

## РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

Бандурки Олени Іванівни

на тему «Методи і алгоритми аналізу геоданих для рішення задачі  
антропогенного впливу на довкілля»

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 12 – Інформаційні технології

за спеціальністю 121 – Інженерія програмного забезпечення

### **Актуальність теми дисертації.**

Дослідження існуючих науково-обґрунтованих підходів в аналізі геоданих для рішення задач оцінки антропогенного впливу на довкілля та, безпосередньо, пов'язаних з розробкою методів та моделей дослідження лісових пожеж, сприяли формуванню, за останні роки, нового пріоритетного підходу, пов'язаного із забезпеченням інформаційним системам модульності, універсальності, можливості обробки великих об'ємів статистичних даних та проведення складних розрахунків.

У сучасних умовах важливим завданням є мінімізація ризиків виникнення лісових пожеж на основі статистичної моделі Байєса для підтримки управлінських рішень. Ці завдання ускладнюються тим, що їх доцільно поділити на ряд часткових завдань, одним з яких є створення математичної моделі прогнозування виникнення лісових пожеж. Існуючі фізико-математичні моделі дослідження розповсюдження та нейтралізації лісових пожеж розглядають наслідки розповсюдження пожежі, а не самі причини виникнення. Теоретичні моделі засновані на фундаментальних фізико-математичних та хімічних законах, але верифікація таких моделей досить складна. Статистичні моделі використовують лише статистичні дані. Напівемпіричні моделі застосовують загальні фізичні закони у вигляді спрощених залежностей. Проте завдяки автоматизованим системам, які вміщують математичний апарат, відбувається спрощення моделей. Запропонована статистична модель Байєса та дешифрування космічних знімків дозволить підвищити оперативність та достовірність запропонованих альтернативних рішень при прогнозуванні ризиків виникнення лісових пожеж.

Отже, на сьогоднішній день є актуальним виконання наукового завдання, яке полягає в розробці науково-методичного апарату прогнозування виникнення лісових пожеж на основі статистичної моделі в інтеграції з геододатками для підтримки управлінських рішень, вирішенню якого і присвячена дисертаційна робота Бандурки О.І.



## **Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.**

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

*Вперше* розроблено архітектуру програмного забезпечення системи прогнозування виникнення лісових пожеж на основі статистичної моделі Байєса, яка відрізняється від існуючих використанням математичної моделі оцінки впливу температури навколишнього середовища на імовірність виникнення лісових пожеж, методу дешифрування супутникових знімків та математичної моделі прогнозування виникнення лісових пожеж. Використання зазначеного програмного забезпечення дозволяє розробити інформаційну систему прогнозування лісових пожеж.

*Вперше* розроблено математичну модель оцінки впливу температури навколишнього середовища на ймовірність виникнення лісових пожеж, яка базується на аналізі довгострокового періоду кліматичних статистичних даних, за допомогою Data Science. Модель дозволяє проводити дослідження впливу глобальних змін температури на виникнення лісових пожеж.

*Удосконалено* метод дешифрування супутникових знімків для ідентифікації пожежонебезпечних місць та визначення територій, уражених пожежами, яка заснована на спектральному аналізі температур яскравості. Зазначений метод при дешифруванні дозволяє виключити із знімків фрагменти, які покриті хмарами та зайняті водними об'єктами для встановлення просторово-часових характеристик пожеж. Реалізація даного методу також дозволить встановити території, уражені пожежами, та визначити їх клас пожежної небезпеки.

*Вперше* розроблено математичну модель прогнозування виникнення лісових пожеж на основі статистичної моделі Байєса, яка заснована на оцінюванні апостеріорних імовірностей таксаційних характеристик лісових виділів. Зазначена математична модель є основою для розробки програмного забезпечення прогнозування виникнення лісових пожеж та підвищує точність оцінювання зазначених апостеріорних імовірностей в середньому на 12-18 %.

*Удосконалено* методику оцінки наслідків пожеж за даними дистанційного зондування Землі, яка на відміну від існуючих, адаптована на обробку знімків низької роздільної здатності та базується на встановленні пожежного індексу. Реалізація зазначеної методики дозволить підвищити точність оцінювання породного складу та площ уражених ділянок лісових угідь в середньому на 8-12 %, а також підвищити оперативність вирішення завдань у порівнянні з традиційними методиками у 25-30 разів.

Обґрунтованість і достовірність наукових результатів ґрунтуються на застосуванні коректного математичного апарату та використання технологій



геоінформаційних систем та дистанційного зондування Землі з використанням сучасного програмно-алгоритмічного забезпечення та верифікації результатів.

Наукові положення, рекомендації та теоретичні висновки досягнуті завдяки використанню методів системного та порівняльного аналізу (для визначення актуальності та постановки наукового завдання дисертаційної роботи). Методи дослідження на основі математичної статистики та Data Science (для оцінки впливу температури навколишнього середовища на виникнення лісових пожеж), теорії ймовірностей (для прогнозування виникнення лісових пожеж). Для обробки космічних знімків, їх дешифрування та класифікації використовуються геоінформаційні методи.

Розроблений науково-методичний апарат прогнозування лісових пожеж може використовуватися також для обліку й інвентаризації лісів та створення лісових карт. Інформація, отримана в результаті реалізації алгоритмічно-програмного забезпечення дозволяє провести власну оцінку інформації, порівнявши її з офіційними даними Державного комітету статистики та Державного агентства лісових ресурсів. Зокрема, запропонована статистична модель Байєса та дешифрування космічних знімків дозволили підвищити достовірність запропонованих альтернативних рішень при прогнозуванні ризиків виникнення лісових пожеж.

Наукові результати досліджень є внеском у розвиток теоретичних і прикладних основ розроблення й дослідження науково-методичного апарату з розробки моделей та методів прогнозування виникнення лісових пожеж.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі інженерії програмного забезпечення в енергетиці КПІ ім. Ігоря Сікорського в рамках таких НДР:

1. Теоретико-методичні основи аналізу ризику в контексті розробки механізмів захисту критичної енергетичної структури в Україні. 2018 – 2020 р. Номер державної реєстрації: 0117U006080.
2. Управління ризиками сталого розвитку території з використанням методів штучного інтелекту. 2021 – 2022 р. Номер державної реєстрації: 0120U105256.

Результати дисертаційного дослідження мають високий інженерний та практичний рівень та впроваджені в ДП «Словечанський лісгосп» та UAB «Zaliosios mediena», Lietuva з метою впровадження моніторингу лісових угідь з використанням даних супутникових спостережень. Удосконалений метод дешифрування супутникових знімків використовується для визначення територій, уражених пожежами та ідентифікації згарищ. Створена математична модель дозволяє прогнозувати виникнення лісових пожеж, спричинених негативним антропогенним впливом.



Наукові дослідження були виконані під керівництвом професора кафедри інженерії програмного забезпечення в енергетиці КПІ ім. Ігоря Сікорського д.т.н., професора Барабаша Олега Володимировича та доцента кафедри інженерії програмного забезпечення в енергетиці КПІ ім. Ігоря Сікорського к.т.н. Шпурика Вадима Вадимовича.

Результати дослідження також впроваджені в навчальний процес кафедри інженерії програмного забезпечення в енергетиці НН ІАТЕ КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання розробки науково-методичного апарату прогнозування виникнення лісових пожеж на основі статистичної моделі в інтеграції з геододатками для підтримки управлінських рішень виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

### **Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.**

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Бандурки О.І. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 121- Інженерія програмного забезпечення та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми Інженерія програмного забезпечення.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям Інженерії програмного забезпечення.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Бандурки Олени Іванівни є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

### **Мова та стиль викладення результатів.**

Дисертаційна робота написана українською мовою. В роботі використаний науковий стиль та загальноприйнята термінологія. Матеріал викладено зрозуміло та з логічною послідовністю. Подано огляд існуючих математичних методів дослідження розповсюдження лісових пожеж та існуючих сучасних інформаційних систем моніторингу стану довкілля, висвітлено нагальний стан проблеми. В кожному розділі є відповідні посилання на відповідні джерела та представлені результати досліджень. Робота виконана в чіткій логічній послідовності відповідно до поставлених мети і задач досліджень, що сприяє доступності сприйняття та використання.



Дисертація складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 199 сторінок.

У *вступі* висвітлено актуальність теми дисертації, зазначений зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами. Вказана мета та завдання, предмет та об'єкт дослідження. Описані методи дослідження. Наведена наукова новизна одержаних результатів та їх практичне значення. Зазначений особистий внесок здобувача.

У *першому розділі* міститься короткий аналіз розповсюдження та прогнозування виникнення лісових пожеж, заснований на роботах вітчизняних і закордонних фахівців. Проводиться аналогія між досліджуваними геоінформаційними системами стану рослинності. Проаналізовано основні математичні методи та моделі дослідження розвитку та нейтралізації лісових пожеж. Для створення прогнозової моделі та встановлення вихідних параметрів необхідне розуміння розповсюдження лісових пожеж. Досить обґрунтованим є використання математичних методів та програмних засобів.

У *другому розділі* наведено поетапну реалізацію методів та алгоритмів, результатом яких є розробка науково-методичного апарату прогнозування виникнення лісових пожеж на основі статистичної моделі Байєса в інтеграції з геоодатками для підтримки управлінських рішень.

У *третьому розділі* описано основу реалізації та застосовано підхід з використанням сучасних архітектурних рішень та методик, здатних покращити процеси розробки та впровадження алгоритмічно-програмних комплексів. Описані методи та програмні засоби розробки програмного забезпечення, об'єктно-орієнтований підхід до проектування та реалізації науково-методичного апарату забезпечують раціональний уніфікований процес проектування та розробки програмного забезпечення.

У *четвертому розділі* висвітлено результати розробки, моделювання та впровадження системи прогнозування виникнення лісових пожеж. Описано спроектовані та реалізовані програмні модулі, які містять набір методів та алгоритмів для дослідження та прогнозування виникнення лісових пожеж. Наведено опис основних можливостей обчислення параметрів та функцій моделі. З метою перевірки вірності застосованих математичних моделей, точності отриманих результатів та загальної ефективності проведено перевірку на достовірність та оперативність. Вперше розроблено математичну модель оцінки впливу температури навколишнього середовища на виникнення лісових пожеж, яка базується на аналізі довгострокового періоду кліматичних статистичних даних, за допомогою Data Science. Модель дозволяє проводити дослідження впливу глобальних змін температури на виникнення лісових пожеж.



Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

### **Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.**

Наукові результати дисертації висвітлені у 5 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 4 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 1 стаття у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Scopus.

Також результати дисертації були апробовані на 10 наукових фахових конференціях.

Всі публікації здобувача відповідають високому науковому рівню. В кожній з наукових публікацій дотримано принципів академічної доброчесності. В них детально описані головні наукові здобутки. Роботи, опубліковані у співавторстві, відображають особистий внесок автора, розкривають результати дисертаційних досліджень та не викликають сумнівів.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

1. Для дослідження виникнення та розповсюдження лісових пожеж доцільно було б використати методи на основі теорії графів для візуального моделювання об'єктів, в яких ключову роль відіграють зв'язки між елементами об'єкту, що мало б більш наочне відображення в порівнянні з іншими методами. Теорію графів можна було б використати і в геоінформаційних системах.
2. В основу дисертації покладено ідею автора щодо розробки методів і алгоритмів аналізу геоданих для рішення задачі антропогенного впливу на довкілля. Разом з тим, у дисертації не наведено достатньої кількості статистичних даних щодо аналізу процесу використання існуючих програмних засобів рішення задачі антропогенного впливу на довкілля.
3. Дисертанткою розроблено математичну модель прогнозування виникнення лісових пожеж на основі статистичної моделі Байєса, яка заснована на оцінюванні апостеріорних імовірностей таксаційних характеристик лісових виділів. Проте для візуалізації результатів потрібно було ще створити імітаційну модель, яка б відображала процес пожежі та відтворення лісового покриву.
4. Для відображення результатів моделювання потрібно більше використовувати можливості геоінформаційної системи для створення картографічного додатку, який містить відображенням результатів



модельовання з метою надання особам, що приймають рішення, детальної інформації.

5. В дисертаційній роботі необхідно зазначити можливість застосування отриманих результатів в інших сферах людської діяльності для зменшення ризику настання катастрофічних явищ у вигляді лісових пожеж та підтримки управлінських рішень.

Проте, висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

### **Висновок про дисертаційну роботу.**

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Бандурки Олени Іванівни на тему «Методи і алгоритми аналізу геоданих для рішення задачі антропогенного впливу на довкілля» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для 12 – Інформаційні технології. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п. 6 – 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.

Здобувач Бандурка Олена Іванівна заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 – Інформаційні технології за спеціальністю 121 – Інженерія програмного забезпечення.

### **Рецензент:**

Професор кафедри інженерії програмного забезпечення в енергетиці  
навчально-наукового інституту атомної та теплової енергетики  
Національного технічного університету України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

доктор технічних наук, доцент

«24» травня 2023 року



Підпис Андрій МУСІЄНКО  
**ЗАСВІДЧУЮ**  
**Відділ кадрів**  
підпис (Т.Ковалюк) пр-ще