

*Голові разової спеціалізованої  
вченої ради Державного  
університету інформаційно-  
комунікаційних технологій  
доктору технічних наук,  
професору  
Віктору ВИШНІВСЬКОМУ  
вул. Солом'янська, 7, м. Київ,  
03110*

**ВІДГУК  
офіційного опонента**

кандидата технічних наук, доцента, завідувача кафедри інтелектуальних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка **Іларіонова Олега Євгеновича** на дисертаційну роботу **Коваленка Данила Сергійовича** на тему: «Моделі та алгоритми адаптивної маршрутизації для С2С логістики на основі глибокого навчання», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія

**Актуальність теми**

У період активного цифрового розвитку суспільства та зростання ролі електронної комерції спостерігається інтенсивне розширення сегменту С2С доставки, що супроводжується підвищенням логістичних навантажень у міських агломераціях. Формат взаємодії «споживач-споживач» створює специфічні вимоги до логістичних систем — гнучкість, масштабованість, здатність до адаптації в умовах децентралізованої мережі учасників. За таких умов використання класичних підходів до маршрутизації, що передбачають фіксовану структуру маршрутів або ґрунтуються на статичних прогнозах, не дозволяє забезпечити належний рівень ефективності та надійності доставки. У зв'язку з цим постає потреба у створенні адаптивних алгоритмів маршрутизації, які здатні враховувати широкий спектр факторів у реальному часі — від змін у транспортній ситуації до коливань попиту та обмежень на ресурси. Методи штучного інтелекту, зокрема глибоке навчання та підкріплювальне навчання, відкривають нові можливості для побудови самонавчальних систем, що приймають ефективні рішення на основі поточного стану середовища.

Дисертаційна робота Коваленка Данила Сергійовича своєчасно реагує на ці виклики, пропонуючи концептуально нові підходи до управління

маршрутами в С2С логістиці. Запропоновані рішення мають як фундаментальну наукову цінність, так і високий потенціал для практичного використання в системах міської доставки, зокрема в умовах високої динамічності та невизначеності. Таким чином, дослідження, повністю відповідає сучасним науково-технічним викликам та є актуальним як у прикладному, так і в теоретичному вимірі.

### **Наукова новизна результатів дослідження**

На публічний захист Коваленка Д.С. виносяться три наукових положення, новизна яких у полягає у наступному:

*вперше* розроблено модель прогнозування попиту та розподілу логістичних завдань, яка за рахунок використання за методу функціональної регресії для прогнозування локалізованих піків попиту та теорії стохастичної апроксимації для динамічного вибору оптимальних рішень, забезпечує адаптивний механізм розподілу задач між виконавцями на основі прогнозованих параметрів;

*вперше* розроблено метод адаптивної маршрутизації для систем доставки типу С2С, що ґрунтується на розробленій моделі прогнозування попиту та механізмі стохастичного прийняття рішень у динамічному середовищі, та дозволяє приймати оптимальні рішення щодо виконання доставок, адаптуючись до змін у середовищі, конкуренції між агентами та з урахуванням обмежених ресурсів;

*вперше* розроблено алгоритм адаптивної корекції маршруту, що ґрунтується на розробленому методі адаптивної маршрутизації та за рахунок використання розширеної функції винагороди та жадібної евристики з підкріплювальним навчанням для Марковського процесу прийняття рішень, забезпечує динамічне оновлення оптимального маршруту доставки згідно актуальної логістичної ситуації, що знизить критичні показники часу та вартості доставки.

### **Достовірність, наукове та практичне значення результатів дослідження**

У *вступній частині* дисертаційної роботи визначено науковий контекст дослідження в умовах стрімкого розвитку електронної комерції та необхідності інтелектуального управління логістичними процесами, характерними для С2С-моделі доставки. Автор чітко окреслив предмет і об'єкт дослідження, сформулював мету й завдання роботи, а також обґрунтував актуальність обраного напрямку. Вступ містить логічну та змістовну основу для подальшого розкриття теоретичних положень і розробки прикладних рішень, необхідних для вирішення задач динамічної маршрутизації в умовах непередбачуваного попиту.

*Перший розділ* спрямовано на ґрунтовне опрацювання існуючих підходів до формування систем маршрутизації в логістиці «клієнт-клієнт». Автор аналізує виклики, притаманні C2C моделі, серед яких — нестабільність середовища, динаміка попиту, розподілений характер учасників доставки та обмеження у транспортних ресурсах. Розглянуто спектр класичних і сучасних алгоритмів — від евристик до методів з використанням елементів машинного навчання — з акцентом на їхню обмежену ефективність у мінливих умовах. На основі критичного аналізу автор обґрунтовує необхідність створення адаптивної системи маршрутизації, спроможної до самонавчання та автономного прийняття рішень у реальному часі, що і закладає методологічний фундамент подальшого дослідження.

У *другому розділі* зосереджено увагу на побудові математичних моделей адаптивної маршрутизації з урахуванням вимог і обмежень, характерних для C2C середовища. Завдання управління маршрутами формалізовано як стохастичну задачу оптимізації, що включає конкуренцію між агентами, мінливий попит та інші фактори логістичної складності. Запропоновано модель прогнозування попиту на основі функціональної регресії, яка дозволяє оцінити ймовірність появи логістичних завдань у часово-просторовому аспекті. У моделі реалізовано механізм стохастичної апроксимації, що забезпечує постійну адаптацію до змін середовища. Також представлено архітектуру системи прийняття рішень, що інтегрує прогнозу аналітику з алгоритмічним ядром маршрутизації — цей підхід створює основу для впровадження інтелектуального управління логістикою на наступних етапах.

У *третьому розділі* розроблено метод адаптивної маршрутизації та алгоритм корекції маршруту, які функціонують на основі підкріплювального навчання в рамках марковських процесів прийняття рішень. Автор детально описує логіку роботи інтелектуального агента, який, спираючись на дані про поточний стан системи, самостійно визначає оптимальні рішення щодо маршрутів. Введено розширену функцію винагороди, яка враховує як логістичні критерії (швидкість доставки, витрати), так і параметри завантаженості системи, балансує між локальними та глобальними цілями. Запропонований алгоритм дозволяє в реальному часі коригувати маршрутну інформацію на основі нових даних, забезпечуючи гнучкість і високу ефективність доставки навіть у складних і нестабільних умовах.

*Четвертий розділ* зосереджено на впровадженні та перевірці ефективності реалізованої системи. Представлено архітектуру програмного комплексу, який включає підсистеми прогнозування, прийняття рішень, навчання та візуалізації, що дозволяє повноцінно управляти C2C доставкою в динамічному середовищі. Проведено серію експериментальних досліджень, що продемонстрували переваги запропонованих алгоритмів у порівнянні з традиційними: зниження часу доставки, зменшення логістичних витрат,

підвищення рівня стабільності системи. Наведено приклади практичного застосування в освітніх і виробничих умовах, що засвідчують прикладну цінність і технологічну зрілість розробленої системи. Розділ підтверджує здатність дисертаційного рішення функціонувати як повноцінна прикладна платформа для управління маршрутизацією у С2С логістиці.

Достовірність отриманих у дисертаційній роботі результатів ґрунтується на строгому дотриманні сучасної наукової методології, формальній побудові математичних моделей, а також комплексному використанні актуальних інструментів у сфері оптимізації та машинного навчання. Теоретична обґрунтованість забезпечується застосуванням концепції Марковських процесів прийняття рішень, стохастичних методів прогнозування, функціональної регресії та алгоритмів підкріплювального навчання, що мають доведену ефективність у завданнях управління в умовах невизначеності. Результати дисертації проходили валідацію як у симуляційних середовищах, так і у практичних сценаріях, що свідчить про їхню надійність і прикладну придатність.

Наукове значення дисертаційної роботи полягає у розширенні теоретичних засад побудови адаптивних систем маршрутизації в умовах С2С логістики. Запропоновано оригінальні моделі та алгоритмічні рішення, які поєднують глибоке та підкріплювальне навчання для забезпечення високого рівня адаптивності системи доставки в міських умовах з динамічним попитом.

Практичне значення результатів дослідження полягає у створенні ефективного інструментального засобу для підтримки прийняття рішень у системах міської доставки в сегменті С2С. Запропоновані алгоритми адаптивної маршрутизації й динамічної корекції маршрутів дозволяють зменшити витрати, підвищити точність доставки та оперативно адаптуватися до змін у навантаженні й транспортній ситуації. Розроблене програмне забезпечення відзначається гнучкістю, сумісністю з існуючими логістичними платформами та можливістю масштабування без істотної перебудови інфраструктури.

Експериментальні дослідження, проведені в межах роботи, підтвердили переваги впровадженого підходу: зниження логістичних витрат у середньому на 15–25% і скорочення часу виконання замовлень на 20–22%. Результати роботи, а саме програмні засоби на основі розроблених моделей, алгоритму та методу, впроваджені в Інституті програмних систем НАН України та адаптовані для використання у виробничій діяльності компанії «УКР-ОН», крім того впроваджені в навчальний процес Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій при проведенні лекцій, лабораторних робіт, в курсовому та дипломному проектуванні. Це свідчить про реальну готовність результатів дослідження до впровадження в практику сучасних логістичних операцій.

## **Мова та стиль викладення дисертації**

Автор використовує спеціалізовану термінологію, дотримуючись всіх вимог наукового стилю. Текст написаний лаконічно, зрозуміло та послідовно, що сприяє легкому сприйняттю не лише суті дослідження, але і висновків. Крім того, розгорнуті та узагальнені висновки, які підтримані доказами і аргументами, свідчать про високий науковий рівень роботи. Дисертація відзначається ретельним аналізом існуючих джерел та їх критичним осмисленням. Мова дисертації чітка та логічна, що відповідає вимогам академічного письма.

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

Дисертаційна робота виконана відповідно до планів наукової і науково-технічної діяльності Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій в рамках науково-дослідних робіт: «Контроль та прогнозування перевантажень в комп'ютерних мережах» (№ держ. реєстрації 0120U105655, ДУІКТ, м. Київ), «Реінжинірінг ІТ рішень для оптимізації виробничих процесів підприємства» (договір №09/24 від 01.04.2024 р., ДУІКТ, м. Київ).

## **Повнота викладу основних результатів дисертації в публікаціях**

За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 11 наукових праць, серед яких 4 наукові публікації у фахових наукових виданнях категорії Б, затверджених наказом МОН України, 7 тез доповідей на конференціях, серед яких 1 публікація тези конференції, що індексується у наукометричній базі Scopus. Основні теоретичні та практичні результати були представлені та обговорені в ході наступних наукових конференцій:

- 1) Науково-технічна конференція «Застосування програмного забезпечення в інформаційних технологіях» (м. Київ, 2022);
- 2) Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні аспекти діджиталізації та інформатизації в програмній та комп'ютерній інженерії» (м. Київ, 2023);
- 3) Всеукраїнська науково-технічна конференція «Виклики та рішення в програмній інженерії» (м. Київ, 2024);
- 4) VI Всеукраїнська науково-технічна конференція «Застосування програмного забезпечення в інформаційно-комунікаційних технологіях» (м. Київ, 2025);
- 5) VI Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, аспірантів і студентів «Сучасні інформаційні технології та системи в управлінні» (м. Київ, 2025);
- 6) V Всеукраїнська науково-практична конференція «Сучасні інтелектуальні інформаційні технології в науці та освіті» (м. Київ, 2025);

### **Оцінка змісту дисертації, відповідність встановленим вимогам щодо оформлення**

Дисертаційна робота Коваленка Д.С. відповідає діючим вимогам, що висуваються до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, передбачених «Порядком 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.

### **Зауваження та недоліки**

Попри загалом високий науковий рівень виконання дисертаційної роботи, автору доцільно було б урахувати такі моменти:

1. У процесі формалізації математичної моделі прогнозування попиту було б корисно більш детально обґрунтувати вибір саме функціональної регресії, зокрема в порівнянні з іншими підходами (наприклад, часовими рядами або просторово-часовими нейромережами), що використовуються для аналогічних задач у логістиці.

2. Опис побудови функції винагороди у методі підкріплювального навчання варто доповнити кількісними прикладами впливу окремих параметрів функції на процес навчання агента. Це дозволило б краще зрозуміти, як балансуються короткострокові й довгострокові цілі у процесі оптимізації.

3. В четвертому розділі результати апробації системи переважно подано у вигляді загальних висновків. Було б бажано включити порівняльний аналіз ефективності для кількох базових сценаріїв з фіксованими параметрами, що дозволило б точніше оцінити переваги запропонованого підходу;

4. Варто вказати на обмеження моделі або розробленого алгоритму — наприклад, щодо масштабів застосування, потреби в навчальних даних або обчислювальних ресурсах. Такий аналіз зробив би представлену систему ще більш прикладно-орієнтованою.

Вказані недоліки не знижують наукової цінності та практичного значення одержаних наукових результатів і не впливають на загальну позитивну оцінку роботи.

### **Висновок**

За результатами ґрунтовного аналізу змісту дисертаційної роботи та опублікованих наукових праць здобувача, слід констатувати, що дисертація Коваленка Данила Сергійовича є завершеним дослідженням, яке містить науково обґрунтовані результати, що мають елемент наукової новизни й

вирішують актуальне науково-прикладне завдання підвищення ефективності маршрутизації у сфері С2С логістики. Це завдання реалізується шляхом побудови математичної моделі прогнозування попиту та розробки алгоритмів адаптивного управління маршрутами доставки з використанням підкріплювального навчання. Представлені в дисертації підходи враховують змінність параметрів логістичного середовища в реальному часі та можуть бути інтегровані в сучасні міські логістичні системи.

Дисертаційна робота Коваленка Д.С. відповідає діючим вимогам, що висуваються до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, передбачених «Порядком 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, «Порядком підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у закладах вищої освіти (наукових установах)», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 р. №261, та постановою «Про присудження ступеня доктора філософії», затвердженою Кабінетом Міністрів України від 6 березня 2019 р. №167. Враховуючи вищевикладене, вважаю, що автор дисертаційної роботи, Коваленко Данило Сергійович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія.

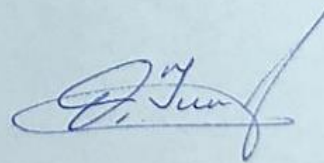
**Офіційний опонент:**

завідувач кафедри інтелектуальних технологій

Київського національного університету

імені Тараса Шевченка,

кандидат технічних наук, доцент



Олег ІЛАРІОНОВ

ПІДПИС ЗАСВІДАЧУ  
ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР НАЧ  
КАРАУЛЬНА Н.В.  
25.07.2023

