

Голові спеціалізованої вченої ради

ДФ 58.052.010

Тернопільського національного  
технічного університету ім. І. Пулюя  
доктору технічних наук, професору  
Лупенку Сергію Анатолійовичу

**ВІДГУК  
ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА**

кандидата технічних наук, доцента, доцента кафедри «Медичної інформатики»

Тернопільського національного медичного університету

імені І. Я. Горбачевського

**Климук Наталії Ярославівни**

на дисертаційну роботу Міляна Назара Васильовича

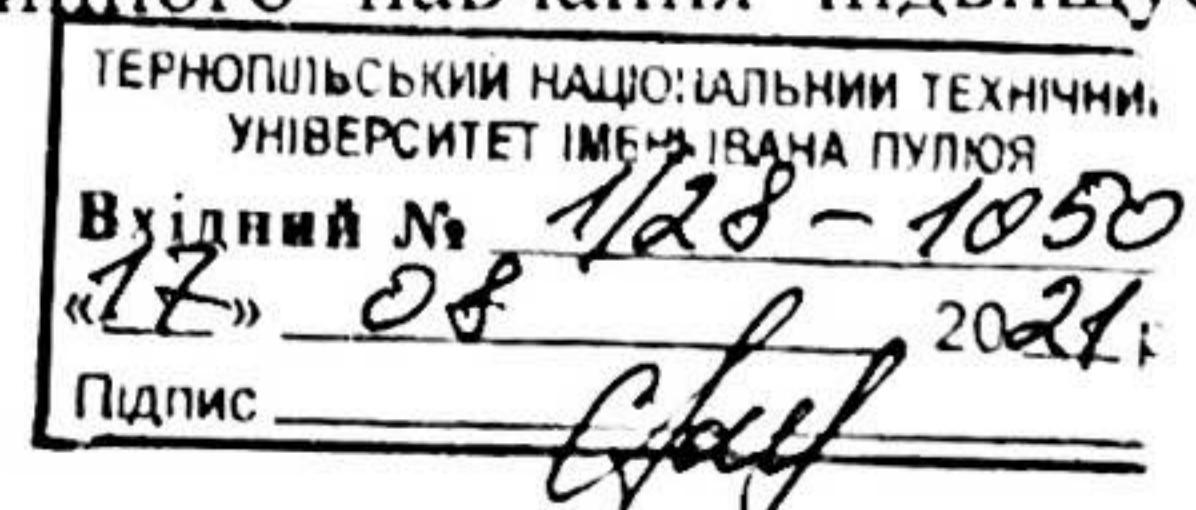
на тему «Моделі і методи прийняття рішень при створенні клінічних  
діагностичних систем»

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 122 – Комп’ютерні науки

**1. Актуальність теми дисертаційної роботи та зв’язок з науковими  
планами і програмами**

1.1. Застосування інформаційних технологій потребують різні галузі, зокрема й медицина. Успішне удосконалення медичної теорії і практики суттєво залежить від наявного теоретичного, експериментального й технологічного потенціалу сучасної науки, а також від наявності сучасних інформаційно-аналітичних програмних засобів та інструментів. Алгоритми машинного навчання використовуються для широкого класу медичних задач: для аналізу даних обстежень з допомогою медичного обладнання, моніторингу стану пацієнта тощо. Застосування моделей машинного навчання підвищує



ефективність роботи лікаря, позбавляючи його від виконання рутинних дій, зокрема опрацювання медичних даних, що надходять з різних джерел.

На процеси прийняття рішень впливають невизначеності, які виникають у процесі постановки та розв'язування задач машинного навчання в основних медичних процесах, тому запропоновані у дослідженні методи класичного та глибокого машинного навчання в умовах невизначеності з використанням мінімаксного підходу та розвинутий метод наукового машинного навчання є актуальними, оскільки удосконалюють сучасне інформаційне забезпечення для обробки у системних медичних досліджень.

1.2. Дослідження виконувалось у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя в межах науково-дослідної роботи Тернопільського національного медичного університету імені І. Я. Горбачевського, зокрема наукової теми «Кібер-фізичне моделювання в дослідженнях медико-біологічних процесів», номер держреєстрації №0119U000509, де здобувачу належить метод розв'язування задачі класифікації кібер-фізичних систем медико-біологічних процесів на основі алгоритму наукового МН, та в межах програми Європейського Союзу «Еразмус +» для освіти в рамках гранту КА2 (проект № 2020-1-PL01-KA203-082197 «Інновації для великих даних у реальному світі»), де здобувачу належить метод розв'язування задач класичного і глибокого машинного навчання на основі мінімаксного критерію в умовах епістемічної і алеаторної невизначеностей.

## **2. Аналіз змісту дисертації. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації**

2.1. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка містить вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел і чотири додатки.

У *вступі* обґрунтовано актуальність дослідження, поставлено мету та визначено основні завдання дослідження, об'єкт та предмет дослідження, наведено перелік методів дослідження, що застосовувались для досягнення поставленої мети дисертаційної роботи. Викладено наукову новизну, практичне

значення отриманих результатів та особистий внесок здобувача. Подано відомості про апробацію та опубліковані результати досліджень.

У *першому* розділі проаналізовано області використання і можливості Big Data та розглянуто методики аналізу великих даних. Розглянуто типові алгоритми задач машинного навчання в умовах алеаторної та епістемічної невизначеностей. Проаналізовано результати в галузі машинного навчання та описано важливість оптимізації, ефективність та дієвість алгоритмів чисельної оптимізації.

У *другому* розділі здійснено математичне представлення задачі індукції дерева рішень, наведено приклад реалізації індукції дерева рішень, що є прототипом для реалізації на основі хмарної платформи для системних медичних досліджень; представлено розробку архітектури на основі мікросервісів, здійснено концептуальне представлення інформаційної моделі задачі прийняття рішень для невідкладної медичної допомоги при настанні серцевої недостатності та представлено підхід до реалізації рішення задачі невідкладної медичної допомоги на основі архітектури мікросервісів, який базується на використанні фреймворків Spring, Spring Boot та Spring Cloud frameworks.

У *третьому* розділі здійснено математичний опис задачі машинного навчання в умовах визначеності та розроблено модель машинного навчання для системних медичних досліджень. У результаті експериментальних досліджень отримано моделі машинного навчання на основі п'яти методів та продемонстровано, що найточнішою моделлю відповідно до оцінки якості прогнозування є метод випадкового лісу. Розглянуто питання зменшення розмірності в умовах невизначеності та реалізовано модифікацію методу головних компонент щодо стратегії передискретизації, представлено загальну блок-схему побудови моделі машинного навчання на основі мінімаксного критерію в умовах епістемічної та алеаторної невизначеності, реалізовано на основі розробленої схеми машинного навчання приклад для кардіологічних даних.

У четвертому розділі представлено реалізацію архітектури нейронної мережі на основі щільної U-Net мережі у середовищі Google Collab на загальнодоступному наборі даних DRIVE з використанням бібліотеки машинного навчання Tensorflow для сегментації судин сітківки очного дна із застосуванням мінімаксного критерію. Запропоновано метод розв'язування задачі класифікації кіберфічних біосенсорних систем на основі алгоритму наукового машинного навчання, що дозволяє оптимальним чином підібрати параметри системи, а саме: початкові умови, швидкісні параметри та час імунної відповіді, при цьому забезпечивши операційну або самостійкість системи.

*Висновки до розділів та загальні висновки* випливають зі змісту роботи, є логічними та містять розгорнутий перелік основних результатів одержаних у дисертаційному дослідженні.

*Додатки* містять список публікацій здобувача, фрагменти програмного коду, який було використано для отримання результатів наведених у дисертації, приклад реалізації наукового машинного навчання для класифікації кіберфічних біосенсорних систем та акти впровадження результатів дисертаційного дослідження.

2.2. Обґрунтованість представлених у дисертаційному дослідженні наукових положень, висновків і рекомендацій полягає перш за все у комплексному підході до вирішення поставлених наукових задач, оскільки тему дослідження розкрито всебічно і докладно. Наукові положення та висновки обґрунтовані, оскільки логічно випливають із результатів, отриманих з допомогою методів алгоритмів прийняття рішень, методів класичного та глибокого машинного навчання.

### **3. Наукова новизна одержаних результатів**

3.1. Підтверджую, що наукову новизну одержаних результатів дисертаційного дослідження Міляна Н. В. складають:

1. здійснено постановку задач класичного і глибокого машинного навчання в умовах епістемічної і алеаторної невизначеностей та

запропоновано метод розв'язування на основі мінімаксного критерію; отримано подальший розвиток методів машинного навчання на основі хмарних обчислень, що дало можливість реалізувати прототип програми до розв'язування задач машинного навчання на віддалених платформах на основі даних електронних медичних записів з підтримкою технології Big Data;

2. розроблено метод зменшення розмірності даних із втратою найменшої кількості інформації на основі методу головних складових в умовах алеаторної невизначеності, що дало можливість враховувати лише атрибути з найбільшими значеннями поясненої варіації на множині стратегій передискретизації;

3. запропоновано метод розв'язування задачі класифікації кіберфічних біосенсорних систем. Це дозволило розробити алгоритм якісного аналізу динамічних моделей медико-біологічних процесів, що зводиться до розв'язування задачі машинного навчання, який дозволяє прогнозувати можливі стани кіберфізичної біосенсорної системи;

4. отримано розвиток методів розробки архітектури інформаційних систем прийняття рішень на основі мікросервісів, що дозволило одержати концептуальне представлення інформаційної моделі для прийняття рішень у системних медичних дослідженнях на основі архітектури мікросервісів, здатне бути використаним у проблемах профілактики, діагностики та лікування, та впровадженим у шпитальні та лабораторні інформаційні системи на хмарних платформах.

3.2. Вважаю, що наукові результати здобувача є важливим внеском у розвиток моделей і методів прийняття рішень при створенні клінічних діагностичних систем в умовах невизначеностей. Застосування мінімаксного підходу для вибору моделей класичного і глибокого машинного навчання в умовах епістемічної та алеаторної невизначеностей надає нові можливості щодо опрацювання медичних даних, що надходять з різних джерел.

## **4. Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної добродетелі та повнота викладу наукових результатів в опублікованих працях**

*4.1. Оформлення дисертації.* Дисертаційну роботу викладено на 184 сторінках друкованого тексту, основний зміст викладено на 116 сторінках, де наведено 25 рисунків та 8 таблиць, список використаних джерел складає 195 найменувань. Оформлення дисертації відповідає усім необхідним атестаційним вимогам.

*4.2. Дотримання вимог академічної добродетелі.* Проведена перевірка дисертації на наявність академічного плагіату, отримані результати свідчать про високу індивідуальність роботи. У дисертації не виявлено текстових запозичень і використання наукових результатів інших науковців без посилань на відповідні джерела.

*4.3. Повнота викладу результатів в опублікованих працях.* Основні результати дисертації опубліковано у 11 наукових працях: з них дві статті у наукових фахових періодичних виданнях України; одна стаття у закордонному фаховому періодичному виданні; отримано один патент на корисну модель; 7 публікацій у матеріалах міжнародних та всеукраїнських наукових, науково-технічних конференцій. З них одна робота входить до міжнародної наукометричної бази Scopus, дві роботи входять до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus. Ці наукові результати відповідають вимогам Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 06 березня 2019 року №167.

## **5. Наукове та практичне значення результатів дисертаційної роботи**

Наукове значення виконаного дослідження полягає у застосуванні мінімаксного підходу для класичного та глибокого машинного навчання в умовах епістемічної та алеаторної невизначеностей; розроблено метод зменшення розмірності даних із втратою найменшої кількості інформації на основі методу головних складових в умовах алеаторної невизначеності;

запропоновано метод розв'язування задачі класифікації кіберфічних біосенсорних систем

Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів та запропонованих автором рішень, висновків, рекомендацій забезпечується коректним використанням аналітичного та числового апарату досліджень; адекватністю теоретичних розрахункових результатів; відповідністю висновків і отриманих результатів досліджуваних явищ; порівнянням рішень з відомими у літературі; зіставленням отриманих результатів з даними інших авторів і узгодженням з поставленими завданнями. Результати досліджень ілюстровані таблицями, графіками і рисунками. Прийняті в дисертації рішення мають наукову новизну, обґрунтовані та вирішують поставлені задачі досліджень, у ході розв'язання яких розроблено мінімаксний підхід до розв'язування задач класичного, глибокого та наукового машинного навчання в умовах невизначеностей на основі даних системних медичних досліджень.

Практичне значення результатів дослідження полягає у розробці мінімаксного підходу для класичного та глибокого машинного навчання в умовах невизначеності, який удосконалює сучасне інформаційне забезпечення для обробки системних медичних досліджень. Реалізовано та представлено у дисертаційному дослідженні: мінімаксний підхід на основі класичного машинного навчання для кардіологічних даних, U-Net модель для сегментації судин очного дна засобами машинного навчання із застосуванням мінімаксного підходу. Результати роботи впроваджено у навчальний процес Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та Тернопільського національного медичного університету імені І. Я. Горбачевського.

## **6. Зауваження та дискусійні положення щодо змісту дисертації**

1. У другому розділі запропоновано прототип програми до розв'язування задач МН на віддалених платформах на основі даних електронних медичних записів з підтримкою технології Big Data для приросту даних, що безумовно є

дуже цінним напрацюванням. Однак повна реалізація алгоритму на віддалених платформах та відповідні дослідження результатів доповнили б роботу.

2. У другому розділі, де розглядаються питання архітектури систем прийняття рішень на основі системних медичних досліджень запропонований підхід на основі мікросервісної архітектури, проте було б доцільно окрім підходу здійснити реалізацію.

3. У пункті «2.2.1 Питання архітектури систем прийняття рішень: розробка архітектури на основі мікросервісів» представлено огляд архітектури систем прийняття рішень на основі мікросервісів, що доцільніше було б перенести у теоретичний розділ, залишивши лише власні розробки та напрацювання.

4. Робота містить окремі стилістичні, граматичні та синтаксичні огріхи, наявні недоліки редакційного характеру.

Слід зазначити, що усі відмічені недоліки не знижують наукової та практичної цінності результатів дисертаційного дослідження здобувача.

## 7. Висновки

7.1. Дисертаційна робота Міляна Назара Васильовича на тему «Моделі і методи прийняття рішень при створенні клінічних діагностичних систем» є завершеною науково-дослідною працею, у якій отримано нові наукові обґрунтовані результати, розв'язано важливе наукове завдання, яке полягає у розвитку методів класичного, глибокого машинного навчання в умовах невизначеності з використанням мінімаксного підходу та розвинутий метод наукового машинного навчання. *Одержані наукові та практичні результати є вагомим внеском у розвиток алгоритмів побудови моделей класичного та глибокого машинного навчання в умовах епістемічної та алеаторної невизначеностей. Результати можуть бути застосовані у системних медичних дослідженнях для підвищення якості профілактики, діагностики та лікування за рахунок застосування мінімаксного підходу.* Зміст роботи повністю відповідає спеціальності 122 – Комп’ютерні науки.

7.2. Дисертаційна робота за ступенем актуальності обраної теми, обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх новизни, повноти викладу в наукових публікація, зарахованих за темою дисертації, відсутності порушень академічної добродетелі цілком відповідає Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 06 березня 2019 року №167, а її автор, Мілян Назар Васильович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 – Комп’ютерні науки.

Офіційний опонент  
кандидат технічних наук, доцент  
кафедри «Медичної інформатики»  
Тернопільського національного  
 медичного університету  
імені І. Я. Горбачевського



Н. Я. Климук