

ВІДГУК

офіційного опонента

**кандидата технічних наук, доцента кафедри інформаційних систем та
мереж Інституту комп'ютерних наук та інформаційних технологій
Національного університету "Львівська політехніка"**

Чируна Любомира Вікторовича

**на дисертаційну роботу Бизкровного Олександра Миколайовича
«Моделі та методи розроблення програмного забезпечення
прогнозування дорожньо-транспортних пригод в реальному часі»,
подану на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 12
Інформаційні технології за спеціальністю 121 Інженерія програмного
забезпечення**

1. Актуальність теми дисертації

Зростання інтенсивності дорожнього руху та швидкостей транспортних засобів супроводжується сталою кількістю дорожньо-транспортних пригод, значна частка яких припадає на перехрестя та ділянки з обмеженою оглядовістю. Наявні бортові системи безпеки діють виключно в зоні покриття власних сенсорів, а тому не здатні виявити небезпеку, приховану рельєфом, забудовою чи іншими транспортними засобами.

Кооперативні системи класу V2X теоретично усувають це обмеження, однак їх ефективність прямо залежить від щільності оснащених автомобілів, що робить упровадження таких систем тривалим і капіталомістким. У цьому контексті обраний здобувачем шлях – перенесення функції прогнозування в інфраструктуру дороги, тобто на автономні IoT-пристрої, встановлені на небезпечних ділянках руху є логічним і практично привабливим: він не потребує дооснащення кожного автомобіля, працює з транспортними засобами будь-якого року випуску і за побудовою забезпечує роботу в режимі реального часу. Додатковою перевагою запропонованого рішення є сповіщення водія без розкриття даних його геолокації.

Отже, тема дисертаційної роботи є актуальною та своєчасною, а її результати мають безпосередню прикладну спрямованість у задачах інтелектуальних транспортних систем та «розумного міста».

2. Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Наукову новизну одержаних у дисертації результатів становлять такі положення:

- *Уперше запропонована модель розроблення програмного забезпечення прогнозування виникнення дорожньо-транспортних пригод на перехрестях для роботи в режимі реального часу, яка використовує моделі обчислювального інтелекту та алгоритми адаптації роботи на IoT пристроях, що дозволяє виконувати прогнозування локально, без обробки відео-потoku на сервері, що вирішує фундаментальні проблеми усунення затримок реакції систем в режимах роботи в реальному часі. Використання запропонованої моделі забезпечує швидку горизонтальну масштабованість системи, без створення єдиної точки відмови, так як модель використовується в розподіленій програмній системі.*
- *Уперше запропонована гібридна модель розроблення програмного забезпечення прогнозування виникнення дорожньо-транспортних пригод на різноманітних ділянках руху, яка ґрунтується на використанні моделей обчислювального інтелекту та методів обчислювальної геометрії для визначення потенційних дорожньо-транспортної пригод. Дана модель оптимізована для локальної роботи на IoT-пристроях без серверної обробки. Використання запропонованої гібридної моделі дозволяє зменшити об'єм навчальних даних на 40% у порівнянні з попередньо запропонованою моделлю, а також дозволяє використання загальних та уже існуючих наборів даних класифікації, без створення специфічних наборів тренувальних даних. Додатково, зменшена кількість класів для класифікації на 80%, що дозволяє використовувати невеликі моделі комп'ютерного зору, що мають перевагу у швидкості роботи.*
- *Уперше запропонований метод проектування програмного забезпечення, що використовує запропоновані моделі прогнозування виникнення дорожньо-транспортних пригод, в основі якого лежить використання системи розподілених обчислень, де кожен обчислювальний елемент є автономною одиницею прогнозування. Архітектура програмного забезпечення сфокусована на використанні хмарних рішень, IoT пристроїв (Jetson, Raspberry), MQTT протоколу передачі даних та алгоритму GeoHash, що використовується для маршрутизації повідомлень та зменшенні затримки на стороні шини повідомлень. Додаткові пристрої, встановлені на одній ділянці, дозволяють розширювати зону прогнозування з 120° до 360°. Система підтримує навантаження до 100 повідомлень в секунду з одного IoT пристрою та до 20 000 повідомлень в секунду для акаунту AWS. Запропонований метод проектування програмного забезпечення, що*

використовує запропоновані моделі прогнозування ДТП допомагає уникнути до 60% небезпечних ситуацій.

Достовірність одержаних результатів не викликає сумнівів: у роботі коректно поєднано методи комп'ютерного зору, обчислювальної геометрії та статистичної теорії виявлення, у якій рішення формалізовано через гіпотези H_0/H_1 з розмежуванням помилок I та II роду, а розрахункові та експериментальні дані узгоджуються між собою. Ефективність моделей комп'ютерного зору оцінено за повним набором загальноприйнятих метрик – Precision, Recall, F1, mAP@0.5 та mAP@0.5:0.95, а також за часом інференсу – із фіксацією умов навчання (табл. 2.3–2.5). Придатність запропонованого методу підтверджено натурним експериментом на 80 сценаріях у середовищі BeamNG.tech із наскрізним вимірюванням часових показників: імовірність правильного виявлення небезпеки становила $P^D = 0,67$ у повному діапазоні швидкостей і зростала до $P^D = 0,80$ за дотримання швидкісного режиму, середня затримка доставки повідомлення дорівнювала 0,298 с за допустимого порога 500 мс, а повний цикл «виявлення небезпеки – зупинка транспортного засобу» тривав у середньому 1,93 с (п. 3.8).

Наведене дає підстави стверджувати, що поставлене в дисертації наукове завдання розв'язано в повному обсязі, а здобувач продемонстрував ґрунтовне володіння методологією наукового дослідження.

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

За тематикою та змістом дисертаційна робота О.М. Бизкровного цілком узгоджується зі Стандартом вищої освіти за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення» і відповідає напрямам досліджень освітньо-наукової програми Харківського національного університету радіоелектроніки. Роботу виконано впродовж 2022–2026 років згідно з планом науково-дослідних робіт кафедри програмної інженерії цього університету.

Дисертація є завершеним самостійним науковим дослідженням, у якому чітко простежується особистий внесок здобувача у розвиток напрямку інженерії програмного забезпечення.

Ознайомлення зі звітом про перевірку роботи на плагіат дає підстави робити висновки, що дисертація О.М. Бизкровного є результатом самостійної наукової праці та не містить ознак фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату чи неправомірних запозичень. Виявлені збіги припадають на власні раніше опубліковані праці здобувача, у яких висвітлювалися основні результати дослідження, а всі використані ідеї, результати й тексти інших авторів супроводжуються належними посиланнями.

З огляду на викладене, дисертаційна робота О.М. Бизкровного є оригінальною і не містить ознак фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень.

4. Мова та стиль викладення результатів

Дисертацію викладено українською мовою, послідовно й логічно. Стиль відповідає вимогам академічного письма, автор упевнено оперує фаховою термінологією інженерії програмного забезпечення, яка точно передає суть розглядуваних питань. Ілюстративний матеріал – діаграми UML і SysML, схеми архітектури, графіки метрик та таблиці експериментів – є доречним і полегшує сприйняття тексту.

Дисертаційна робота Бизкровного Олександра Миколайовича містить анотацію двома мовами, вступ, чотири розділи, висновки, перелік джерел посилання та два додатки. У додатках наведено список публікацій здобувача та відомості про впровадження результатів дисертації. Загальний обсяг роботи становить 178 сторінок, зокрема 165 сторінок основного тексту. Робота містить 57 рисунків, 35 таблицю, список джерел із 70 найменувань та 2 додатки.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, визначено мету та завдання дослідження, окреслено його об'єкт і предмет, схарактеризовано методи, наукову новизну й практичне значення отриманих результатів, а також подано відомості про особистий внесок здобувача та апробацію роботи.

Перший розділ присвячено аналізу сучасного стану забезпечення безпеки руху механічних транспортних засобів: у ньому опрацьовано статистику дорожньо-транспортних пригод, найнебезпечніші маневри та типи перехресть, наявні методи й моделі виявлення й попередження ДТП, штатні системи безпеки автомобілів та інтелектуальні рішення на основі машинного навчання. За результатами аналізу окреслено недоліки відомих підходів, сформульовано вимоги до методів розв'язання задачі та здійснено її постановку.

Другий розділ містить запропоновані моделі прогнозування виникнення ДТП. Розглянуто архітектури моделей комп'ютерного зору, описано модель класифікації передумов ДТП на перехрестях з її вхідними та вихідними даними, процедурою формування набору даних і методикою оцінювання, у якій рішення виражено гіпотезами H_0 (безпечна ситуація) та H_1 (небезпечна ситуація). Виконано порівняння моделей YOLOv7 і Faster R-CNN та досліджено їхню швидкодію на одноплатному комп'ютері Jetson TX2 NX, а також запропоновано гібридну модель, у якій рішення про безпеку ухвалює шар обчислювальної геометрії.

У третьому розділі викладено метод розроблення програмного забезпечення прогнозування ДТП. Визначено сценарії використання, функціональні та нефункціональні вимоги й обмеження, подано Use Case діаграму (рис. 3.7) та SysML Requirement Diagram (рис. 3.8). На основі сценаріїв атрибутів якості обґрунтовано архітектурні рішення – шину повідомлень MQTT AWS IoT Core, маршрутизацію за алгоритмом GeoHash і

метод визначення полігону зони дії за координатами GPS; наведено діаграму розгортання (рис. 3.14), діаграми послідовностей (рис. 3.15, 3.16), характеристики апаратного забезпечення IoT-пристроїв та методику оцінювання методу за трьома критеріями.

Четвертий розділ репрезентує результати практичної реалізації запропонованих рішень: описано побудову експериментального середовища на базі BeamNG.tech із програмованими сценаріями руху автомобілів і наведено результати випробування прототипу IoT-пристрою прогнозування ДТП (табл. 4.1–4.4), зокрема розбір випадків, коли попередження було недостатнім, та напрями подальшого вдосконалення.

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

5. Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Основні наукові результати дисертації відображено у 7 наукових працях, з яких 4 – статті у виданнях, що на дату опублікування належали до переліку фахових видань України, а 3 – публікації у матеріалах міжнародних наукових конференцій. Результати роботи апробовано на трьох міжнародних конференціях: COLINS-2023 (Харків, Україна), Environment. Technology. Resources. (Резекне, Латвія) та 2024 IEEE Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences eStream (Вільнюс, Литва).

У наукових публікаціях здобувача результати дослідження висвітлено повно та на належному науковому рівні. В усіх працях дотримано принципів академічної доброчесності, що виявляється у коректному цитуванні використаних джерел і відсутності будь-яких форм плагіату.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості застосування запропонованого програмного забезпечення для завчасного сповіщення водія про виявлену передумову ДТП поза зоною дії бортових систем безпеки; на відміну від рішень класу V2X, воно не потребує оснащення кожного окремого автомобіля, що зменшує вартість послуги та пришвидшує впровадження. Результати роботи впроваджено в ІТ-фірмі «РІІТ» для інформування екстрених служб про факт виникнення ДТП з метою кращої координації та навігації бригад екстреної допомоги (довідка про впровадження від 03.02.2026).

Отже, наукові результати, викладені в дисертації, знайшли повне відображення в наукових публікаціях здобувача.

6. Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. Статистичне підґрунтя першого розділу побудовано майже виключно на даних Сполучених Штатів Америки. Поза увагою залишилася європейська статистика аварійності (зокрема бази CARE, звіти ETSC) та дані щодо України, а також країни, у структурі транспортного потоку яких

переважає мототранспорт. Це звужує обґрунтування репрезентативності обраних для дослідження сценаріїв та маневрів.

2. У роботі не проаналізовано впливу лівостороннього руху (Велика Британія, Індія, Японія) на працездатність запропонованих моделей: геометричні припущення щодо небезпечних маневрів і напрямків векторів руху сформульовано для правостороннього руху. Доцільно було б окремо зазначити, чи потребує модель переналаштування в таких умовах.

3. Запропоновані моделі не враховують засобів організації дорожнього руху – світлофорів, дорожніх знаків, розмітки. На регульованих перехрестях це може призводити до хибних спрацювань, оскільки геометричний перетин траєкторій сам собою ще не означає небезпеки.

4. Рішення системи є бінарним (H_0/H_1), а сповіщення – однотипним. Не передбачено градації рівнів загрози та рекомендованих дій водія, що знижує інформативність попередження: отримавши однаковий сигнал у принципово різних ситуаціях, водій не має підстав обрати адекватну реакцію. Запровадження порогових значень або класів загрози посилює практичну цінність рішення.

5. Зауваження щодо термінології та оформлення: у тексті переважно вживається термін «обробка» (зображень, даних, відеопотоку), тоді як нормативнішим у сучасній українській науково-технічній мові є термін «опрацювання»; частину підписів і легенд на рисунках та графіках подано англійською мовою – ілюстративний матеріал доцільно уніфікувати за мовою.

Загалом висловлені зауваження мають рекомендаційний характер, не применшують наукової новизни та практичної значущості одержаних результатів і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертації.

7. Висновок про дисертаційну роботу

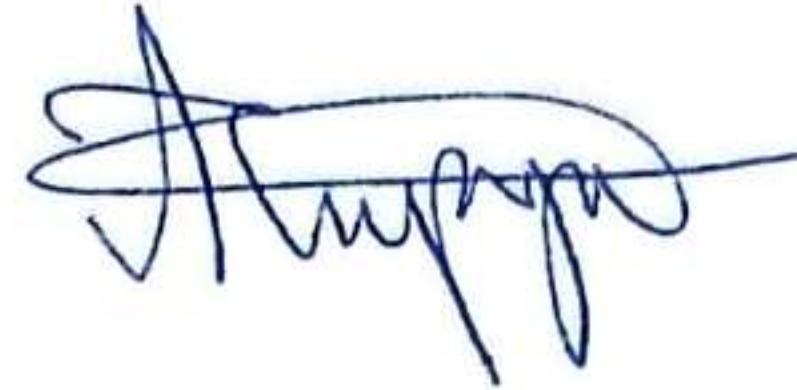
На підставі проведеного розгляду вважаю, що дисертаційна робота Бизкровного Олександра Миколайовича на тему «Моделі та методи розроблення програмного забезпечення прогнозування дорожньо-транспортних пригод в реальному часі», подана на здобуття ступеня доктора філософії, виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є завершеним науковим дослідженням, сукупність теоретичних і практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 12 Інформаційні технології.

За актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною робота цілком відповідає вимогам чинного законодавства України, передбаченим пп. 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 Бизкровний Олександр Миколайович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення.

Офіційний опонент:

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри інформаційних систем та мереж
Національного університету
«Львівська політехніка»



Любомир ЧИРУН

Підпис к.т.н., доцента Любомира ЧИРУНА

ЗАСВІДЧУЮ:

Проректор

Національного університету

«Львівська політехніка»



Володимир ЖЕЖУХА