

ВІДГУК
ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора філософії, доцента

Коппа Андрія Михайловича

на дисертаційну роботу Бизкровного Олександра Миколайовича на тему

**«Моделі та методи розроблення програмного забезпечення
прогнозування дорожньо-транспортних пригод в реальному часі»,**

подану на здобуття ступеня доктора філософії

за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення

галузі знань 12 Інформаційні технології

1. Актуальність теми дисертації

Забезпечення безпеки дорожнього руху належить до тих прикладних задач, у яких навіть незначне скорочення часу попередження водія має безпосередній вимірюваний ефект. Сучасні бортові системи активної безпеки працюють у межах зони дії власних сенсорів автомобіля і принципово не спроможні оцінювати ситуацію за перешкодами – будівлями, рельєфом, іншими транспортними засобами. Крім того, такими системами оснащені переважно нові моделі автомобілів, що створює суттєву нерівномірність рівня поінформованості учасників руху.

Альтернативні підходи – системи, побудовані на ретроспективних даних, та кооперативні системи класу Vehicle-to-Everything – мають відомі обмеження: перші не забезпечують роботи в режимі реального часу, другі потребують масового дооснащення транспортних засобів комунікаційними модулями і досягають практичної користі лише за високої щільності оснащених учасників. Саме тому пошук програмно-інженерних рішень, які працюють поза зоною дії бортових сенсорів, не потребують дооснащення кожного автомобіля і забезпечують сповіщення в реальному часі, є безумовно актуальною науковою та прикладною проблемою.

Значний інтерес викликає те, що дисертаційне дослідження розглядає цю проблему послідовно у площині інженерії програмного забезпечення: від формулювання вимог і сценаріїв використання, через проєктування архітектури розподіленої системи реального часу на базі IoT-пристроїв, шини повідомлень MQTT і геопросторової маршрутизації GeoHash, до програмної реалізації та експериментальної перевірки прототипу. Дослідження не обмежується теоретичним моделюванням, а передбачає повний цикл – від концепції до розгортання прототипу та його випробування, що посилює наукову новизну роботи і розкриває її потенціал для подальших досліджень.

Отже, тема дисертаційної роботи є своєчасною, затребуваною та такою, що відповідає викликам сучасної інженерії програмного забезпечення. Вона охоплює не лише наукову, а й інженерну площину, створюючи підґрунтя для впровадження інновацій у практичні IT-рішення.

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

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

- *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-потоків 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 проєктування 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 проєктування програмного забезпечення, що використовує запропоновані моделі прогнозування ДТП допомагає уникнути до 60% небезпечних ситуацій.

Обґрунтованість і достовірність наукових результатів забезпечується коректним застосуванням методів комп'ютерного зору, обчислювальної

геометрії та статистичної теорії виявлення (гіпотези H_0/H_1 , помилки I та II роду), а також узгодженістю розрахункових і експериментальних даних. Порівняння моделей комп'ютерного зору виконано за загальноприйнятими метриками – Precision, Recall, F1, mAP@0.5, mAP@0.5:0.95 та часом інференсу – із зазначенням умов навчання (табл. 2.3 – 2.5). Працездатність запропонованого методу перевірено на 80 тестових сценаріях у середовищі BeamNG.tech із вимірюванням наскрізних часових характеристик: ймовірність правильного виявлення небезпечної ситуації склала $P^D = 0,67$ у повному діапазоні швидкостей та $P^D = 0,80$ за умови дотримання швидкісного режиму, середня затримка доставки повідомлення – 0,298 с за граничного значення 500 мс, а повний цикл «виявлення небезпеки – зупинка транспортного засобу» – у середньому 1,93 с (п. 3.8).

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

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

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Бизкровного О.М. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 121 Інженерія програмного забезпечення та напрямкам досліджень відповідно до освітньо-наукової програми у Харківському національному університеті радіоелектроніки. Дисертаційну роботу виконано в період з 2022 по 2026 рік відповідно до плану науково-дослідних робіт кафедри програмної інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки.

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 Бизкровного Олександра Миколайовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Наявні співпадіння є співпадіннями з власними науковими працями здобувача, опублікованими раніше для висвітлення основних результатів дисертації. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела.

Таким чином, дисертаційна робота Бизкровного Олександра Миколайовича є оригінальною і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень.

4. Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою. Результати дослідження викладені чітко і послідовно. Стиль викладення відповідає академічним стандартам, використовується спеціалізована термінологія інженерії програмного забезпечення, яка відображає сутність досліджуваної проблематики. Ілюстративний матеріал – діаграми UML і SysML, схеми архітектури, графіки метрик, таблиці експериментів – доречний і сприяє ясності та зрозумілості тексту.

Дисертаційна робота складається з анотацій двома мовами, вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку джерел посилання та двох додатків. Загальний обсяг дисертації складає 178 сторінок.

У вступі розкрито актуальність теми дослідження, сформульовано мету і задачі роботи, обґрунтовано об'єкт і предмет дослідження. Описано методи дослідження, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, а також наведено відомості про особистий внесок здобувача та апробацію результатів.

У першому розділі подано аналіз сучасного стану забезпечення безпеки руху механічних транспортних засобів: розглянуто статистичні відомості щодо виникнення ДТП, найнебезпечніші маневри та типи перехресть, сучасні методи й моделі виявлення та попередження ДТП, стандартні системи безпеки автомобілів та інтелектуальні системи на основі машинного навчання. Окреслено недоліки існуючих рішень, сформульовано критерії до методів вирішення задачі та виконано постановку задачі дослідження.

У другому розділі запропоновано моделі прогнозування виникнення ДТП. Розглянуто архітектури моделей комп'ютерного зору, описано модель класифікації передумов ДТП на перехрестях, її вхідні та вихідні дані, процедуру формування набору даних і методику оцінювання, у якій рішення подано в термінах гіпотез H_0 (безпечна ситуація) та H_1 (небезпечна ситуація). Виконано порівняння моделей YOLOv7 та Faster R-CNN, досліджено швидкодію моделей на одноплатному комп'ютері Jetson TX2 NX. Запропоновано гібридну модель прогнозування ДТП, у якій рішення про небезпеку приймає шар обчислювальної геометрії.

У третьому розділі викладено метод розроблення програмного забезпечення прогнозування ДТП. Сформульовано сценарії використання, функціональні та нефункціональні вимоги й обмеження програмного забезпечення, подано Use Case діаграму (рис. 3.7) та SysML Requirement Diagram (рис. 3.8). Розроблено сценарії атрибутів якості й на їх основі обґрунтовано архітектурні рішення: шину повідомлень MQTT AWS IoT Core, маршрутизацію на основі алгоритму GeoHash, метод визначення полігону зони дії програмного забезпечення 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.

У четвертому розділі подано результати практичної реалізації розроблених рішень: описано створення експериментального середовища на базі програмного забезпечення BeamNG.tech із програмованими сценаріями

руху автомобілів та наведено результати експериментального застосування прототипу IoT-пристрою прогнозування ДТП (табл. 4.1–4.4), у тому числі аналіз випадків, у яких попередження виявилось недостатнім, і 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

Наукові результати дисертації висвітлені у 7 наукових працях, серед яких: 4 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 3 – у матеріалах міжнародних наукових конференцій. Основні результати роботи апробовано на трьох міжнародних наукових 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 якісно та на високому рівні висвітлені результати його дисертаційного дослідження. В усіх наукових публікаціях здобувача дотримано принципи академічної доброчесності, що виражається у відповідному цитуванні використаних джерел та відсутності будь-яких форм плагіату.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання запропонованого програмного забезпечення для своєчасного сповіщення водія про виявлену передумову ДТП поза зоною дії бортових систем безпеки; на відміну від рішень класу V2X, воно не потребує встановлення обладнання на кожен окремий автомобіль, що знижує вартість отримання послуги та підвищує шанси на швидке впровадження. Результати роботи впроваджено в ІТ-фірмі «РІІТ» з метою інформування екстрених

служб про факт виникнення ДТП для кращої координації та навігації бригад екстреної допомоги (довідка про впровадження від 03.02.2026).

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

6. Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. Метою роботи визначено підвищення ефективності розроблення і супроводу програмного забезпечення, проте безпосередні програмно-інженерні показники такого підвищення в роботі не наведено: оцінювання методу (п. 3.8) виконується показниками цільової системи – ймовірністю правильного виявлення та затримкою доставки повідомлення. Крім того, розроблення і супровід є двома різними процесами, і показники їх ефективності мають бути розмежовані. Доцільно було б навести метрики власне процесу розроблення та супроводу (трудомісткість реалізації типового сценарію, частка повторно використовуваних компонентів, зв'язність і зачеплення модулів, індекс супроводжуваності) у порівнянні з альтернативною централізованою архітектурою.

2. Прямим доказом підвищення ефективності розроблення міг би слугувати програмний артефакт – бібліотека або каркас (framework) із документованим API, що реалізує запропонований метод і дає змогу кількісно показати прискорення імплементації нових вузлів прогнозування та спрощення їх супроводу. У роботі такий артефакт не виокремлено.

3. У підрозділі 3.6 інтерфейси взаємодії компонентів описано текстово. Опис доцільно було б формалізувати діаграмою компонентів UML із явним відображенням наданих (ball) та необхідних (socket) інтерфейсів; це саме стосується архітектурного патерну «шина повідомлень» (п. 3.7.2), поданого без відповідного графічного подання. Сценарії атрибутів якості (табл. 3.4–3.6) також залишилися у табличній формі, без формалізації засобами UML activity diagram або BPMN, що ускладнює перевірку їх повноти.

4. У роботі відсутня матриця трасування вимог, яка пов'язувала б функціональні та нефункціональні вимоги (пп. 3.3, 3.4) з архітектурними рішеннями (п. 3.7) та з експериментами розділу 4. Її наявність посилила б доказовість повноти реалізації.

5. Наявна термінологічна неузгодженість між поняттями «перехрестя» та «небезпечні ділянки руху»: моделі розділу 2 будуються для перехресть, тоді як метод розділу 3 і висновки оперують ширшим поняттям ділянки руху. Межі застосовності запропонованих рішень варто окреслити чіткіше.

6. Потребують узгодження кількісні твердження: у формулюваннях наукової новизни та у висновках зазначено, що запропонований метод «допомагає уникнути до 60 % небезпечних ситуацій», тоді як у п. 3.8 наведено ймовірність правильного виявлення $P^D = 0,67$ у повному діапазоні швидкостей та $P^D = 0,80$ за швидкості до 53 км/год. Формулювання доцільно уточнити із чітким зазначенням умов експерименту.

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

7. Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Бизкровного Олександра Миколайовича на тему «Моделі та методи розроблення програмного забезпечення прогнозування дорожньо-транспортних пригод в реальному часі» 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 галузі знань 12 Інформаційні технології.

Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства

України, що передбачені в 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:

доктор філософії, доцент,
завідувач кафедри програмної інженерії
та інтелектуальних технологій управління
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»



Андрій КОПІ

Підпис Андрій Копі
ЗАСВІДЧУЮ:
ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР
НАЦІОНАЛЬНОГО-ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"
[Signature]
"03" 08 2026 р.

