

## ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації *Сидора Петра Олеговича* за темою «Методи прогнозування природних катастроф на основі технологій штучного інтелекту», поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 121 – інженерія програмного забезпечення (галузь знань 12 – інформаційні технології)

### **Обґрунтування вибору теми дослідження.**

У сучасних умовах глобалізації та зростаючої мобільності, туризм стає однією з найбільш популярних сфер діяльності, що вимагає підвищеної уваги до питань безпеки туристів. З огляду на збільшення частоти природних катастроф, таких як лісові пожежі, урагани, землетруси та повені, стає очевидною необхідність розробки нових інформаційних технологій, які дозволять туристам і організаторам подорожей ефективно планувати маршрути з урахуванням потенційних ризиків. Особливу актуальність у цьому контексті має створення математичних моделей та методів прогнозування кризових явищ, що здатні передбачати розвиток небезпечних ситуацій та їх вплив на туристичні напрямки.

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

Робота виконується відповідно до планів науково-дослідницьких робіт кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича за держбюджетною тематикою: «Дослідження, моделювання та розробка програмного забезпечення складних динамічних систем» (Державний реєстраційний номер 0121U109232).

*Метою дисертаційного дослідження* є розробка інноваційної інформаційної технології для планування безпечних туристичних подорожей, яка базується на передових методах прогнозування природних катастроф з використанням технологій штучного інтелекту. Ця технологія має інтегрувати математичні моделі прогнозування кризових явищ, таких як лісові пожежі, урагани та паводки, в інформаційні системи для визначення рівня загрози та оповіщення користувачів про потенційні ризики в конкретних географічних локаціях з метою підвищення рівня безпеки та інформованості туристів, забезпечення можливості своєчасної адаптації та коригування туристичних маршрутів відповідно до прогнозованих умов навколишнього середовища, тим самим зменшуючи ризик негативного впливу природних катастроф на туристичний досвід.

*Методи досліджень.* В якості апарату досліджень застосовувалися наступні методи: лінійні моделі – для аналізу простих залежностей між метеорологічними факторами та інцидентами лісових пожеж; ANFIS – для прогнозування лісових пожеж, з врахуванням різноманітних чинників, таких

як погодні умови та ландшафт; нейронні мережі – для моделювання та прогнозування лісових пожеж на основі великих даних про погодні умови та інші впливові фактори; LSTM – прогнозування лісових пожеж, на основі часових рядів даних про погоду та інші екологічні параметри; кореляційний аналіз – для виявлення зв'язків між погодними умовами та виникненням ураганів, а також аналіз взаємозв'язку між різними параметрами, що впливають на паводки та лісові пожежі; R/S аналіз – для дослідження довготривалих залежностей у даних про лісові пожежі; дерево рішень – класифікація та прогнозування паводків; ансамбль моделей – для поліпшення точності прогнозів паводків та лісових пожеж, забезпечуючи більш надійне та точне визначення ризиків.

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

Відповідно до поставленої мети в дисертаційній роботі розв'язані такі основні *задачі*:

1. Проведено глибокий огляд літератури та існуючих підходів до прогнозування лісових пожеж, ураганів, паводків та інших природних катастроф з метою виявлення їхніх переваг і недоліків та існуючих програмних засобів для планування туристичних подорожей, зокрема аналіз їх функціональності та обмежень у контексті забезпечення безпеки та інформування користувачів про ризики природних катастроф.
2. Розроблено нові методи прогнозування лісових пожеж, заснованих на методах штучного інтелекту, зокрема машинного навчання та глибокого навчання.
3. Розроблено нові методи прогнозування ураганів за допомогою штучного інтелекту, які б враховували велику кількість факторів, включаючи атмосферні та океанічні умови.
4. Розроблено нові методи прогнозування паводків, які інтегрують дані з різних джерел та використовують прогресивні технології аналізу даних для підвищення точності прогнозів.
5. Досліджено й оцінено ефективності розроблених математичних методів та алгоритмів штучного інтелекту на реальних даних для оцінки їх ефективності та точності прогнозування.
6. Інтегровано розроблені методи прогнозування в інформаційну технологію для планування безпечних туристичних подорожей, що дозволить користувачам отримувати актуальну інформацію про ризики природних катастроф в обраних регіонах.

**Наукові положення, розроблені особисто дисертантом, та їх новизна:**

- Вдосконалено математичні моделі прогнозування лісових пожеж на основі ANFIS, ANN та LSTM шляхом застосування кореляційного та лагового аналізу з використанням сплайн-інтерполяції для виявлення часових

затримок між піками сонячної активності та виникненням пожеж, що дозволило підвищити точність прогнозування до 93% для великих та 92% для малих пожеж.

- Вдосконалено математичні моделі прогнозування ураганів на основі LSTM, нейронних мереж (ANN) та лінійних моделей шляхом застосування лагового аналізу для виявлення взаємозв'язку між піками сонячної активності та інтенсивністю ураганів, що дозволило досягти високої точності прогнозування до 92% і поліпшити відтворення динаміки ураганів ( $R^2 = 0,99$  для LSTM).

- Вдосконалено ансамблі класифікаційних моделей та моделі на основі дерев рішень для прогнозування паводків шляхом встановлення взаємозв'язку між піками сонячної активності та паводками, що дозволило підвищити точність прогнозування до 97% (на 1 день вперед) і 92% (на 9 днів вперед).

- Розроблено MLOps технологію для систем з малим і середнім обсягом вхідних даних шляхом впровадження імперативної моделі, що дозволило знизити складність виконання програмних потоків, незважаючи на відхилення від традиційних принципів програмування (DRY).

- Вдосконалено UML модель через інтеграцію координатора, що забезпечило створення універсальної платформи "все в одному", особливо ефективної для роботи з малими та середніми обсягами даних.

**Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які захищаються, підтверджується** використанням сучасних методів штучного інтелекту, адекватною вибіркою даних, валідацією результатів за допомогою метричних оцінок, порівнянням з існуючими методами прогнозування, а також розробленою MLOps технологією, яка знизила складність виконання програмних потоків і підвищила ефективність роботи з малими та середніми обсягами даних, що в сукупності забезпечило високу точність і надійність моделей.

**Особистий внесок здобувача** полягає в розробці математичних моделей прогнозування паводків, ураганів і лісових пожеж, інформаційних технологій для систем безпечних туристичних подорожей, а також алгоритму створення мобільного додатку для підтримки подорожей, що підтверджено відповідними науковими публікаціями.

Оглядовий розділ показав високий **рівень обізнаності Здобувача з результатами наукових досліджень інших учених.**

**Наукове та практичне значення роботи** полягає в удосконаленні математичних моделей прогнозування природних катастроф (лісових пожеж, ураганів, паводків) на основі сучасних методів штучного інтелекту (ANFIS, ANN, LSTM) та кореляційно-лагового аналізу. Отримані результати сприяють підвищенню точності прогнозування природних явищ, що має вагомe значення для попередження катастрофічних наслідків та підвищення безпеки

людей. Практичне значення роботи проявляється у можливості застосування розроблених моделей і технологій для створення систем раннього попередження, що можуть бути використані у різних галузях, таких як екологічний моніторинг, управління надзвичайними ситуаціями та планування безпечних подорожей.

*Результати дисертаційної роботи впроваджено:*

– в Управлінні інвестиційної політики та туризму департаменту регіонального розвитку Чернівецької обласної державної адміністрації, де застосовано комплекс методів, включаючи лінійні моделі, ANFIS та нейронні мережі для аналізу і прогнозування ризиків таких природних явищ як лісові пожежі, урагани та паводки. Ці методи допомагають оцінювати потенційні небезпеки в різних регіонах та формувати рекомендації щодо безпечних туристичних маршрутів. (акт впровадження від 14 травня 2024 р.);

– у ГС «РТО «Гостинна Буковина», де впроваджено інформаційну систему, розроблену на основі алгоритмів дисертації Сидора П.О., яка аналізує потенційні ризики природних катастроф (лісові пожежі, урагани, паводки) в регіонах пропонованих туристичних маршрутів. Система використовує прогнозні моделі для оповіщення менеджерів та клієнтів про можливі небезпеки. (акт впровадження від 2 травня 2024 р.);

– інституті географії Сербської академії мистецтв та наук де застосування передових методів прогнозування підвищило якість наукових публікацій співробітників Інституту, збільшило цитованість і міжнародне визнання, посилило міждисциплінарну взаємодію в рамках наукових проектів географії та екології. (акт впровадження від 29 квітня 2024 р.).

**Повнота викладу матеріалів дисертації у публікаціях та особистий внесок Здобувача в публікації.**

Усі наукові результати дисертації одержано автором самостійно. Опубліковано 7 наукових праць, у тому числі 2 статті у наукових фахових виданнях, 1 – індексована у науковій базі даних Scopus **Q2**.

У працях, надрукованих у співавторстві, автору належить наступне:

[1] Malinović-Milićević S., Vykylyuk Y., Radovanović M. M., Milenković M., Pešić A.M., Milovanović B., Popović T., Sydor P., Petrović M. D., Applying machine learning in the investigation of the link between the high-velocity streams of charged solar particles and precipitation-induced floods. *Environmental Monitoring and Assessment* 2024. V196. 400. ISSN: 01676-369 (Scopus, **Q2**).  
(*Особистий внесок: розробка математичної моделі прогнозування паводків*)

[2] Шаховська Н., Сидор П., Розроблення архітектури системи планування безпечних туристичних подорожей Вісник Хмельницького національного університету. *Технічні науки*. 2022. №1. (305). С.96-101 (*Особистий внесок: розробка інформаційної технології*)

[3] Сидор П.О., Виклюк Я.І., Ансамблеві моделі прогнозування повеней у Великій Британії на основі сонячної активності. Вісник Хмельницького національного університету. *Технічні науки*. 2024. №2. (333). С. 218-231

*(Особистий внесок: розробка математичної моделі прогнозування паводків)*

*Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації*

[4] Vyklyuk Y., Radovanović M. M., Sydor P. Hurricane Forecasting Using by Parallel Calculations & Machine Learning 2018 IEEE 1st International Conference on System Analysis and Intelligent Computing, SAIC 2018 - Proceedings 31 October 2018 Kyiv, 2018, Article number 8516872 *(Особистий внесок: Створення математичної моделі прогнозування ураганів)*

[5] Виклюк Я.І., Сидор П.О., Кунанець Н. Е., Пасічник В.В. Прогнозування лісових пожеж на основі ANFIS та паралельних розрахунків. Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту: Матеріали міжнародної наукової конференції. Херсон: Видавництво ФОП Вишемирський В. С. с. Залізний Порт 21- 27 травня 2018 р. С.41-42 *(Особистий внесок: створення математичної моделі прогнозування лісових пожеж)*.

[6] Виклюк Я.І. Прогнозування лісових пожеж в Португалії / Сидор П.О., Виклюк Я.І. // С. 25-32. Комп'ютерне моделювання та програмне забезпечення інформаційних систем і технологій (КМПЗ\_2024) - : зб. наук. праць (тези доповідей та вибрані статті) IV Міжнародної науково–практичної конф. КМПЗ\_2024. – (Чернівці, 30 травня – 01 червня 2024) / наук. ред. і відп. за вип. проф. В.М Заяць.- Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2024. – 342 с. *(Особистий внесок: створення математичної моделі прогнозування лісових пожеж)*

*Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації*

[7] Сидор П.О., Виклюк Я.І., Мобільна система інформаційної підтримки з рекомендаціями для безпечних подорожей. Науковий вісник НЛТУ України 2024. том 34. №3. С.103-109 *(Особистий внесок: алгоритм створення мобільного додатку)*

### **Апробація матеріалів дисертації.**

Матеріали дисертаційної роботи обговорювалися на міжнародних наукових конференціях. Зокрема на наукових конференціях: IEEE 1st International Conference on System Analysis and Intelligent Computing, SAIC (31 October 2018 Kyiv), Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту (Залізний Порт 21- 27 травня 2018 р.), Комп'ютерне моделювання та програмне забезпечення інформаційних систем і технологій, КМПЗ\_2024 (Чернівці, 30 травня – 01 червня 2024).

### **Оцінка мови і стилю дисертації.**

Дисертація написана на достатньо високому фаховому рівні, стиль викладення результатів дослідження забезпечує доступність їх сприйняття.

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

За змістом дисертаційна робота, її наукові результати та висновки відповідають спеціальності 121 – інженерія програмного забезпечення з галузі знань 12 – інформаційні технології.

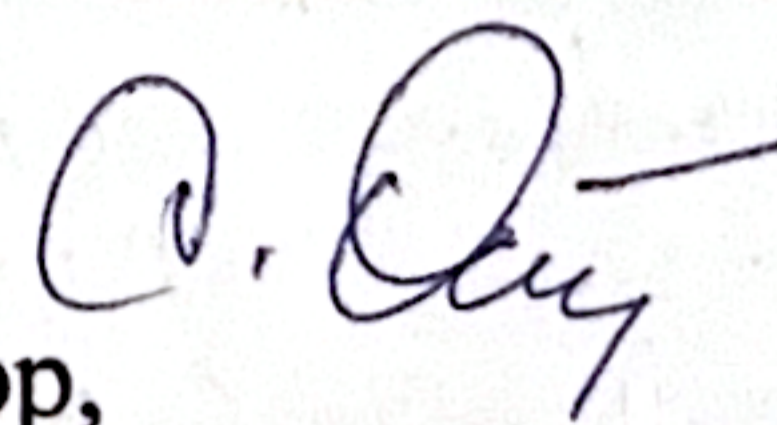
**Дотримання нормативних вимог щодо оформлення дисертації.**

Нормативні вимоги щодо оформлення дисертації дотримані повністю.

**Рекомендація дисертації до захисту.**

Розглянувши дисертацію Сидора Петра Олеговича на тему «Методи прогнозування природних катастроф на основі технологій штучного інтелекту» та наукові публікації, в яких висвітлено основні матеріали дисертації, визначивши особистий внесок у всіх зарахованих за темою дисертації публікаціях із співавторами, а також за результатами попередньої експертизи (фахового семінару), вважаємо, що робота актуальна, має наукову новизну та практичну цінність, є самостійно виконаною науковою працею, відповідає вимогам пунктів 6, 7, 8, 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої 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 № 341 від 21.03.2022, № 502 від 19.05.2023, № 507 від 03.05.2024); за результатами публічної презентації результатів дисертації та їх обговорення на засіданні кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем №4 від 9.10.2024 навчально-наукового інституту фізико-технічних та комп'ютерних наук Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича дисертацію Сидора Петра Олеговича «Методи прогнозування природних катастроф на основі технологій штучного інтелекту» рекомендовано до захисту в разовій спеціалізованій раді для здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 12 – інформаційні технології за спеціальністю 121 – інженерія програмного забезпечення.

Голова засідання,  
доктор фізико-математичних наук, професор,  
завідувач кафедри програмного забезпечення  
комп'ютерних систем  
Чернівецького національного університету  
імені Юрія Федьковича



Сергій ОСТАПОВ

