передачі. Предмет дослідження – математичні моделі, алгоритми та методи гібридного моделювання на основі дробових SIR-рівнянь із нейромережевою параметризацією. Метою роботи є

розроблення методів гібридного моделювання епідемічних процесів, що поєднують механістичне моделювання з адаптивною параметризацією на основі даних. У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету, задачі, об'єкт і предмет дослідження, визначено наукову новизну, практичне значення, наведено відомості про апробацію результатів, публікації та структуру дисертації. У першому розділі виконано аналіз сучасних підходів до моделювання епідемічних процесів, розглянуто моделі SIR і SEIR, дробові моделі, методи чисельного розв'язання, аналізу чутливості, машинного навчання та фізично-інформовані нейронні мережі. Визначено основні наукові проблеми, що стали основою подальших досліджень. У другому розділі розроблено математичну постановку FSIR-моделі з похідною Капуто, доведено її основні властивості та реалізовано алгоритм чисельного інтегрування на основі методу Адамса–Башфорта–Мултона. Проведено параметричний аналіз впливу порядку дробової похідної, коефіцієнтів передачі й вилучення та початкових умов на динаміку епідемії. У третьому розділі запропоновано гібридну архітектуру FSIR+ML для ідентифікації часозмінних параметрів □(t) та □(t), розроблено моделі MLP і PINN, виконано їх синтетичну верифікацію та запропоновано двоетапну стратегію навчання, що поєднує попереднє навчання нейромережі з фізично-інформованим донавчанням. У четвертому розділі розроблені моделі апробовано на реальних даних COVID-19 для Німеччини, Італії та України. Побудовано ієрархію з п'яти моделей різної складності та виконано їх порівняльний аналіз. Показано, що локальні FSIR-PINN-моделі забезпечують найкраще співвідношення точності, стійкості та інтерпретованості. У п'ятому розділі проведено аналіз чутливості PINN-моделей до структурних, інформаційних і стохастичних факторів. На основі 118 експериментальних конфігурацій визначено оптимальні налаштування моделей та сформульовано рекомендації щодо їх застосування до реальних епідемічних часових рядів. За результатами дослідження: обґрунтовано доцільність використання дробових SIR-моделей для опису епідемічних процесів; розроблено математичну постановку FSIR-моделі та алгоритм її чисельної реалізації; виконано параметричний аналіз впливу ефектів пам'яті; запропоновано гібридну архітектуру FSIR+MLP/PINN і двоетапну стратегію навчання; проведено порівняльне дослідження п'яти моделей на реальних даних COVID-19; виконано аналіз чутливості моделей та сформульовано практичні рекомендації щодо вибору архітектури й гіперпараметрів. Практичне значення роботи полягає у можливості використання отриманих результатів для систем епідеміологічного моніторингу, ретроспективного аналізу епідемічних хвиль, оцінювання часозмінних параметрів передачі, побудови сценарних прогнозів, а також у навчальному процесі та подальших дослідженнях з математичного моделювання, аналізу даних і фізично-інформованого машинного навчання.

2. The dissertation addresses the scientific and practical problem of developing and investigating hybrid methods for epidemic process modeling based on fractional SIR equations with neural network identification of time-varying parameters. The proposed approach combines the physical interpretability of mechanistic models, the ability of fractional differential equations to capture memory effects, and the adaptability of machine learning methods when working with real-world noisy COVID-19 data. The object of the research is the spread of infectious diseases characterized by memory effects and non-stationary transmission parameters. The subject of the research comprises mathematical models, algorithms, and computational methods for hybrid epidemic modeling based on fractional SIR equations with neural network parameterization. The aim of the study is to develop hybrid modeling methods that combine mechanistic epidemic models with data-driven adaptive parameterization. The introduction substantiates the relevance of the research topic, formulates the aim and objectives, defines the object and subject of the study, presents the scientific novelty and practical significance of the obtained results, and provides information on the author's contribution, publications, and the structure of the dissertation. Chapter 1 presents a review of contemporary approaches to epidemic modeling, including classical SIR and SEIR models, fractional-order models, numerical solution methods, sensitivity analysis, machine learning techniques, and physics-informed neural networks. Based on this review, the key research gaps that motivated the dissertation are identified. Chapter 2 develops the mathematical formulation of the fractional SIR (FSIR) model with the Caputo derivative, proves its fundamental properties, and implements a numerical integration algorithm based on the Adams–Bashforth–Moulton method. A parametric analysis is conducted to investigate the influence of the

fractional-order parameter, transmission and recovery rates, and initial conditions on epidemic dynamics. Chapter 3 proposes a hybrid FSIR+ML framework for identifying time-varying transmission and recovery parameters □(t) and □(t). MLP- and PINN-based architectures are developed and validated on synthetic data, and a two-stage training strategy combining neural network pre-training with physics-informed fine-tuning is proposed. Chapter 4 applies the developed models to real COVID-19 data from Germany, Italy, and Ukraine. A hierarchy of five models with increasing complexity is constructed and systematically compared. The results demonstrate that local FSIR-PINN models provide the best balance between prediction accuracy, robustness, and interpretability. Chapter 5 presents a comprehensive sensitivity analysis of PINN models with respect to structural, informational, and stochastic factors. Based on 118 experimental configurations, optimal model settings are identified, and practical recommendations for applying hybrid models to real epidemic time series are formulated. The main scientific results include the justification for using fractional SIR models to describe epidemic processes with memory effects, the development of the mathematical formulation of the FSIR model and its numerical solution algorithm, a systematic analysis of memory effects on epidemic dynamics, the development of a hybrid FSIR+MLP/PINN architecture and a two-stage training strategy, a comparative evaluation of five epidemic models using real COVID-19 data, and a sensitivity analysis leading to practical recommendations for selecting model architectures and hyperparameters. The practical significance of the research lies in the applicability of the proposed methods to epidemiological surveillance systems, retrospective analysis of epidemic waves, estimation of time-varying transmission parameters, and scenario forecasting. The developed methods may also be used in education and future research in computer science, mathematical modeling, data analysis, and physics-informed machine learning.

Державний реєстраційний номер ДіР:

Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки: Інформаційні та комунікаційні технології

Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності: Розвиток сучасних інформаційних, комунікаційних технологій, робототехніки

Підсумки дослідження: Нове вирішення актуального наукового завдання

Публікації:

- Балаба Я. А., Погорєлов С. В. Аналіз чутливості параметрів і порядку дробової похідної FSIR-моделі. Наука і техніка сьогодні. 2026. № 3 (57). С. 3255-3272 (Б) https://doi.org/10.52058/2786-6025-2026-3(57)-3255-3272
- Погорєлов С. В., Балаба Я. А. Гібридна модель FSIR з ембеддингом параметрів методами машинного навчання. Вимірювальна та обчис-лювальна техніка в технологічних процесах. 2026. № 2. С. 497-506. (Б) https://doi.org/10.31891/2219-9365-2026-85-47
- Погорєлов С. В., Балаба Я. А. Дробова SIR-модель хвиль COVID-19 з часозмінними параметрами та ідентифікацією на основі нейромереже-вих методів. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 2026. № 1. С. 383-396 (Б). https://doi.org/10.31891/2219-9365-2026-86-59
- Погорєлов С. В., Балаба Я. А., Татар'янц М. С., Беркунський Є. Ю., Павленко А. Ю. Систематичний аналіз чутливості фізично-інформованих нейронних мереж у задачах моделювання епідемічних часових рядів: ковзаючі вікна, коваріати та стохастична стабільність. Автоматизовані системи управління та прилади автоматики. 2026. №189. С. 309-324. https://doi.org/10.30837/0135-1710.2026.189.309
- 5. Balaba Y. A., Dunaievska O. I., Strelnikova A. Yu. Simulation of the spread of hepatitis during combat // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXI Міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2023, 17–20 травня 2023 р. / за ред. проф. Є. І. Сокола. – Харків : НТУ «ХПІ», 2023. – С. 1064.
- 6. Balaba Y. A., Gomozov Y. P., Dunaievska O. I. Mathematical forecasting of the outbreak of epidemics // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXII Міжнародної

науково-практичної конференції MicroCAD-2024, 22–25 травня 2024 р. / за ред. проф. Є. І. Сокола. – Харків : НТУ «ХПІ», 2024. – С. 1274.

- 7. Balaba Y. A., Gomozov Y. P. Forecasting the possibility of a pandemic // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXIII Міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2025, 14–17 травня 2025 р. / за ред. проф. Є. І. Сокола. – Харків : НТУ «ХПІ», 2025. – С. 1476.
- 8. Pohorielov S., Balaba Y. Sensitivity analysis of FSIR model parameters with the prospect of hybrid integration of machine learning // Проблеми викладання математики у закладах освіти: теорія, методика, практика: тези доповідей IV Міжнародної конференції на честь О. В. Погорєлова, 23–25 березня 2026 р., м. Харків, Україна. – Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2026. – С. 307–309.
- 9. Balaba Ya. A., Pohorielov S. V., Tretyakova O. Yu. Sensitivity analysis of the fractional SIR model and hybrid neural network identification of time-varying parameters // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXIV Міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2026, 13–16 травня 2026 р. – Харків : НТУ «ХПІ», 2026. – С. 1601.
- 10. Balaba Ya. A., Pohorielov S. V., Tatariants M. S. Hybrid FSIR+PINN models on real COVID-19 data: comparative analysis and practical recommendations // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXIV Міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2026, 13–16 травня 2026 р. – Харків : НТУ «ХПІ», 2026. – С. 1600.
- 11. Погорєлов С. В., Балаба Я. А. FSIR-модель хвиль COVID-19 з часозмінними параметрами та ідентифікацією на основі нейромережних методів // VI Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційна безпека та інформаційні технології»: матеріали конференції, 29 квітня – 1 травня 2026 р. – Харків – Острог : Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 2026. – С. 105–106. ISBN 978-966-418-589-6.

Наукова (науково-технічна) продукція: програмні продукти, програмно-технологічна документація

Соціально-економічна спрямованість: поліпшення якості життя та здоров'я населення, ефективності діагностики та лікування хворих

Охоронні документи на ОПІВ:

Впровадження результатів дисертації: Впроваджено

Зв'язок з науковими темами:

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Погорєлов Станіслав Вікторович

2. Stanislav V. Pohorielov

Кваліфікація: д. ф.-м. н., професор, 01.04.01

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-0189-8655

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

Код за ЄДРПОУ: 02071180

Місцезнаходження: вул. Кирпичова, Харків, Харківський р-н., 61002, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Золотухін Олег Вікторович

2. Oleg Zolotukhin

Кваліфікація: к. т. н., доцент, 05.13.23

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-0152-7600

Додаткова інформація: https://www.webofscience.com/wos/author/record/E-5814-2018;
https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57207774022;
https://scholar.google.com.ua/citations?user=B1sT8KsAAAAJ

Повне найменування юридичної особи: Харківський національний університет радіоелектроніки

Код за ЄДРПОУ: 02071197

Місцезнаходження: проспект Науки, Харків, Харківський р-н., 61166, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Стрілець Вікторія Євгенівна

2. Viktoriia Strilets

Кваліфікація: к. т. н., 05.13.06

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-2475-1496

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Код за ЄДРПОУ: 02071205

Місцезнаходження: майдан Свободи, Харків, Харківський р-н., 61022, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Єльчанінов Дмитро Борисович

2. Dmytro B. Yel'chaninov

Кваліфікація: к. т. н., доц., 05.13.12

Ідентифікатор ORCID ID: 000-0002-5163-9117

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Харківський національний університет радіоелектроніки

Код за ЄДРПОУ: 02071197

Місцезнаходження: проспект Науки, Харків, Харківський р-н., 61166, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Гавриленко Світлана Юріївна

2. Svitlana Gavrylenko

Кваліфікація: д. т. н., професор, 05.13.05

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-6919-0055

Додаткова інформація: https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57189042150; https://scholar.google.com.ua/citations?hl=ru&user=4Vn1dBkAAAAJ

Повне найменування юридичної особи: Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

Код за ЄДРПОУ: 02071180

Місцезнаходження: вул. Кирпичова, Харків, Харківський р-н., 61002, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

VIII. Заключні відомості

Власне Прізвище Ім'я По-батькові голови ради	Галуза Олексій Анатолійович
Власне Прізвище Ім'я По-батькові головуючого на засіданні	Галуза Олексій Анатолійович
Відповідальний за підготовку облікових документів	Карпенко Наталія Вячеславівна
Реєстратор	Юрченко Тетяна Анатоліївна

Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є відповідальним за реєстрацію наукової діяльності



Юрченко Тетяна Анатоліївна