НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Факультет механіко технологічний

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
транспортних технологій та засобів у АПК
(назва кафедри)

_____ Савченко Л.А.
(підпис) (ПІБ)

«_____» _____ 2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему «Організація мультимодальних перевезень зернових у міжнародному сполученні»

Спеціальність 275.03 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)»
(код і назва)

Гарант освітньої програми
к. т. н., доцент__ _____ Опалко В.Г
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи
д. т. н., професор__ _____ Мацюк В.І.
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Виконав _____ Селик А.Ю.
(підпис) (ПІБ студента)

КИЇВ – 2026

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Факультет механіко технологічний

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідуюча кафедри
транспортних технологій та засобів АПК
_____к.т.н., доцент Савченко Л.А
«____» _____2026 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту

_____ Селик Артем Юрійович _____

Спеціальність 275.03. Транспортні технології (на автомобільному транспорті)

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи: Організація мультимодальних перевезень зернових у міжнародному сполученні

затверджена наказом ректора НУБіП України від «03» 02 2026 р. № 350 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру ___10.04.2026_____

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи:

Статистична інформація з офіційних джерел за 2026 р.

Перелік питань, які потрібно розробити:

Розділ 1 Аналіз транспортно-технологічних процесів доставки зернових у міжнародному сполученні

Розділ 2 Імітаційна моделі ланцюга постачання зернових автомобільно-водним сполученням

Розділ 3 Забезпечення охорони праці та безпеки під час перевезення вантажів і вантажно-розвантажувальних процесів

Перелік графічних документів (за потреби) 8 слайдів

Дата видачі завдання «__5__» _ 09___2026 р.

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи_____(д.т.н., проф. Мацюк В.І.)

Завдання прийняв до виконання _____(Селик А.Ю.)

ЗМІСТ

ВСТУП 6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТРАНСОПРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ДОСТАВКИ ЗЕРВНОВИХ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ 8
1.1 Аналіз вихідних даних перевезення зернових у міжнародному сполученні 8
1.2 Аналіз перспектив розвитку транспортної системи 19
Висновки до розділу 1 33
РОЗДІЛ 2 ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛІ ЛАНЦЮГА ПОСТАЧАННЯ ЗЕРНОВИХ АВТОМОБІЛЬНО-ВОДНИМ СПОЛУЧЕННЯМ 35
2.1 Створення імітаційної моделі 35
Висновок до 2 розділу. 48
РОЗДІЛ 3 ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВАНТАЖІВ І ВАНТАЖНО-РОЗВАНТАЖУВАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ 52
3.1 Охорона праці під час перевезення сипучих та дрібних вантажів 52
3.2 Загальні вимоги охорони праці для водіїв автонавантажувачів 53
Висновки до розділу 3 55
ВИСНОВКИ 57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 61

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота на тему: Організація мультимодальних перевезень зернових у міжнародному сполученні.

Об'єкт дослідження: транспортно-технологічна система доставки зернових у змішаному сполученні.

Предмет дослідження: параметри транспортно-технологічної системи доставки зернових у змішаному сполученні.

Мета дослідження: вдосконалення транспортно-технологічної системи доставки зернових у змішаному сполученні.

Практичну цінність роботи складають: виробничі параметри парку вантажних автомобілів для перевезення 1 млн тонн зернових на рік в експортному сполучення на автомобільно-водному маршруті.

В бакалаврській роботі вирішуються наступні задачі.

1. Розроблено комплексну, оптимізаційну математичну модель транспортно-технологічної системи доставки зернових у змішаному сполученні.

2. Експериментально встановлено оптимальні параметри технологічного процесу постачання транспортно-технологічної системи доставки зернових у змішаному сполученні.

3. Експериментально встановлено граничний рівень навантаження на транспортно-технологічну систему доставки зернових у змішаному сполученні.

ВСТУП

Зовнішня економіка України все ще значною мірою залежить від сільськогосподарського сектору. Вартість сільськогосподарської продукції у 2021 році становила 27,8 мільйона доларів, що становить близько 41% від загального обсягу експорту країни; збільшення на 25% порівняно з минулим роком [1].

Оскільки сучасне сільське господарство є надзвичайно розвиненою, високотехнологічною галуззю, яка має високотехнологічне обладнання, воно страждає від багатьох поломок через недостатнє або погане обслуговування обладнання. Щоб забезпечити безперебійну роботу свого обладнання, сільськогосподарські компанії купують запасні частини, витратні матеріали та інші компоненти на основі планових та незапланованих поставок. Крім того, вони регулярно закуповують менші та помірні партії різноманітних матеріалів. Стандартний ланцюг поставок, що використовується в сільському господарстві, часто є досить складним.

Транспортні сполучення є частиною складної мережі маршрутних з'єднань, які вимагають використання випадкових можливостей і, таким чином, мають елемент випадковості. Однак, коли необхідно доставити велику кількість товарів, зазвичай доцільно використовувати власні транспортні засоби. У цих випадках визначення розміру та оснащення автопарку є ключовим аспектом, і тому виникає наукова та практична проблема формування моделей та методів планування логістики розподілу в мережі планових та незапланованих закупівель та/або поставок, причому часткова невизначеність є спільною рисою як моделей, так і методів.

Об’єкт дослідження: транспортно-технологічна система доставки зернових у змішаному сполученні.

Предмет дослідження: параметри транспортно-технологічної системи доставки зернових у змішаному сполученні.

Мета дослідження: вдосконалення транспортно-технологічної системи доставки зернових у змішаному сполученні. Для реалізації поставленої мети планується вирішити наступні науково-прикладні завдання:

1. Розробити комплексну, оптимізаційну математичну модель транспортно-технологічної системи доставки зернових у змішаному сполученні.

2. Експериментально встановити оптимальні параметри технологічного процесу постачання транспортно-технологічної системи доставки зернових у змішаному сполученні.

3. Експериментально встановити граничний рівень навантаження на транспортно-технологічну систему доставки зернових у змішаному сполученні.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТРАНСОПРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ДОСТАВКИ ЗЕРВНОВИХ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ

1.1 Аналіз вихідних даних перевезення зернових у міжнародному сполученні

У науковій літературі, присвяченій питанням транспорту, енергетики та поширення технологій, методи моделювання, зокрема агентно-орієнтоване моделювання (agent-based modeling, ABM), набувають дедалі ширшого застосування, поступово перетворюючись на універсальні інструменти аналізу складних процесів трансформації мобільності. Сфера досліджень поширення електромобілів суттєво розширилася протягом останніх років, і перспективні наукові розвідки мають враховувати сценарії трансформації мобільності, що базуються на співвідношенні витрат і вигод. Водночас більшість емпірично каліброваних моделей зосереджені переважно на західних країнах. У зв’язку з цим наукова література потребує не лише аналогічних досліджень у різних регіонах Заходу, але й ґрунтовного аналізу процесів трансформації мобільності в незахідних країнах з урахуванням їхніх специфічних соціально-економічних і інституційних особливостей [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32].

У роботі [33] проаналізовано обсяги перевезення зернових вантажів залізничним транспортом за останні 10 років та запропоновано модель прогнозування їх обсягів. Значну увагу приділено дослідженню нерівномірності перевезень в умовах конкурентного ринку та взаємодії з іншими видами транспорту. Доведено наявність залежності між видами зернових культур і місячними прогнозними обсягами їх перевезення. Дослідження здійснювалося із застосуванням методів кореляційного та регресійного аналізу, моделей нечіткої логіки, а також положень теорії транспортних процесів і систем.

У роботі [34] увагу зосереджено на логістичних транспортних моделях і схемах перевезення зерна суходолом до морських торговельних портів. Автори дослідили транспортно-технологічні моделі взаємодії автомобільного та залізничного транспорту, зокрема перевезення зерна в єдиних вантажних модулях — контейнерах. Доведено, що така схема доставки дозволяє суттєво знизити собівартість перевезення порівняно з традиційними моделями, зокрема автомобільними перевезеннями. На думку авторів, зазначений спосіб є оптимальним для організації міжнародних перевезень зернових на великі відстані в умовах мультимодального сполучення.

У роботі [35] акцент зроблено на проблемі недостатнього розвитку мережі елеваторів для тимчасового зберігання зернових, що розглядається як одна з ключових проблем сучасної системи постачання зерна в Україні. Автори зазначають, що за відсутності достатньої кількості елеваторів альтернативним варіантом тимчасового зберігання можуть бути контейнерні перевезення, оскільки контейнери забезпечують герметичність зберігання, у тому числі в пунктах перевантаження. Водночас підкреслюється, що такий спосіб є вимушеним і тимчасовим та не може повноцінно замінити спеціалізовані елеваторні комплекси. Запропоновано модель розвитку стратегічної транспортної інфраструктури, зокрема елеваторних комплексів на території України.

У роботі [36] досліджується структура вантажопотоків зернових з позиції складності їх перевезення та зберігання. Автори пропонують шляхи вдосконалення транспортних сполучень і способів транспортування з використанням наявної інфраструктури, зокрема транзитних терміналів та зернових елеваторів. Робота містить ґрунтовний статистичний аналіз даних за останні 10 років, включаючи системний і факторний аналіз, а також встановлення причинно-наслідкових зв’язків між проблемами постачання зернових і нестачею виробничих ресурсів.

У роботі [37] розглянуто проблеми транспортування зернових, зумовлені наслідками пандемії COVID-19. Наведено масштабний аналіз

статистичних даних понад 240 країн та 1000 морських торговельних портів, задіяних у міжнародних ланцюгах постачання зерна. Результати дослідження свідчать про значну нерівномірність обсягів перевезення та обробки зернових у транспортних вузлах, а також про високу вразливість окремих країн через недостатній рівень розвитку транспортної та технологічної інфраструктури. Автори наголошують, що одним із ключових шляхів подолання глобальної продовольчої кризи є модернізація транспортної інфраструктури та впровадження ефективних транспортних технологій, здатних забезпечити безперебійне постачання зернових у будь-який регіон світу.

У роботі [38] наведено результати дослідження функціонування транспортної мережі з перевезення зернових в умовах збройної агресії та активних бойових дій. Зазначено, що військові дії призводять до руйнування сталих логістичних маршрутів, зміни напрямків перевезення та ускладнення постачання зерна, що негативно впливає на функціонування аграрного сектору. В Україні спостерігається суттєве зниження виробництва зернових, зокрема через труднощі з їх експортом на міжнародні ринки. Дослідження підтверджує, що стабільне функціонування транспортної системи можливе лише за наявності належних безпекових умов.

У роботі [39] досліджено існуючі мультимодальні транспортно-технологічні системи доставки зернових із використанням автомобільного, залізничного та водного транспорту. Автор наводить результати оцінювання ефективності наявних моделей та доводить, що мультимодальний підхід забезпечує найнижчу собівартість перевезення, зменшення викидів CO_2, підвищення пропускної спроможності та загальної продуктивності системи. Зазначається, що в Україні існують передумови для розвитку таких транспортно-технологічних систем, однак їх подальше дослідження ускладнюється недостатньою розробленістю математичних моделей і наукових інструментів через масштабність систем та значну кількість параметрів і вихідних даних.

Концептуальні підходи до моделювання у відповідній галузі умовно поділяються на дві основні категорії: теоретично обґрунтовані та евристичні моделі. Моделі, що базуються на теоретичних засадах, включаючи як психологічні, так і непсихологічні підходи (наприклад, моделі мобільності, засновані на діяльнісному підході), зазвичай використовують усталені правила поведінки агентів. Більшість таких моделей застосовує стохастичну максимізацію корисності, соціально-психологічні концепції або інші спрощені припущення й порогові механізми для опису процесу прийняття рішень. Проте значна частина досліджень характеризується методологічними обмеженнями: приблизно половина з них не здійснює належної валідації моделей, а близько двох третин не розглядає топологічну структуру взаємодій між агентами. Це свідчить про наявність суттєвих наукових прогалин, які потребують подальшого дослідження.

Поняття «трансформація мобільності» охоплює різноманітні форми переходу від традиційних видів транспорту до інноваційних і сталих моделей пересування. У сучасних дослідженнях значна увага приділяється декарбонізації транспортних систем через стимулювання та масштабне впровадження електромобілів, транспортних засобів на альтернативних видах палива (зокрема водневих), розвитку мікромобільності (електровелосипеди, електроскутери), поширенню сервісів мобільності (спільне використання автомобілів і велосипедів, громадський транспорт), використанню автономних транспортних засобів, а також змінам у поведінкових моделях заряджання та заправки транспортних засобів.

Процеси трансформації мобільності визначаються не лише політичними та економічними чинниками, але й соціальними аспектами, такими як сприйняття користувачами витрат і вигод, поведінкові звички, культурні особливості, що формуються з часом, а також інституційні та технологічні обмеження, зумовлені попередніми рішеннями. Така багатовимірність процесів, зокрема їх динамічний і гетерогенний характер, суттєво ускладнює їх аналіз за допомогою традиційних поведінкових досліджень, які базуються

переважно на опитуваннях, спостереженнях або експериментах, а також класичних аналітичних підходів, зокрема системної динаміки, моделей дискретного вибору чи регресійного аналізу.

Транспортний сектор становить одну з ключових проблем забезпечення глобального сталого розвитку. Зокрема, у країнах Європейського Союзу на транспорт припадає близько 30% загальних викидів CO_2, з яких приблизно 43% пов'язані з пасажирськими перевезеннями. Досягнення встановлених цілей скорочення викидів потребує системного переходу до транспортних засобів із нульовим або низьким рівнем викидів. У зв'язку з цим останнім часом активізувалися зусилля щодо вдосконалення політики трансформації мобільності. Для вирішення екологічних і безпекових проблем, а також підвищення ефективності транспортних систем, багато розвинених країн реалізують комплексні ініціативи, спрямовані на електрифікацію та автоматизацію транспортних засобів, стимулювання низьковуглецевих видів пересування та розвиток спільних транспортних сервісів.

Особливо помітні результати спостерігаються у сфері електрифікації транспорту. У низці розвинених країн відбулося значне зростання продажів і поширення електромобілів. Наприклад, у Норвегії кількість проданих електромобілів стрімко зросла з 229 одиниць у 2000 році до 10 434 одиниць у 2013 році, що стало одним із найвищих показників у регіоні. У 2020 році частка повністю електричних транспортних засобів серед нових реєстрацій у цій країні становила 52,2%, тоді як гібридні автомобілі склали ще 20,4%. Водночас трансформація транспортного сектору залишається незавершеною та продовжує розвиватися. Незважаючи на швидкі технологічні зміни з боку пропозиції, механізми адаптації споживачів до нових технологій залишаються недостатньо дослідженими. Крім того, залишається відкритим питання щодо здатності сучасних методів моделювання адекватно відображати зміни у транспортних системах і відповідні соціальні трансформації [40], [41], [42], [43], [44], [45], [46], [47], [48], [49], [50].

Одним із найбільш перспективних підходів до дослідження цих процесів є використання агентно-орієнтованих моделей, які забезпечують можливість динамічного моделювання поведінки різних типів агентів, зокрема споживачів, громадян, державних інституцій, виробників, транспортних засобів та інфраструктурних об’єктів. Агентно-орієнтоване моделювання широко застосовується в різних наукових дисциплінах, включаючи дослідження поширення інновацій, аграрні технології, маркетинг, впровадження енергетичних рішень, транспорт, соціальні науки, економіку, охорону здоров’я та управління ресурсами.

Зростання популярності АВМ у транспортних дослідженнях зумовлене його здатністю моделювати складні соціально-технічні системи, зокрема процеси вибору способів пересування. Даний підхід базується на принципі «знизу вгору», що передбачає моделювання індивідуальної поведінки на мікрорівні з подальшим формуванням макрорівневих результатів, таких як поширення інновацій або зміна поведінкових моделей. Адаптивна поведінка агентів має нелінійний характер, що обмежує застосовність традиційних лінійних моделей. Процес дифузії інновацій включає взаємодію гетерогенних суб’єктів, різноманітні індивідуальні переваги, ефекти соціального впливу, міжособистісну комунікацію, просторово-часові фактори та механізми навчання на основі досвіду. У цьому контексті АВМ забезпечує ефективну основу для аналізу складних систем прийняття рішень, враховуючи різноманітність характеристик агентів, їхню взаємодію та динамічний характер соціально-економічних процесів.

Крім того, значна частина сучасних технологічних рішень ще недостатньо зрозуміла широкому загалу та може зазнавати швидких змін під впливом державної політики та діяльності промисловості. На ранніх етапах впровадження інноваційних технологій користувачі часто мають обмежене уявлення про їхні характеристики та можуть приймати рішення під впливом соціального оточення. У таких умовах традиційні аналітичні методи та перехресні дослідження виявляються недостатньо ефективними для

врахування різноманітних сценаріїв технологічного розвитку. Натомість соціальне моделювання, зокрема агентно-орієнтований підхід, дозволяє враховувати динамічні та нелінійні зміни, що супроводжують технологічну трансформацію транспортних систем.

В інших напрямах досліджень трансформації мобільності також застосовувалися різноманітні методологічні підходи до пояснення та прогнозування переходу від традиційних до екологічно орієнтованих видів транспорту. Поряд із агентно-орієнтованим моделюванням використовуються статистичні методи, зокрема регресійні моделі, структурні підходи, моделі дискретного вибору (бінарні, поліноміальні, вкладені та змішані логіт-моделі), а також моделі системної динаміки. Економетричні методи дозволяють виявляти статистичні залежності між характеристиками користувачів і їхнім транспортним вибором, однак вони мають обмежені можливості щодо відображення динамічних змін поведінки.

Мобільність як соціально-економічне явище являє собою складну адаптивну систему, що включає численних учасників із різними цілями та поведінковими стратегіями. У цьому контексті агентно-орієнтоване моделювання забезпечує можливість аналізу трансформаційних процесів у ширших просторово-часових масштабах. На відміну від економетричних підходів, які недостатньо враховують нелінійність і еволюційні характеристики поведінки, АВМ є гнучким інструментом, здатним відтворювати складні процеси взаємодії між агентами та середовищем. Водночас моделі системної динаміки, що реалізують підхід «зверху вниз», описують систему на агрегованому рівні через взаємодію запасів і потоків, тоді як агентно-орієнтований підхід дозволяє моделювати гетерогенні рішення окремих суб’єктів. Таким чином, використання АВМ створює можливості для подолання обмежень традиційних методів і більш адекватного відтворення майбутніх сценаріїв розвитку транспортних систем.

Основною метою цього огляду є систематичний аналіз сучасного застосування агентно-орієнтованого моделювання (agent-based modeling,

АВМ) у дослідженнях трансформації мобільності, характеристика новітніх наукових досягнень у цій галузі, виявлення ключових дослідницьких прогалин, а також визначення перспективних напрямів подальших наукових розвідок. Поглиблений аналіз наукової літератури свідчить про наявність низки недостатньо досліджених питань, зокрема:

- якою мірою змодельовано різні аспекти трансформації мобільності;
- який географічний розподіл тематичних досліджень;
- яким чином сформовано концептуальну структуру моделювання;
- які механізми прийняття рішень агентами;
- яким чином здійснюється калібрування та валідація моделей;
- яка топологія взаємодії між агентами (соціальні мережі) у дослідженнях трансформації мобільності на основі агентного підходу.

У межах цього дослідження здійснено систематичний аналіз методів агентно-орієнтованого моделювання та симуляції, застосованих у 86 наукових працях, присвячених трансформації мобільності, з метою вивчення зазначених дослідницьких питань. У ході огляду було виявлено лише дві роботи, які частково розглядали використання моделей на основі агентів у дослідженнях міської мобільності. Зокрема, Маггі та Валліно здійснили критичний аналіз застосування агентного моделювання у сфері міської вантажної та пасажирської мобільності. Проте їх дослідження охоплювало лише вісім робіт, пов’язаних із міською пасажирською мобільністю, і було зосереджене переважно на поточному попиті на мобільність та проблемах моделювання транспортних потоків.

Крім того, Лі та співавтори нещодавно узагальнили результати досліджень агентно-орієнтованого моделювання впливу автономних транспортних засобів на міську логістику та мобільність. Однак цей огляд також був спрямований насамперед на операційні та мережеві характеристики транспортних систем і не охоплював поведінкові аспекти споживачів або

ширші перспективи трансформації мобільності. Таким чином, існує потреба у більш комплексному аналізі зазначеної проблематики.

На технічному рівні залишаються недостатньо дослідженими такі питання:

(I) які аспекти трансформації мобільності були змодельовані на сьогодні;

(II) які регіони першими застосували об'єктно-орієнтовані моделі (object-based modeling, OBM) до нових видів мобільності;

(III) яка загальна концептуальна основа використання моделей OBM;

(IV) яким чином у дослідженнях трансформації мобільності враховується структура соціальних мереж і взаємодія між агентами.

Запропонований огляд спрямований на заповнення зазначених дослідницьких прогалин та розширення наявної бази знань щодо моделювання трансформації мобільності шляхом досягнення таких наукових результатів.

По-перше, дослідження пропонує нові аналітичні підходи для науковців і розробників політики щодо різних типів трансформацій транспортних систем. Незважаючи на значний прогрес у моделюванні процесів впровадження електромобілів, ступінь моделювання інших інновацій у сфері мобільності за допомогою OBM залишається недостатньо вивченим. У межах цього дослідження відповідні наукові праці класифіковано на основі концептуального кластерного підходу.

По-друге, робота формує методологічну основу та своєрідну «дорожню карту» для розроблення спрощених концептуальних агентно-орієнтованих моделей, спрямованих на розв'язання актуальних проблем мобільності.

По-третє, результати дослідження сприяють поглибленню розуміння принципів розроблення агентних моделей на основі наявних емпіричних даних.

Для досягнення поставлених цілей було застосовано систематичний підхід до огляду наукової літератури, спрямований на виявлення релевантних дослідницьких матеріалів. При цьому було враховано методологічні

рекомендації, запропоновані у науковій літературі щодо критеріїв включення та виключення джерел у процесі систематичного огляду. До аналізу було включено як рецензовані публікації, так і нерецензовані матеріали, зокрема дослідницькі звіти.

На початковому етапі було сформовано кілька комбінацій ключових слів і проведено електронний пошук у трьох провідних академічних базах даних: Google Scholar, Scopus та Web of Science. Використовуючи різні варіанти написання, граматичні форми, часові форми та синонімічні конструкції, було ідентифіковано ключові терміни, релевантні досліджуваній тематиці. Для їх визначення застосовувалися різні джерела, зокрема довідкова література, словники, тезауруси, списки предметних рубрик і методи текстового аналізу. Процес пошуку також сприяв виявленню додаткових ключових слів.

Було застосовано двоетапний підхід до пошуку літератури щодо використання агентного моделювання в аналізі трансформації мобільності. У першій групі ключових слів використовувалися терміни, пов’язані з трансформацією транспортних систем, зокрема: «транспортна трансформація», «трансформація мобільності», «перехід на інший вид транспорту», «гібридні та електричні транспортні засоби», «автоматизована мобільність», «автономні транспортні засоби», «стала мобільність», «сталий транспорт», «пасажирські перевезення», «впровадження електромобілів», «поширення електромобілів», «послуги мобільності», «політика мобільності», «транспортна політика», «попит на енергію в транспорті», «міська мобільність», «інвестиції в транспорт», «транспортні технології», «вибір виду транспорту», «поведінка під час заправки», «участь громадян у мобільності» тощо. Оскільки терміни «мобільність», «транспорт» і «транспортування» часто використовуються у науковій літературі як взаємозамінні, усі вони були включені до області пошуку. У другій групі ключових слів використовувався термін «сурогатна модель». Обидві групи ключових слів поєднувалися за допомогою логічного оператора «+».

Електронний пошук було проведено у серпні 2021 року; відповідно, публікації, оприлюднені після цієї дати, до огляду не включалися. Як і очікувалося, пошук дав значну кількість результатів, включаючи журнальні статті, матеріали конференцій, магістерські та докторські дисертації, звіти дослідницьких установ тощо. На першому етапі було переглянуто понад 100 000 результатів на основі назв публікацій. У випадках, коли назва не дозволяла визначити релевантність роботи, додатково аналізувалися анотації. У результаті було відібрано близько 300 потенційно релевантних джерел.

Після повнотекстового аналізу зазначених матеріалів остаточна вибірка була звужена до 77 публікацій. З метою виявлення додаткових релевантних досліджень, які могли бути не охоплені первинним пошуком, було застосовано метод «снігової кулі», що передбачає аналіз бібліографічних посилань у відібраних працях. У результаті цього підходу було ідентифіковано ще дев’ять додаткових джерел. Таким чином, остаточна база дослідження включала 86 наукових праць. Для уникнення дублювання посилань використовувалося програмне забезпечення EndNote 20.

Для відбору джерел застосовувалися чітко визначені критерії включення та виключення. По-перше, аналізувалися лише публікації англійською мовою. По-друге, з метою забезпечення високої наукової якості першочергово відбиралися журнальні статті, хоча дисертації, розділи книг і дослідницькі звіти також включалися за умови їх відповідності тематиці та належного наукового рівня. По-третє, до вибірки включалися дослідження, що застосовували агентно-орієнтоване моделювання для аналізу трансформації міських пасажирських перевезень. Натомість було виключено роботи, присвячені моделюванню транспортних потоків, традиційному моделюванню попиту на перевезення, міській логістиці та моделям пошуку місць для паркування. Відбір здійснювався відповідно до дослідницьких цілей, зосереджених на аналізі складних соціально-технічних систем.

Додатково використовувалися альтернативні ключові слова, зокрема «агент», «агентно-орієнтоване моделювання», «обчислювальна модель» та

«багатоагентні системи». Однак результати пошуку з використанням цих термінів виявилися подібними до основної вибірки, тому вони не були окремо представлені у рукописі. Ймовірно, це пояснюється тим, що навіть за використання альтернативної термінології у текстах публікацій зазвичай містяться посилання на базові поняття агентного моделювання.

На рисунку 1 представлено кількість результатів пошуку за ключовими словами без використання лапок. На початковому етапі дослідження було прийнято рішення не обмежувати пошук точними словосполученнями, щоб уникнути втрати потенційно релевантних джерел. Порівняльний аналіз результатів пошуку з використанням і без використання лапок показав, що застосування лише точних фраз могло призвести до виключення значної кількості релевантних публікацій. У зв’язку з цим було обрано стратегію пошуку без лапок. Також враховувалися різні варіанти написання ключових слів, включаючи британський і американський правопис, а також можливі варіанти використання дефісів.

Серед використаних пошукових систем найбільшу кількість результатів забезпечив Google Scholar, що пояснюється ширшим охопленням джерел, включаючи матеріали, індексовані в інших базах даних.

Розроблення та застосування агентно-орієнтованих методів моделювання дозволяє глибше зрозуміти динамічні характеристики процесів прийняття рішень, що впливають на перехід до більш сталих транспортних систем. Частину виявлених під час пошуку публікацій було виключено з аналізу через недостатній рівень деталізації опису процесів моделювання, вхідних параметрів або процедур калібрування агентно-орієнтованих моделей.

1.2 Аналіз перспектив розвитку транспортної системи

Поглиблений патентний аналіз кожної перспективної технологічної галузі дозволив визначити конкретні напрями інноваційного розвитку транспортної сфери, зокрема:

Технологія 5G:

1. пристрої для виявлення або запобігання помилкам в отриманій інформації;

2. процедури керування передачею даних, зокрема механізми керування канальним рівнем;

3. засоби синхронізації;

4. автоматичні системи повторної передачі, зокрема система ван Дюрена;

5. спеціалізовані послуги для бездротових мереж із використанням даних про місцезнаходження.

Підключений транспорт:

1. системи відеоспостереження замкнутого типу, де сигнали не використовуються для трансляції;

2. комп'ютерні системи на основі спеціалізованих обчислювальних моделей;

3. структурні компоненти транспортних систем, зокрема охолоджувальні пристрої.

Великі дані:

1. електричні або гідравлічні схеми, спеціально розроблені для транспортних засобів, зокрема для передачі сигналів між системами або підсистемами;

2. програмні засоби керування передачею даних на канальному рівні;

3. спеціалізовані літальні апарати;

4. методи або пристрої для розпізнавання друкованих або рукописних символів та ідентифікації шаблонів (зокрема біометричних);

5. визначення параметрів руху транспортних засобів, включаючи аналіз стилю водіння.

Нейромережева пам'ять:

1. комп'ютерні системи, засновані на спеціалізованих обчислювальних моделях і топологіях з'єднання;

2. спеціалізовані літальні апарати;

3. функції керування транспортним засобом, зокрема прогнозування траєкторії руху або ймовірності зіткнень;

4. керування силовими агрегатами транспортних засобів.

Інтернет речей (IoT):

локальне управління ресурсами, зокрема бездротове розгортання та координація ресурсів.

Безпілотний транспорт:

1. управління логістичними процесами (складування, завантаження, доставка, транспортування товарів, управління запасами);

2. літальні апарати зі спеціалізованими конструкціями вузлів кріплення силового агрегату;

3. розміщення або модифікація сигнальних та освітлювальних пристроїв.

Електричний транспорт:

1. спеціалізовані літальні апарати;

2. керування положенням, курсом або орієнтацією транспортних засобів (автопілотні системи);

3. системи інформування водія для попередження або стимулювання втручання;

4. системи двовимірного керування положенням або курсом.

Високошвидкісний транспорт:

1. пристрої автоматичного регулювання осей або візків під час руху по кривих ділянках колії;

2. конструктивні елементи локомотивів та систем керування;

3. підвісні залізничні системи;

4. елементи конструкції кузова, зокрема пасажирські сидіння;

5. тунельні транспортні системи.

Штучний інтелект:

1. методи розпізнавання мовлення та діалогової взаємодії людини з комп’ютером;

2. засоби захищеного зв’язку з автентифікацією користувачів;

3. тривимірне моделювання та обробка зображень;

4. централізовані та розподілені системи керування технологічними процесами;

5. засоби введення даних і користувацькі інтерфейси;

6. мережеві пристрої моніторингу та тестування;

7. комп’ютерні системи, засновані на біологічних моделях;

8. оптичні та інші методи зчитування даних із носіїв інформації.

Інтернет-протоколи керування (IP):

1. керування положенням і курсом транспортних засобів;

2. розміщення та модифікація сигнальних пристроїв;

3. інтегроване керування функціональними компонентами транспортних засобів, включаючи гальмівні системи.

Для визначення ключових перспективних технологій було проаналізовано стратегічні документи щодо інноваційного розвитку країн — членів Європейський Союз. На основі отриманих результатів використано пошукові платформи Web of Science та Derwent Innovation для оцінювання перспектив розвитку зазначених технологій із застосуванням бібліометричних показників і патентного аналізу.

Згідно з даними Web of Science, до десяти найперспективніших напрямів наукових досліджень належать: штучний інтелект, великі дані, технологія 5G, кібербезпека, мобільні сервіси, автономне керування транспортом, електротранспорт, нейромережева пам’ять, роботизований транспорт, інтелектуальні транспортні системи та Інтернет речей.

Водночас результати патентного аналізу платформи Derwent Innovation засвідчують, що до найбільш перспективних технологічних галузей належать технологія 5G, підключений транспорт, великі дані, нейромережеві системи з пам’яттю, Інтернет речей, автономний транспорт, електричний транспорт,

автомобільні технології, штучний інтелект та інтернет-протоколи. Усі ці напрями безпосередньо пов’язані з процесами цифровізації транспортної галузі.

Варто зазначити, що відповідно до результатів патентного аналізу Derwent Innovation концентрація патентів у зазначених десяти технологічних напрямах є досить високою, що підтверджується картою їх розподілу. Водночас темпи зростання технологій, класифікованих за Міжнародною патентною класифікацією (МПК), є нижчими порівняно з провідними інноваційними галузями.

Порівняльний аналіз динаміки наукових публікацій, їх цитованості та кількості патентних заявок у транспортному секторі дозволяє зробити висновок, що найбільш перспективними глобальними технологічними напрямами є штучний інтелект, великі дані, технологія 5G, нейромережеві системи з пам’яттю та Інтернет речей. Узагальнено ці напрями можна охарактеризувати як процес цифровізації транспортної галузі.

Аналіз глобальної патентної бази Derwent Innovation та дослідження світової патентної активності за зазначеними напрямами дозволяють визначити найбільш перспективні інноваційні технології транспортного сектору.

Європейський Союз є найбільшим регіональним інтеграційним об’єднанням, метою якого є формування політичного, економічного та валютного союзу європейських держав, усунення бар’єрів для вільного переміщення товарів, послуг, капіталу та робочої сили, а також реалізація спільної зовнішньої політики. Сьогодні ЄС залишається одним із провідних економічних центрів світу, характеризується значним транспортним потенціалом і приділяє особливу увагу розвитку єдиної транспортної системи.

Водночас між державами-членами та окремими регіонами ЄС зберігаються значні соціально-економічні відмінності, що посилилися після розширення Союзу у 2007 році та світової фінансової кризи 2008–2012 років. Розвиток транспортних мереж є одним із ключових напрямів транспортної

політики ЄС, оскільки ефективна інфраструктура має вирішальне значення для сталого економічного розвитку та підвищення добробуту населення.

Інтеграція національних транспортних мереж держав-членів сприяє як регіональному, так і міжнародному співробітництву. Особлива увага приділяється новим державам-членам, які отримують значні інвестиції для інтеграції їхніх транспортних систем до європейської мережі та зміцнення внутрішнього ринку. Фінансування розвитку транспортної інфраструктури в Словенії, Румунії, Угорщині, Хорватії та інших країнах спрямоване на скорочення економічних диспропорцій і подолання технічних бар'єрів, зокрема несумісності стандартів залізничних перевезень.

У жовтні 2013 року Європейська Комісія запропонувала нову програму розвитку транспортної мережі ЄС, спрямовану на зміцнення зв'язків між державами-членами та зменшення їхньої транспортної ізольованості. Проєкт передбачає будівництво 15 000 км високошвидкісних і звичайних залізничних ліній, а також розвиток 94 морських портів і 38 аеропортів.

Основні транспортні коридори проєкту

До основних транспортних коридорів проєкту належать:

1. Скандинавсько-Середземноморський коридор — простягається від Фінляндії через Балтійське море до Швеції, проходить через Німеччину, Альпи та Італію, поєднуючи головні міські центри й порти Скандинавії з промисловими регіонами півдня Німеччини, Австрії та північної Італії.

2. Північноморсько-Балтійський коридор — з'єднує порти східної частини Балтійського та Північного морів, забезпечуючи транспортні зв'язки між Фінляндією, Естонією, балтійськими державами, Польщею, Німеччиною, Нідерландами та Бельгією.

3. Північноморсько-Середземноморський коридор — мультимодальна транспортна система, що охоплює внутрішні водні шляхи країн Бенілюксу та Франції. Маршрут починається в Ірландії, проходить через Нідерланди, Бельгію та Люксембург і завершується на півдні Франції.

4. Балтійсько-Адріатичний коридор — важливий для розвитку трансєвропейських автомобільних і залізничних сполучень. Він з'єднує Балтійське та Адріатичне моря, проходячи через промислові регіони південної Польщі, Відень і Братиславу, а також через Східні Альпи до північної Італії.

5. Східно-Середземноморський коридор — поєднує виходи до Північного, Балтійського, Чорного та Середземного морів, сприяючи оптимізації використання морських транспортних маршрутів.

6. Рейнсько-Альпійський коридор — один із найзавантаженіших вантажних маршрутів, що проходить через порти Роттердама та Антверпена, перетинає Швейцарію та ключові економічні центри Європи, зокрема регіони Рейн-Рур, Рейн-Майн-Неккар і північну Італію.

7. Атлантичний коридор — з'єднує західну частину Піренейського півострова з Центральною Європою за допомогою швидкісних і звичайних залізниць та внутрішніх водних шляхів через порти Гавра й Руана до Парижа та регіону Мангейм–Страсбург.

8. Рейнсько-Дунайський коридор — охоплює Дунайський водний шлях, який з'єднує Страсбург і Франкфуртський регіон із південною Німеччиною, Австрією, Словаччиною, Угорщиною, Чехією та українським кордоном.

9. Середземноморський коридор — забезпечує автомобільне та залізничне сполучення між Піренейським півостровом і угорсько-українським кордоном.

Аналіз розвитку транспортних перевезень у країнах ЄС

Аналіз обсягів вантажних перевезень у країнах ЄС свідчить, що найбільшу частку становить автомобільний транспорт — у 2013 році його обсяг досяг 1,72 млн тонн, що становило майже 40% загального обсягу перевезень. Швидке зростання цього сегмента зумовлене збільшенням кількості транспортних засобів. Найбільші обсяги перевезень здійснюються компаніями Іспанії, Італії, Німеччини, Польщі, Великої Британії та Франції (табл. 1.1).

Водночас у більшості країн ЄС за останні п’ять років спостерігалося скорочення автомобільних вантажних перевезень, що пов’язано передусім із наслідками фінансово-економічної кризи 2008–2012 років. Найбільше падіння зафіксовано у Румунії, Австрії, Швеції та на Кіпрі. Основними проблемами автомобільного транспорту залишаються перевантаженість доріг, екологічні ризики та високий рівень аварійності, що зумовлює необхідність впровадження екологічних технологій і посилення стандартів викидів.

Таблиця 1.1

Обсяги перевезення вантажів усіма видами транспорту кожної з країн ЄС, тис. тонн

Країна	Залізничний транспорт		Автомобільний транспорт		Морський транспорт		Авіаційний транспорт	
	2008	2013	2008	2013	2008	2013	2008	2013
Австрія	99876	96403	33845	23996	0	0	24330	26085
Бельгія	46175	0	43179	38552	246257	230411	22563	26865
Болгарія	13417	13674	15491	27481	26842	29129	6511	7177
Греція	3411	2000	29141	18895	154023	162596	35407	34361
Данія	6225	0	19677	16234	107157	88705	24728	27851
Естонія	46414	44119	7569	6041	36553	43354	1822	2005
Ірландія	637	595	17258	9103	51592	47189	30468	24890
Іспанія	21298	25198	245408	194520	420320	407701	163858	159653
Італія	77099	88840	182262	128509	531481	461649	107604	117495
Кіпр	0	0	1321	639	8042	7244	7651	7211
Латвія	54216	56389	12393	12840	62044	67819	3737	4851
Литва	43096	48508	20609	26580	36743	0	2588	3537
Люксембург	6510	0	9056	8692	0	0	1709	2191
Мальта	0	0	0	0	5556	5529	3140	4071

Нідерланди	33930	39316	78939	70839	535663	553904	51177	58899
Німеччина	315208	377475	336068	298594	323842	300254	169441	183698
Польща	202827	234922	166575	250066	49321	64925	18916	23531
Португалія	9036	9384	39414	36860	65928	79026	25021	29746
Румунія	51101	50851	56936	34375	50963	44013	8142	10205
Словаччина	37979	48885	29508	30414	0	0	2626	1578
Словенія	13912	17328	16395	16044	16720	17356	1693	1282
Великобританія	88543	118947	163322	157454	567788	508001	217006	212892
Угорщина	42700	0	36035	36052	0	0	8513	8525
Фінляндія	33189	36797	31347	24674	115872	106168	14996	16772
Франція	86987	89879	208386	173204	355496	307258	123950	140261
Хорватія	11768	10768	11153	9221	29515	19560	4633	5804
Чехія	77482	84797	51384	55441	0	0	13476	12147
Швеція	57031	68003	38428	31178	189656	163186	28344	31971

Залізничний транспорт у країнах ЄС протягом останніх десятиліть демонструє зниження частки у загальному обсязі перевезень, однак останніми роками спостерігається позитивна динаміка зростання вантажопотоків у провідних країнах. Незважаючи на технічні та інституційні бар’єри, залізничний транспорт залишається найбезпечнішим і найбільш екологічним видом перевезень, що зумовлює активну політику його модернізації.

Ринок морських перевезень залишається найменш лібералізованим серед транспортних секторів. Попри значну роль морського транспорту в забезпеченні вантажопотоків, у багатьох країнах ЄС спостерігається зниження обсягів перевезень, що пояснюється зростанням транспортних витрат та нестабільністю ринку. Основними напрямами розвитку галузі визначено підвищення конкурентоспроможності, модернізацію флоту та посилення екологічної безпеки.

Повітряний транспорт, незважаючи на найменшу частку у вантажних перевезеннях, демонструє швидке зростання в пасажирському секторі. Його розвиток пов'язаний із лібералізацією ринку, гармонізацією стандартів безпеки та впровадженням міжнародних норм у сфері цивільної авіації.

Загалом рівень використання окремих видів транспорту значною мірою залежить від економічного розвитку держав та їх інтеграції у світову економіку. Найбільші обсяги перевезень характерні для найбільш розвинених країн ЄС, транспортні мережі яких охоплюють ключові міжнародні коридори.

Стратегічні напрями розвитку транспортної системи ЄС

У 2012 році було ухвалено план створення єдиної транспортної системи ЄС із горизонтом реалізації до 2030 року та модернізації транспортних мереж до 2050 року. План передбачає розвиток десяти транспортних коридорів, модернізацію 15 000 км залізниць для забезпечення високошвидкісного сполучення та інтеграцію основних європейських портів із автомобільними й залізничними мережами.

Разом із позитивними результатами розвитку транспортної інфраструктури виникають і нові виклики, зокрема перевантаження транспортних вузлів, зростання витрат часу та необхідність подальшої інтеграції національних транспортних систем. Відсутність повністю узгодженої транспортної політики та сучасної інфраструктури уповільнює інтеграційні процеси в ЄС.

Транспорт є ключовим чинником європейської інтеграції та розвитку внутрішнього ринку, сприяючи економічному зростанню та підвищенню конкурентоспроможності ЄС. Європейська транспортна політика спрямована на формування єдиної транспортної системи, підвищення рівня безпеки, покращення умов праці та захист прав пасажирів.

Найперспективнішими напрямами розвитку транспортної галузі визначено залізничний і водний транспорт, які сприяють зменшенню навантаження на автомобільні дороги та підвищенню екологічної ефективності транспортної системи. На сучасному етапі посилення

регулювання транспортної діяльності та модернізація інфраструктури залишаються ключовими умовами подальшого економічного розвитку ЄС.

Для виявлення перспективних технологій було проаналізовано стратегічні документи щодо інноваційного розвитку країн-членів Європейського Союзу. На основі отриманих результатів було використано пошукові платформи Web of Science та Derwent Innovation для оцінки перспектив розвитку цих технологій за допомогою бібліометричних показників та патентного аналізу.

Як повідомляє Web of Science, десятьма найперспективнішими напрямками наукових досліджень є: штучний інтелект, великі дані, технологія 5G, кібербезпека, мобільні послуги, автономне управління транспортом, електричний транспорт, нейромережева пам'ять, роботизований транспорт, інтелектуальні транспортні системи та Інтернет речей.

Водночас, результати дослідження, проведеного за допомогою патентного аналізу платформи Derwent Innovation, вказують на нові галузі, на які виробники технологій орієнтуватимуться як на найперспективніші: технологія 5G, підключений транспорт, великі дані, нейронні мережі з пам'яттю, Інтернет речей, автономний транспорт, електротранспорт, автомобільні технології, штучний інтелект та протоколи Інтернету. Усі ці технології прямо чи опосередковано пов'язані з процесами цифровізації транспортної галузі.

Показово, що концентрація патентів у десяти технологічних сферах настільки висока, що, згідно з результатами аналізу патентів від Derwent Innovation, це показує, наскільки розсіяним є їх загальний розподіл на карті. Цікаво, однак, що технології, класифіковані за Міжнародною патентною класифікацією (МПК), насправді розвиваються набагато повільніше, ніж провідні інноваційні галузі.

Порівняння еволюції наукових публікацій та отриманих цитувань, а також кількості патентних заявок у транспортному секторі, дозволяє нам висунути гіпотезу, що найперспективнішими напрямками у світі є штучний

інтелект, великі дані, технологія 5G, нейронні мережеві системи з пам'яттю та Інтернет речей. Загалом, ці напрямки можна охарактеризувати як цифровізацію транспортної галузі.

Аналізуючи глобальну патентну базу Derwent Innovation та досліджуючи глобальну патентну активність у визначених сферах, ми можемо визначити найцікавіші інноваційні технології в транспортному секторі.

Європейський Союз – найбільше регіональне інтеграційне об’єднання, метою якого є створення політичного, економічного та валютного союзу європейських держав, усунення бар’єрів для вільного переміщення товарів, послуг, капіталу та робочої сили, забезпечення спільної зовнішньої політики тощо. Сьогодні ЄС залишається одним із провідних економічних центрів світу, має величезний власний транспортний потенціал та приділяє значну увагу проблемам створення єдиної транспортної системи. Водночас, досі існують значні соціально-економічні відмінності між державами-членами та навіть між окремими регіонами ЄС, які стали особливо очевидними після розширення Союзу у 2007 році та після світової фінансової кризи 2008–2012 років. Розвиток транспортних мереж є однією з цілей транспортної політики ЄС, оскільки високоякісна інфраструктура є незамінною для сталого розвитку економіки та підвищення рівня життя населення.

Інтеграція національних транспортних мереж держав-членів сприяє регіональній та міжнародній співпраці. Акцент робиться на нових державах-членах, які отримують значні інвестиції для інтеграції своїх транспортних мереж у європейську мережу та зміцнення функціонування внутрішнього ринку. Фінансування розвитку транспортної інфраструктури в Словенії, Румунії, Угорщині, Хорватії та інших країнах спрямоване на зменшення економічної нерівності та подолання технічних бар'єрів, зокрема несумісності стандартів залізничних перевезень.

У жовтні 2013 року Європейська Комісія запропонувала нову програму розвитку транспортної мережі ЄС з метою зміцнення зв'язків між державами-членами та зменшення їхньої транспортної ізоляції. Проект включає 15 000 км

нових високошвидкісних та звичайних залізничних ліній, а також розвиток 94 морських портів і 38 аеропортів.

Основні транспортні коридори проекту включають:

1. Скандинавсько-середземноморський коридор – простягається від Фінляндії через Балтійське море до Швеції, через Німеччину та Альпи, а звідти – до Італії, пов’язуючи головні скандинавські міста та порти з промисловими зонами південної Німеччини, Австрії та північної Італії. 2. Північноморсько-Балтійський коридор – пов’язує східнобалтійські порти з портами Північного моря та забезпечує транспортне сполучення з Фінляндії та Естонії через країни Балтії, Польщу, Німеччину, Нідерланди та Бельгію.

3. Північноморсько-Середземноморський коридор – мультимодальна транспортна система, що охоплює внутрішні водні шляхи країн Бенілюксу та Франції. Маршрут починається в Ірландії, перетинає Нідерланди, Бельгію та Люксембург і закінчується на півдні Франції.

4. Балтійсько-Адріатичний коридор: важливий для розвитку трансєвропейських автомобільних та залізничних сполучень, що з'єднує Балтійське море з Адріатичним морем і проходить через промислові регіони південної Польщі, Відня та Братислави, через Східні Альпи до Північної Італії.

5. Східно-Середземноморський коридор з'єднує виходи до Північного, Балтійського, Чорного та Середземного морів, сприяючи оптимізації використання морських транспортних шляхів.

6. Рейнсько-Альпійський коридор є одним із найбільш інтенсивно використовуваних вантажних маршрутів, що з’єднує порти Роттердама та Антверпена, перетинає Швейцарію та ключові європейські економічні центри, включаючи регіони Рейн-Рур, Рейн-Майн-Неккар та північну Італію.

7. Атлантичний коридор – з’єднує західну частину Піренейського півострова з Центральною Європою високошвидкісним та звичайним залізничним сполученням, а також прибережними та внутрішніми водними шляхами через порти Гавр і Руан з Парижем та регіоном Мангейм-Страсбург. 8. Рейнсько-Дунайський коридор – перетинає водний шлях Дунаю, що йде від

Страсбурга та регіону Франкфурта до південної Німеччини, Австрії, Словаччини, Угорщини, Чеської Республіки, а звідти до кордону з Україною.

9. Середземноморський коридор – забезпечує автомобільне та залізничне сполучення між Піренейським півостровом та угорсько-українським кордоном.

Аналіз обсягів вантажних перевезень за країнами ЄС показує, що найбільший обсяг перевезень здійснюється автомобільним транспортом – 1,72 мільйона тонн у ЄС у 2013 році, що становить майже 40% від обсягу самих перевезень; це стрімке зростання перевезень пояснюється більшою кількістю використовуваних транспортних засобів. Країнами, які здійснюють найбільші вантажні перевезення, є Іспанія, Італія, Німеччина, Польща, Велика Британія та Франція.

Водночас, у більшості країн Європейського Союзу протягом останніх п'яти років спостерігається скорочення вантажних перевезень автомобільним транспортом, головним чином внаслідок фінансово-економічної кризи 2008–2012 років. Найбільше падіння відбулося в Румунії, Австрії, Швеції та на Кіпрі. Основними проблемами автомобільного транспорту залишаються затори на дорогах, екологічні ризики та аварійність транспорту, що зумовлює впровадження екологічних технологій та необхідність посилення норм викидів.

Обсяг залізничних перевезень відносно загального обсягу перевезень у країнах ЄС протягом останніх десятиліть скорочувався, але нещодавно тенденція дещо змінилася, і вантажні перевезення зростають у провідних країнах. Незважаючи на технічні та інституційні перешкоди, залізничний транспорт є найбезпечнішим і, власне, найекологічнішим видом транспорту; тому необхідна інтенсивна політика його модернізації.

Ринок морських перевезень є найменш лібералізованим з усіх секторів. Незважаючи на важливість водних (ріка, море) перевезень у забезпеченні вантажних перевезень, обсяги падають у значній кількості країн Співтовариства, головним чином через зростання транспортних витрат та

низку інших причин, пов'язаних з економічною та соціальною стабільністю ринку морських перевезень. Основні напрямки розвитку галузі визначені як: підвищення конкурентоспроможності, модернізація флоту та зміцнення екологічної безпеки.

Хоча повітряний транспорт займає найменшу частку вантажних перевезень, він є найшвидше зростаючим у пасажирському секторі. Його розвиток пов'язаний з лібералізацією ринку, гармонізацією стандартів безпеки та застосуванням міжнародних норм у сфері цивільної авіації.

Загалом, рівень експлуатації окремих видів транспорту залежить головним чином від економічного розвитку держав та їхньої інтеграції у світову економіку. Найбільші обсяги перевезень характерні для найрозвиненіших країн ЄС, транспортні мережі яких охоплюють найважливіші міжнародні коридори.

У 2012 році було прийнято план створення єдиної транспортної системи ЄС з горизонтом впровадження до 2030 року та модернізацією транспортних мереж до 2050 року. План передбачає розвиток десяти транспортних коридорів, модернізацію 15 000 км залізниць для забезпечення високошвидкісного сполучення та інтеграцію основних європейських портів з автомобільними та залізничними мережами.

Поряд із перевагами розвитку транспортної інфраструктури виникають нові проблеми: перевантаженість транспортних вузлів та збільшення часових витрат. Відсутність повністю скоординованої транспортної політики та сучасної інфраструктури уповільнює інтеграційні процеси в ЄС.

Висновки до розділу 1

Транспорт є важливим компонентом європейської інтеграції та розвитку внутрішнього ринку, сприяючи зростанню та підвищуючи конкурентоспроможність ЄС. Європейська транспортна політика зосереджена

на створенні єдиної транспортної мережі, підвищенні безпеки, покращенні умов праці та захисті прав пасажирів.

Найбільшим потенціалом для розвитку транспорту є залізничний та водний транспорт, які сприяють зменшенню заторів на дорогах та підвищенню екологічної ефективності транспортної системи. На цьому етапі посилення регулювання транспортної діяльності та модернізація її інфраструктури очікують на створення сприятливих умов для економічного розвитку ЄС.

РОЗДІЛ 2 ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛІ ЛАНЦЮГА ПОСТАЧАННЯ ЗЕРНОВИХ АВТОМОБІЛЬНО-ВОДНИМ СПОЛУЧЕННЯМ

2.1 Створення імітаційної моделі

Ключовим кроком у розробці моделі управління об'єктами є визначення концепції (концепцій) управління об'єктами (FM). Прикладом цього є режим польоту, який має використовувати літак для досягнення найвищого рівня безпеки та економічної ефективності. Іншим прикладом є те, як оптимально спланувати виконання сотень логістичних або будівельних завдань на великому об'єкті в найкоротші терміни. Подібні типи питань регулярно розглядаються економістами, інженерами-конструкторами та іншими фахівцями у своєму повсякденному робочому середовищі.

Основними цілями процесу моделювання є: 1. Отримати уявлення про те, як можна змоделювати конкретний об'єкт з огляду на його склад, структурні типи та характеристики, а також етапи еволюції та те, як він взаємодіє з навколишнім середовищем.

2. Адміністративне управління об'єктом – Модель ефективно навчає, як ефективно керувати об'єктом (процесно) та визначати найефективніший спосіб управління об'єктом на основі мети та критеріїв, встановлених для об'єкта. 3. Прогнозний аналіз/прогнозування – Модель створює основу для оцінки прямих та непрямих наслідків використання різних типів методів та форм впливу на об'єкт.

Зазвичай, прогнозування наслідків впливу на об'єкти в простих фізичних системах є порівняно простою операцією. Прогнозування наслідків впливу на об'єкти в біологічних, економічних та соціальних системах стає набагато складнішим, що робить використання відповідних методів для досягнення цієї мети майже неможливим. Зокрема, визначення того, як склад сплаву тонкого стрижня впливає на його характеристики теплопередачі, є відносно простою

операцією; тоді як оцінка того, як будівництво великого гідроелектростанції вплине як на навколишнє середовище, так і на клімат, або оцінка того, як зміна податкової політики вплине на промислову компанію та економіку всього суспільства, є значно складнішими операціями. Очікується, що розробка більш досконалих методів математичного моделювання сприятиме більш ефективному вирішенню цих процесів. Наразі в багатьох галузях науки та досліджень моделювання є одним з провідних способів проведення наукових досліджень і є всеохоплюючим заходом для вимірювання ключових характеристик складних систем, особливо для транспортних систем, які часто використовуються в процесі прийняття управлінських рішень. Метою процесу моделювання є формалізація того, як формується досліджуваний процес. Проектування складних транспортних систем та підсистем характеризується великою кількістю питань, пов'язаних з кількісними та якісними характеристиками та моделями функціонування.

Існують обмеження щодо того, як ефективно експериментувати з великомасштабними транспортними системами, і як наслідок, їх неможливо повністю спроектувати, побудувати та експлуатувати, якщо не використовувати методології моделювання. Аналітичне та імітаційне моделювання – це два типи методологій моделювання, які зазвичай розглядаються під час створення великомасштабної транспортної системи. Методології моделювання пропонують візуалізацію того, як система функціонуватиме, у відповідному форматі та можливість використовувати математику для опису роботи системи.

Для проведення дослідження транспортних систем з використанням аналітичного підходу необхідно встановити чіткі та лаконічні зв'язки між досліджуваними метриками, різними аспектами системи та тим, як вони застосовуються до початкових умов; цього легше досягти за допомогою простих систем (причинно-наслідкові зв'язки). Однак існують лише обмежені способи дослідження робочих параметрів складних систем, використовуючи лише аналітичні методи, що створює значні спрощення в моделі, що може

створити значні сумніви в точності результатів. Через ці обмеження для дослідження транспортних систем зазвичай використовуються імітаційні моделі.

Моделювання за допомогою імітаційного моделювання надає майже безмежні математичні ресурси для аналізу поведінки транспортної системи та/або відтворення стохастичних процесів, що відповідають моделі транспортної системи. Через безліч випадкових подій, що відбуваються в транспортних системах, моделювання за допомогою імітаційного моделювання може бути використане для прогнозування різних сценаріїв роботи транспортної системи.

Створення логістичної моделі для термінового перевезення критично важливих вантажів у середовищі AnyLogic має низку суттєвих переваг.

Оптимізація транспортних процесів. Моделі дозволяють моделювати транспортні процеси за допомогою комп'ютера та випробувати різні сценарії, щоб знайти найкращі транспортні маршрути та максимально свіжий план доставки продукту. Використання цих інструментів дозволяє скоротити тривалість та вартість транспортування, підвищити надійність доставки та зменшити втрати продукту під час транспортування.

Логістичне моделювання допомагає в оптимальному плануванні виробництва з урахуванням своєчасного розподілу продукції, враховуючи ринковий попит, існуючі варіанти транспортування та наявність виробничих потужностей.

Визначення потреби у додатковому обладнанні для транспортування товарів. Використання логістичних моделей може бути способом оцінки потреби у використанні додаткового обладнання (наприклад: холодильних установок, ізольованих контейнерів та рефрижераторного транспорту) для доставки вашої продукції. Крім того, це призводить до покращення організації переміщення вашого вантажу та зменшує ймовірність пошкодження вашого вантажу під час транспортування.

Моніторинг та контроль якості – Моделювання дозволяє нам створити спосіб моніторингу та контролю якості продукції під час транспортування, моделюючи умови транспортування та оптимальні умови зберігання для збереження безпеки та якості продукції.

Моделі імітації дозволяють досліднику створювати комп'ютерні симуляції системи або процесу, що вивчається. Цей метод дуже корисний для вивчення систем, які мають багато взаємопов'язаних факторів, що впливають на роботу системи, таких як галузь вантажних перевезень.

За допомогою імітаційного моделювання можна створювати віртуальні моделі вантажних транспортних операцій, що охоплюють весь процес від отримання товару до його доставки, і можуть включати характеристики вантажу, способи та маршрути, що використовуються для переміщення вантажу, а також будь-які впливові дорожні умови.

Створення моделі дає вам можливість проводити експериментальні дослідження різних ситуацій, а також прогнозувати ефективність інших способів виконання певних дій. Зокрема, ви можете оцінити, як різні транспортні умови впливатимуть на витрати та час, необхідний для доставки товарів. Крім того, ви можете використовувати імітаційне моделювання, щоб визначити, скільки транспортних засобів вам потрібно мати для задоволення певного рівня попиту. Наприклад, моделювання може допомогти вам визначити, скільки залізничних вагонів слід використовувати для вантажних перевезень, що заощадить ваші кошти завдяки використанню меншої кількості ресурсів, водночас забезпечуючи належний рівень транспортної підтримки.

Загалом, симуляційне моделювання транспорту є цінним способом максимізації вантажних операцій та вибору правильної кількості транспортних засобів. Симуляційне моделювання транспорту дозволяє передбачити, наскільки успішними будуть різні стратегії, щоб ви могли оцінити їхню ефективність та економічну ефективність.

Оскільки модель неявно містить усі свої функціональні залежності, пропонується вирішити проблему за допомогою методів імітаційного

моделювання. Імітаційне моделювання – це підхід до створення моделей, що відтворюють поведінку реальних процесів і систем.

Концепція створення моделей/токенів часто є синонімом «імітації». У латині це слово називається Modulus, що означає міра або зразок. Модель — це, по суті, будь-яке представлення фізичного або цифрового об'єкта, включаючи копію об'єкта, схему, діаграми, а також описові документи тощо.

Моделі моделювання – це програмні інструменти, які дозволяють моделювати відтворення складних процесів на основі формалізованих алгоритмів, що відображають спосіб їхньої роботи. Основна увага в моделюванні моделювання приділяється розробці відповідних моделей для вивчення функціонування систем за різних умов/сценаріїв, проведення економічного аналізу, а також проведення експериментальних випробувань.

Щоб пришвидшити аналіз результатів експериментальних досліджень та оцінити відповідну економічну складову, слід використовувати різні формати представлення цих даних. Прикладами деяких форматів, які варто розглянути, є сценарії, графіки, номограми, криві та аналітичні таблиці. Ці типи інструментів спрощують процес прийняття управлінських рішень на основі результатів моделювання та дозволяють формалізувати процес.

Коли дослідники створюють симуляції своєї системи, вони можуть точно відобразити динамічні аспекти (спосіб, яким системи фактично змінюються). Симуляційне моделювання дозволяє зберегти початкові параметри та початкові характеристики системи.

• збереження послідовності операцій та логічної структури процесу.

Переваги, пов'язані з моделлю, надають можливість отримати уявлення про стан процесу, який ви досліджуєте, у певний момент часу в майбутньому. З огляду на сучасний рівень розвитку як науки, так і технологій, моделювання стало одним із найпотужніших методів, доступних для вивчення складних систем, часто представляючи собою єдиний засіб вивчення таких систем на етапах їх проектування.

За допомогою методів моделювання можна імітувати складну проблему з багатьма різними зв'язками між численними частинами та безліччю різних функціональних відносин між ними. Корисність цього типу моделювання зумовлена вирішенням конкретної практичної проблеми під час вивчення складних структурованих систем.

Методи моделювання застосовуються до процесів різної складності, якщо вони визначені за допомогою відповідних методів представлення; точніше, діаграм та/або будь-якої форми визначеної мови, чисел та діаграм. При цьому існує безліч типів математичних моделей для використання в цьому застосуванні; до них належать: недетерміновані автомати, скінченні автомати, диференціальні рівняння, загальна теорія систем, агреговані моделі, марківські процеси та моделі чергового обслуговування.

Системи черг

Економічні процеси вважаються системами черг, які називаються... Система черг – це коли щось (наприклад, клієнт хоче... вам зателефонувати) має випадковий потік вхідних запитів (наприклад, телефонних дзвінків), а також механізм та/або алгоритм для обробки вхідних дзвінків.

Система черг – це система, яка обробляє кілька запитів, де кожен запит матиме потік випадкових інтервалів між такими подіями. У цьому випадку програми можуть використовувати черги запитів перед каналами обслуговування, куди вони надсилають запити на дані або події до служби. Отримання та обслуговування кожного запиту зазвичай моделюється або описується за допомогою відповідних розподілів ймовірностей.

Важливим аспектом використання імітаційного моделювання є здатність відтворювати досліджувані об'єкти, зберігаючи при цьому:

• структурну організацію,

• поведінкові якості. Сьогодні моделювання – це нова форма інформаційних технологій, яка надає засоби для створення об'єктів за допомогою комп'ютерних інструментів.

Модель імітації модифікується, проводяться комп'ютерні експерименти, а потім інтерпретуються результати для кожного з цих кроків імітаційного моделювання. Імітаційне моделювання має кілька характеристик: • Його можна використовувати для оцінки ефективності системи за невизначених умов.

• здатність проводити дослідження в умовах неповноти або неточності вихідних даних;

• підтримка процесів прийняття рішень шляхом аналізу великої кількості альтернативних варіантів.

Однією з найбільших переваг імітаційного моделювання є пошук працездатних рішень для складних систем шляхом вивчення численних альтернатив функціонування системи, а також різних сценаріїв її розвитку з часом. Навіть коли впровадження системи буде дуже складним і дорогим, імітаційна модель надає засоби прогнозування реакції цієї системи.

Метою цього дослідження є аналіз теоретичних основ імітаційного моделювання разом з поясненням, ефективністю та практичним застосуванням імітаційного моделювання. 2.2 Створення моделі Модель буде побудована за допомогою платформи Java SE від Oracle Corporation з використанням AnyLogic Personal Learning Edition від компанії AnyLogic. Імітаційна модель складатиметься з агентів, які представлятимуть різні основні елементи моделюваної системи, такі як транспортні засоби, обладнання, організації, персонал тощо. Кожен з цих агентів може моделювати та представляти багато різних процесів та/або явищ, що відбуваються в моделюваній системі.

Модель імітації була розроблена за допомогою компілятора Java в середовищі AnyLogic. Це обране середовище розробки дозволяє реалізувати бізнес-процеси постачання товарів, поєднуючи агентний та дискретно-подійний підходи.

Таблиця 2.1

Модельні агенти

Назва агенту	Функція агенту	Призначення агенту
Main	Базовий агент моделі	Головне вікно презентації моделі.
Truck	Популяція агентів «Парк вантажних автомобілів»	Імітація готових до відправлення парку автомобілів
Ship	Популяція агентів «Морськи судна»	Імітація готових до відправлення морських зерновозів-балкерів
Order	Популяція агентів типу «вантажна партія»	Імітація інформації про замовлення, пов'язаної з доставкою товарів з певними характеристиками: обсяг вантажу, часові метрики доставки.

Основними інструментами, що використовуються для моделювання різних агентних бізнес-процесів, є комбінація вбудованих бібліотек AnyLogic Enterprise та Ststchart.

Вбудована технологія ГІС-картографування була використана для створення мережі можливих маршрутів постачання (Рисунок 1).

Відповідно до проведених експериментальних досліджень отримано такі результати моделювання річного обсягу перевезення 1 т зерна автомобільним транспортом до морських торговельних портів на маршруті Полтава–Одеса.

Результати статистичного аналізу часу перебування вантажу в очікуванні відправлення та загального часу його перебування в автомобільній транспортній системі наведено в таблицях 2.2 і 2.4, а також на рисунках 2.1 і 2.2. Дослідження проведено для граничних значень чисельності парку

автомобілів: 500 одиниць (у дужках наведено мінімально допустиме значення) та 900 одиниць (максимально раціональне значення).

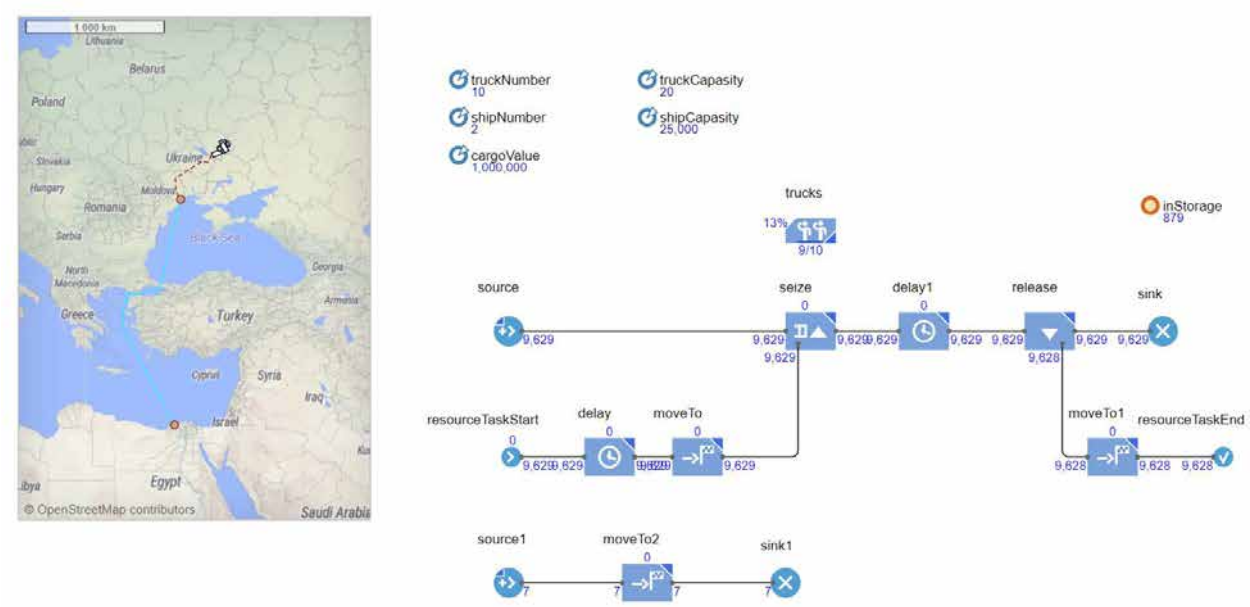


Рис. 1 – Загальний вигляд GIS карти із ланцюгом постачання ангенту *Main*.

Аналіз отриманих результатів показує, що більшу частину часу транспортування вантаж перебуває в очікуванні вільного автомобільного транспортного засобу для завантаження. Така ситуація є цілком логічною, оскільки збільшення парку вантажних автомобілів може призвести до надлишкового простою транспортних засобів у очікуванні вантажу, що, як відомо, є менш прийнятним сценарієм функціонування транспортної системи.

Результати моделювання свідчать, що розподіл часу та середнє значення очікування вантажу на вільний для завантаження вантажний автомобіль суттєво не залежать від розміру парку за умови його наближення до оптимального значення — як при 500, так і при 900 одиницях рухомого складу. Аналогічна закономірність спостерігається і для загального часу перебування вантажу в автомобільній транспортній мережі.

Це дозволяє стверджувати, що менше граничне значення оптимального розміру парку — 500 одиниць — є більш доцільним з точки зору ефективності функціонування транспортної системи.

Таблиця 2.2

Результати моделювання при граничних значення розміру парку вантажних автомобілів у 500 одиниць

Показник	Затримка вантажу в очікуванні вільного для завантаження автомобіля	Час знаходження вантажу у автомобільній транспортні системі
Кількість вантажних партій	49817	49638
Середнє значення	40.467	72.372
Мінімальне значення	20.327	34.197
Максимальне значення	74.232	125.054
Середньоквадр. відхилення	10.223	14.436
Доверит. інтервал для середнього значення	0.09	0.127
Сума	2015959	3592418

Таблиця 2.3

Щільність розподілу часу знаходження вантажу у черзі і автомобільній системі (при розмірі парку вантажних автомобілів у 500 одиниць та коефіцієнта утилізації 0,9)

Від, год	До, годин	Плотность вероятности часу затримки вантажу в очікуванні вільного для завантаження автомобіля	Плотность вероятности часу знаходження вантажу у автомобільній транспортні системі
0	10	0	0

10	20	0	0
20	30	8044	0
30	40	18283	79
40	50	13627	2326
50	60	7828	8147
60	70	2031	12235
70	80	4	12155
80	90	0	8722
90	100	0	4214
100	110	0	1459
110	120	0	287
120	130	0	14

Таблиця 2.4

Результати моделювання при граничних значення розміру парку вантажних автомобілів у 900 одиниць

Показник	Затримка вантажу в очікуванні вільного для завантаження автомобіля	Час знаходження вантажу у автомобільній транспортні системі
Кількість вантажних партій	50093	49906
Середнє значення	40.24	72.225
Мінімальне значення	20.342	34.909
Максимальне значення	68.104	123.315

Середньоквадр. відхилення	10.226	14.441
Доверит. інтервал для середнього значення	0.09	0.127
Сума	2015729	3604454

Таблиця 2.5

Щільність розподілу часу знаходження вантажу у черзі і автомобільній системі (при розмірі парку вантажних автомобілів у 900 одиниць та коефіцієнта утилізації 0,5)

Від, год	До, годин	Плотность вероятности часу затримки вантажу в очікуванні вільного для завантаження автомобіля	Плотность вероятности часу знаходження вантажу у автомобільній транспортні системі
0	10	0	0
10	20	0	0
20	30	8318	0
30	40	18689	76
40	50	13341	2348
50	60	7787	8421
60	70	1958	12293
70	80	0	12172
80	90	0	8696

90	100	0	4105
100	110	0	1452
110	120	0	331
120	130	0	12

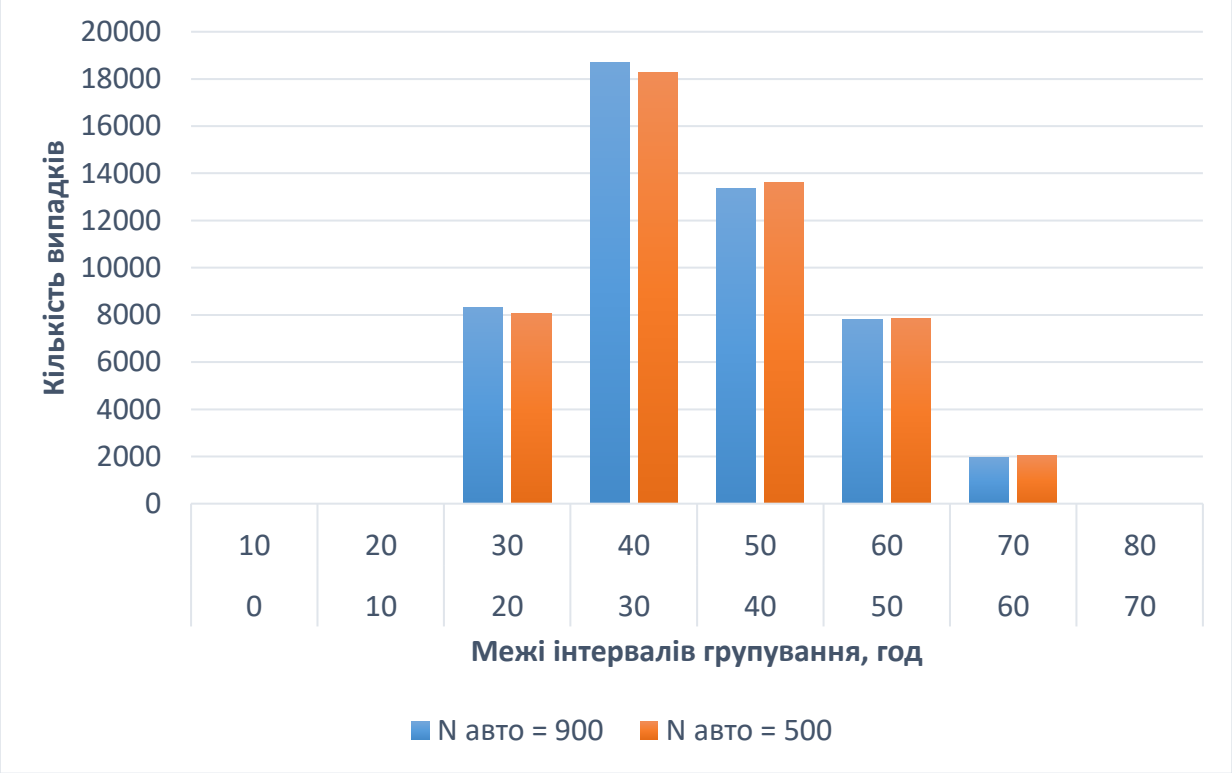


Рис. 2.1 - Щільність розподілу часу знаходження вантажу у черзі в очікуванні вільного для завантаження автомобіля при граничних парках вантажних автомобілів

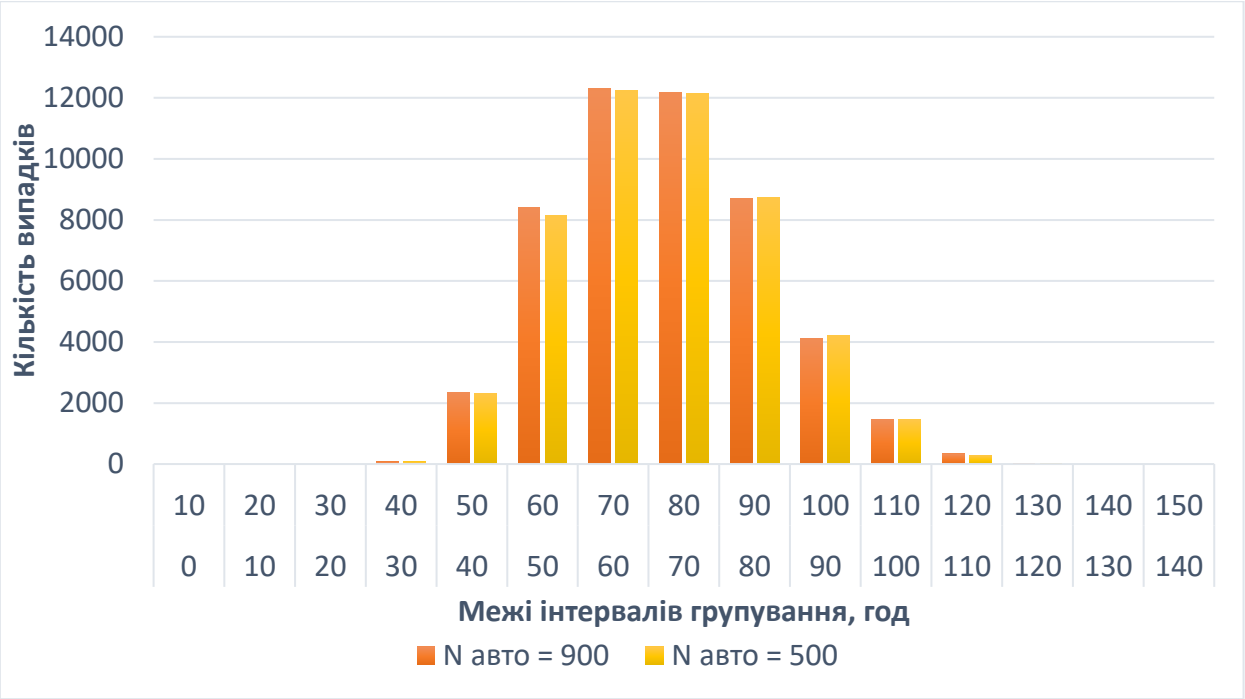


Рис. 2.2 - Щільність розподілу часу знаходження вантажу у автомобільній системі при граничних парках вантажних автомобілів

Висновок до 2 розділу.

Результати дослідження показали, що в цьому дослідженні було ретельно розглянуто як теорію, так і практичне застосування методу моделювання для складних транспортно-логістичних систем. Також було продемонстровано, що можна підвищити ефективність управління вантажними перевезеннями за допомогою сучасних технологій, заснованих на системах віртуального моделювання. Крім того, аналіз цього дослідження показав, що використання моделей складних транспортно-логістичних систем є одним з найефективніших способів вивчення складних економічних та транспортних систем через велику кількість взаємозалежних змінних, стохастичних процесів та неможливість проведення реальних експериментів.

У цьому дослідженні ми визначаємо три фундаментальні цілі процесу моделювання: сформулювати структуру та поведінку об'єкта дослідження (моделі); забезпечити ефективний засіб керування системою (моделлю); та

розвинути розуміння ймовірного впливу різних рішень, прийнятих щодо роботи конкретної моделі. Моделювання за допомогою імітаційного моделювання найкраще підходить для складних транспортних систем, які мають динамічні та стохастичні характеристики, оскільки традиційні аналітичні підходи вимагають значного рівня спрощення для точного відображення фактичної роботи системи.

У дослідженні розглянуто ключові методи моделювання транспортної системи: аналітичне моделювання та імітаційне моделювання, а також визначено як їхні переваги, так і недоліки. Результати показують, що за допомогою імітаційного моделювання можна відтворити реальну роботу транспортних систем, включаючи їх структуру та способи поведінки. Також імітаційне моделювання можна використовувати для проведення експериментів з невизначеністю та неповними вихідними даними.

Транспорт та громадські послуги часто зображуються таким чином, коли визначається, чи є вони ефективними інструментами для оцінки всіх економічних та транспортних процесів. Транспортні послуги допомагають описати все використання транспортних послуг, методи експлуатації та часові параметри за допомогою формальних методів та процедур застосування. При використанні для оцінки транспортних систем, громадський транспорт може бути застосований для оцінки ефективності, визначення оптимальних робочих параметрів та прогнозування роботи транспортної системи на основі різних сценаріїв розвитку.

У ході практичної роботи ми створили імітаційну модель транспортно-логістичних систем для моделювання вантажних перевезень у середовищі AnytimeLogic, яке належить до платформи Oracle Java SE. Імітаційна модель включає методи моделювання як агентів, так і дискретних подій, і зокрема включає всі основні елементи транспортної системи, включаючи судна, транзит та запити на вантажні перевезення. Використання агентного підходу дозволяє реалістично відображати динаміку та взаємодію між різними

компонентами транспортної системи, що призводить до високоточного відображення моделювання логістичних процесів.

Розроблена тут модель дозволяє відтворити весь транспортний процес, від моменту створення замовлення до моменту його доставки до порту з використанням видів транспорту, включаючи повітряний, морський, залізничний та вантажний, а також враховує всі відповідні деталі щодо вантажу, що переміщується з одного місця в інше, включаючи: транспортні маршрути, часові рамки та зовнішні умови (такі як погода). Крім того, технології ГІС-карт сприяють створенню мереж транспортних маршрутів для підвищення надійності результатів, отриманих за допомогою цих моделей.

Показники операційної ефективності вантажних перевезень системою автомобільних доріг Полтава-Одеса було статистично проаналізовано на основі експериментальних досліджень. Було досліджено вплив розміру автопарку на транспортний процес шляхом вивчення часових характеристик транспортного процесу, включаючи час очікування транспорту та загальний час транспортування системою.

Згідно з нашими висновками, значна частина часу, витраченого на очікування вантажу, пов'язана з тим, що транспортні засоби не використовуються під час очікування відправлення, що створює непродуктивний «простій». Це зумовлено тим, як організований транспортний процес, включаючи швидкість потоку вантажів відносно транспортних ресурсів та кількість вантажу, яку можна перевезти за один рейс. Результати дослідження також показують, що коли транспортних засобів більше, ніж оптимальний рівень, транспортні засоби витрачають більше часу на бездіяльність або «простій», що знижує ефективність ресурсу.

Аналіз максимального розміру автопарку (як 500, так і 900) не виявив суттєвої різниці в часі очікування вантажу та загальному часі транспортування в системі, коли автопарк близький до свого оптимального розміру. Крім того, при використанні максимального розміру автопарку 500 система є більш економічно ефективною та організаційно обґрунтованою, підтримуючи

ефективну роботу системи без потреби в надлишкових транспортних ресурсах.

Таким чином, результати дослідження підтверджують, що моделювання процесу транспортної логістики за допомогою імітаційного моделювання продемонструвало свою ефективність на багатьох рівнях. Імітаційне моделювання здатне моделювати транспортну систему різними способами (за кількома сценаріями), дозволяючи керівництву розробляти оптимальний робочий параметр, прогнозувати результати своїх рішень та підвищувати ефективність використання своїх транспортних ресурсів.

Практичне значення цих результатів полягають у тому, що їх можна використовувати для покращення управління вантажними перевезеннями та підвищення операційної ефективності в логістиці, зниження транспортних витрат та підвищення надійності доставки вантажів. Ці методи також застосовні для дослідження транспортних систем порівнянної складності, а також для досліджень логістичних процесів усіх рівнів складності.

Майбутні напрямки досліджень будуть зосереджені на створенні більшої кількості варіантів використання моделі шляхом включення додаткових елементів впливу, включаючи економічні показники, різні рівні попиту на транспорт, вплив сезонних коливань на обсяги перевезень, а також інтеграцію мультимодальних транспортних систем з їхніми індивідуальними факторами операційного ризику.

РОЗДІЛ 3 ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВАНТАЖІВ І ВАНТАЖНО-РОЗВАНТАЖУВАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ

3.1 Охорона праці під час перевезення сипучих та дрібних вантажів

Система, за допомогою якої функціонує охорона праці, складається з правових, соціально-економічних, організаційних методів та технічних засобів, що забезпечують збереження життя, здоров'я та працездатності своїх працівників під час трудової діяльності. Правила, встановлені для забезпечення безпеки працівників шляхом дотримання правил охорони праці, покликані зменшити ризик як травматизму на виробництві, так і професійних захворювань.

Перед відправленням власник підприємства повинен дати водієві інструкції щодо умов праці та характеристик вантажу. Власник також повинен забезпечити використання для перевезення лише технічно задовільних, обладнаних та підготовлених транспортних засобів.

Водії зобов'язані вживати всіх необхідних заходів для захисту своїх транспортних засобів від переміщення без їхньої згоди, коли вони припарковані, навіть на незначному схилі. Вони також зобов'язані встановити спеціальні обмежувачі коліс на транспортному засобі, якщо він припаркований на будь-якому типі схилу. Цей розділ Кодексу забороняє деякі дії, зокрема:

1. Неогороджені транспортні засоби на естакадах

2. Блокування доступу уповноваженому персоналу (наприклад, вантажникам, супроводжуючим, представникам правоохоронних органів тощо)

3. проводити ремонт рухомого складу під час його руху;

4. використовувати сторонні предмети як опори або засоби фіксації транспортного засобу;

Попередньої перевірки на наявність перешкод для персоналу або на наявність достатньої чіткості для спроби руху заднім ходом не проводитиметься; будь-який рух заднім ходом вимагатиме присутності призначеного керівника. Правила безпеки під час завантаження та розвантаження матеріалів включають: завантаження та розвантаження повинні здійснюватися під керівництвом особи, призначеної керівником підприємства.

Допуск до вантажно-розвантажувальних робіт буде обмежений лише тими працівниками, які пройшли відповідне навчання з охорони праці, перевірку знань та мають необхідну сертифікацію; також має бути дотримання встановлених норм підіймання та переміщення вантажів особами віком до 18 років.

Відправник, одержувач або уповноважена третя сторона повинні дотримуватися чинних правил безпеки під час виконання вантажно-розвантажувальних операцій, закріплення вантажу або відкриття та закриття бокової частини вантажівки. Водії також повинні переконатися, що перевізники належним чином завантажилися перед відправленням і що вони належним чином закріпили свої вантажі під час транспортування, щоб запобігти пошкодженню обладнання та/або транспортних засобів.

3.2 Загальні вимоги охорони праці для водіїв автонавантажувачів

Керувати вилковими навантажувачами можуть лише особи, які успішно пройшли відповідне навчання, склали кваліфікаційний іспит та отримали як посвідчення, що дозволяють їм керувати вилковими навантажувачами, так і посвідчення особи, що підтверджує вік (не менше 18 років).

Перед початком роботи водії навантажувачів повинні пройти медичний огляд, пройти початковий та базовий інструктаж з охорони праці, ознайомитися з умовами праці на своїй роботі та отримати практичний інструктаж з безпечного використання навантажувача (наприклад, підйом/перевезення/складування). Результати перевірки знань з безпеки праці повинні бути записані у відповідні журнали обліку особи, яка проходить перевірку.

Коли працівник переводиться на іншу посаду або стикається зі зміною робочих обставин, він/вона повинен/повинна пройти повторне навчання, яке включає вивчення фізичного розташування нового обладнання, способів його експлуатації та процедур безпеки, пов'язаних з належними методами експлуатації.

Якщо працівник більше не може виконувати свою попередню роботу через проблеми зі здоров'ям, підтверджені медичною довідкою, його буде переведено на іншу посаду відповідно до чинного законодавства. Під час роботи оператори навантажувача можуть піддаватися впливу кількох небезпечних та шкідливих факторів робочого середовища, таких як:

Перш за все, деякі фактори, що впливають на те, як оператор керує вилковим навантажувачем, включають:

• Рух машин та електрообладнання.

• Вантажі, що піднімаються або зберігаються.

• Підвищений рівень вологості повітря.

• Температура робочої зони нижча за норму. • Недостатнє освітлення безпосередньо в робочій зоні.

• Гострі краї та/або нерівні поверхні на обладнанні чи інструментах.

Залежно від умов роботи, операторам знадобляться засоби індивідуального захисту, включаючи, але не обмежуючись:

• Спеціальний одяг.

• Захисне взуття (наприклад, гумове, якщо потрібно).

• Комбіновані захисні рукавички.

Під час роботи на відкритому повітрі взимку додатково використовується утеплений робочий одяг.

Посадові обов'язки водія навантажувача обмежуються виконанням певних операцій згідно з посадовою інструкцією компанії; дотриманням встановлених операційних процедур; та утриманням від використання будь-яких методів, пов'язаних з роботою, які можуть призвести до порушення правил безпеки.

Працівник повинен негайно припинити роботу та повідомити оператора про будь-які небезпечні умови або несправність обладнання. Використання несправного вилкового навантажувача заборонено; тому робоче місце повинно бути чистим та у належному робочому стані. Усі інструменти та обладнання повинні зберігатися у відповідних місцях.

Взимку робочу зону необхідно очищати від снігу та льоду. Якщо освітлення робочої зони недостатнє або відсутнє, роботу необхідно припинити до усунення недоліків.

Висновки до розділу 3

Метою цього розділу є аналіз вимог щодо підвищення безпеки шляхом забезпечення безпечного робочого середовища для людей, які перевозять, завантажують та розвантажують сипучі та дрібні вантажі, а також керують вилковими навантажувачами. Аналізуючи чинні правила та норми, а також чинну практику, викладену у відповідних організаційних політиках, ми можемо визначити, як належний рівень безпеки праці пов'язаний з успішною роботою різних транспортних та технологічних систем, що використовуються сьогодні, та зі зменшенням кількості виробничих травм у промисловості.

Забезпечення безпечного виконання перевезень вимагає поєднання правових, організаційних та технічних заходів для захисту життя, здоров'я або працездатності працівників. Особливу увагу слід приділяти технічному стану транспорту, кваліфікації водіїв, способу закріплення вантажів та

використанню запобіжного обладнання під час паркування транспортних засобів або пов'язаних з цим маневрів. Важливим компонентом безпеки перевезень є те, що вантажно-розвантажувальні операції повинні проводитися під наглядом призначених осіб, і до виконання вантажно-розвантажувальних операцій допускатимуться лише особи, які пройшли відповідне навчання та оцінювання з охорони праці.

Безпечна експлуатація вантажного обладнання за допомогою вилкового навантажувача включає відповідне навчання водіїв вилкового навантажувача для забезпечення дотримання ними правил, отримання підтвердження своєї компетентності шляхом медичних оглядів та постійного навчання й інструктажів. Окрім дотримання програми навчання з безпечної експлуатації, водії повинні враховувати багато потенційних небезпек, пов'язаних з використанням вилкового навантажувача; тому під час роботи необхідно носити засоби індивідуального захисту, а також дотримуватися встановлених виробничих інструкцій, а також постійно контролювати справність/стан машини вилкового навантажувача, щоб уникнути нещасних випадків або травм під час експлуатації вилкового навантажувача.

Важливо встановити, що належні умови праці також сприятимуть забезпеченню безпечних умов праці. Регулярне прибирання снігу та льоду, належне освітлення, підтримка чистоти та порядку на робочому місці, а також своєчасне виявлення будь-яких несправностей обладнання можуть значно зменшити ймовірність нещасного випадку або травмування працівника.

Щоб забезпечити безпечне та ефективне транспортування товарів та операції з завантаження/вивантаження, важливо дотримуватися стандартів охорони праці протягом усього процесу. За умови правильного впровадження, обговорені вище заходи щодо організації, експлуатації та запобігання пошкодженню об'єктів, зрештою зменшать ризики в операціях, забезпечать високий рівень безпеки працівників, збережуть активи компанії та підтримуватимуть стабільний ланцюг поставок.

ВИСНОВКИ

Результатом дипломного проєкту стало дослідження теоретичних та практичних аспектів функціонування транспортно-логістичних систем сьогодні у зв'язку з розвитком міжнародних перевезень. Це включало аналіз організації різних типів транспортних систем, доведену ефективність методів моделювання для підвищення ефективності управління транспортними процесами та створення прототипу на основі цих методів.

Виступаючи ключовим фактором у підтримці міжнародної економічної інтеграції, розвитку ефективних логістичних ланцюгів поставок та забезпеченні конкурентної основи національних економік, транспортна галузь слугує життєво важливим елементом сучасної економічної політики. Саме завдяки європейській транспортній політиці ми зможемо побудувати єдину транспортну мережу в межах ЄС, підвищити безпеку всіх видів транспорту в межах ЄС, модернізувати транспортну інфраструктуру та створити екологічно чисті транспортні системи. Зокрема, було виявлено, що залізничні та водні види транспорту мають величезний потенціал для мультимодальних перевезень зернових вантажів, оскільки вони можуть зменшити затори на дорогах, знизити транспортні витрати та забезпечити більшу ефективність в екологічному контексті транспорту.

У цьому дослідженні проаналізовано концептуальні моделі, що використовуються для аналізу складних транспортно-логістичних структур, шляхом визначення цілей процесу, що використовується для розробки цих моделей: створення структури та поведінки досліджуваного об'єкта, систем управління для цього досліджуваного об'єкта, а також прогнозування результатів роботи системи управління. У цьому випадку найкращими методами аналізу цих типів складних транспортних мереж, що мають складні категорії аналітичних параметрів, стохастичних моделей з широким спектром теоретичних та динамічних моделей, а також тих, що піддаються змінам, буде

моделювання на основі моделювання. Традиційні методи аналітичного моделювання не враховують невизначеність; тому моделювання на основі моделювання може бути використане для експериментування зі змінними умовами або зведеними параметрами, щоб отримати більш перевірені результати щодо роботи транспортної мережі.

Метою дослідження було проаналізувати відмінності та подібності між аналітичними та симуляційними методами моделювання транспортних процесів; крім того, воно мало на меті проаналізувати переваги/недоліки кожної моделі. Результати дослідження показують, що симуляційне моделювання має унікальні особливості, які можуть точно відтворювати фактичну роботу транспортної системи, включаючи її структурні характеристики, експлуатаційні характеристики та поведінкові характеристики. Ці характеристики особливо актуальні для досліджень міжнародного транспортування зерна.

Було створено нову розроблену модель транспортно-логістичної системи, що використовується для перевезення вантажів, за допомогою експериментального використання агентного моделювання (з агентами, що представляють кожен компонент). Кожен транспортний процес, включаючи (але не обмежуючись) розміщення замовлення, обробку, переміщення до місця призначення з використанням різних видів транспорту (наприклад, вантажівки, залізниці, моря, повітря тощо), дотримання маршрутів, часових рамок тощо, створює віртуальну копію повного транспортного циклу. Крім того, це дозволяє відтворювати зовнішні впливи, такі як погода, в системі. Агентне представлення створює точне відображення різних взаємодій, що відбуваються між компонентами транспортної системи, і в результаті створює точне моделювання логістичних процесів.

Завдяки застосуванню геоінформаційних технологій було отримано побічні ефекти, що сприяють формулюванню транспортних маршрутів та підвищують точність розробки моделей; обидва ці фактори суттєво сприятимуть оптимізації транспортування зерна через міжнародні кордони.

Результати підтверджують, що ця новостворена модель пропонує ефективний механізм для вимірювання ефективності транспортних процесів, прогнозування їхньої майбутньої продуктивності, а також визначення конкретних елементів, що впливають на успішну логістичну систему.

Дослідження також включає оцінку на статистичному рівні певних показників ефективності транспортного процесу, проведену на прикладі маршруту наземного транспорту, що дозволяє визначити, як кількість різних транспортних засобів впливає на загальну тривалість транспортування або час простою транспортних засобів. Дослідження показало, що більша частина часу, витраченого на транспортування, пов'язана з непродуктивним часом роботи транспортних засобів через несумісність обсягу вантажу та транспортних ресурсів. Дослідження визначило оптимальні параметри використання транспортних ресурсів, які забезпечують максимальну ефективність використання ресурсів, а також мінімізують загальну кількість необхідних транспортних засобів, тим самим знижуючи витрати та підвищуючи ефективність транспортування.

Результати дослідження показують, що додавання імітаційних моделей для управління процесом мультимодального транспортування зерна підвищує ефективність управління транспортними ресурсами, знижує вартість транспортування та підвищує надійність доставки вантажів. Дослідження має практичне значення, оскільки може покращити ефективність транспортних систем для переміщення товарів, підвищити ефективність логістичних операцій та підвищити довговічність транспортних систем, що використовуються в міжнародних перевезеннях.

У перелічених вище сферах буде постійно проводитися робота, спрямована на розширення можливостей моделі для врахування показників ефективності перевезення зерна та інших змінних, пов'язаних зі зростанням попиту на перевезення зерна в сезоні; впливу різних обсягів вантажопотоку на транспортну галузь; врахування ризиків, пов'язаних з експлуатацією різних видів транспорту; а також подальшого розвитку цих сфер для створення

точніших прогнозів, кращої організації міжнародної транспортної системи та підвищення стійкості транспортних та логістичних систем.

Таким чином, цілі дипломного проєкту були досягнуті. Результати підтверджують, що (а) існують практичні застосування сучасних методів організації перевезення вантажів у межах кількох категорій вантажів різними видами транспорту в міжнародній торгівлі та (б) ці методи можуть підвищити ефективність транспортної галузі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] “У 2021 році Україна збільшила експорт агропродукції на 25%.” Accessed: Feb. 08, 2022. [Online]. Available: http://naas.gov.ua/newsukraine/?ELEMENT_ID=7433

[2] Мацюк В.І., Мироненко В.К., and Кацман М.Д., *Технологічна надійність залізничних транспортних систем: монографія*. Київ: ТПК «Орхідея», 2021.

[3] М.Д. Кацман, О.І. Запорожець, В.К. Мироненко, В.І. Мацюк, and О.В. Третьяков, *Деякі аспекти організації управління екологічною безпекою під час ліквідування наслідків аварійних ситуацій на залізничному транспорті: монографія*. ТПК «Орхідея», 2021.

[4] V. Matsiuk, “A study of the technological reliability of railway stations by an example of transit trains processing,” *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 1, no. 3–85, pp. 18–24, 2017, doi: 10.15587/1729-4061.2017.91074.

[5] V. Matsiuk, V. Opalko, L. Savchenko, O. Zagurskiy, and N. Matsiuk, “Optimisation of transport and technological system parameters of an agricultural enterprise in conditions of partial uncertainty,” *Naukovij žurnal «Tehnìka ta energetika»*, vol. 14, no. 3, pp. 61–71, Jul. 2023, doi: 10.31548/machinery/3.2023.61.

[6] V. Myronenko and V. Matsiuk, “Rational distribution of the high-speed railway capacity between trains of various categories,” *Transport Economics and Logistics*, 2018, doi: 10.26881/etil.2018.76.07.

[7] V. Matsiuk and H. Vasilova, “Rational areas of combined transport technologies application for container delivery on the Caspian-Black sea route of the new Silk Road,” *Transport Economics and Logistics*, 2018, doi: 10.26881/etil.2018.76.10.

[8] V. Matsiuk and O. Yurchenko, “Mathematical model for assessing the reliability of cargo delivery on the Caspian-Black sea route of the new Silk Road,” *Transport Economics and Logistics*, 2018, doi: 10.26881/etil.2018.76.09.

[9] V. Matsiuk and O. Yurchenko, “Mathematical model for assessing the reliability of cargo delivery on the Caspian-Black sea route of the new Silk Road,” *Transport Economics and Logistics*, vol. 76, pp. 107–114, Mar. 2018, doi: 10.26881/ETIL.2018.76.09.

[10] O. Zaporozhets, M. Katsman, V. Matsiuk, and V. Myronenko, “STUDY OF THE FUNCTIONING OF A MULTI-COMPONENT AND MULTI-PHASE QUEUING SYSTEM UNDER THE CONDITIONS OF THE IMPLEMENTATION OF DISRUPTIVE TECHNOLOGIES IN AIR TRANSPORTATION,” *Reliability: Theory and Applications*, vol. 19, no. 2, pp. 576–593, Jun. 2024, doi: 10.24412/1932-2321-2024-278-576-593.

[11] O. Zagurskiy, L. Savchenko, I. Makhmudov, and V. Matsiuk, “ASSESSMENT OF SOCIO-ECOLOGICAL EFFICIENCY OF TRANSPORT AND LOGISTICS ACTIVITY,” *Engineering for Rural Development*, vol. 21, pp. 543–550, 2022, doi: 10.22616/ERDEV.2022.21.TF182.

[12] V. Matsiuk, O. Galan, A. Prokhorchenko, and V. Tverdomed, “An Agent-Based Simulation for Optimizing the Parameters of a Railway Transport System,” in *ICTERI-2021, : Main Conference, PhD Symposium, Posters and Demonstrations*, 2021. [Online]. Available: https://ceur-ws.org/Vol-3013/20210121.pdf

[13] Y. Khomenko, V. Matsiuk, A. Okorokov, and O. Gorobchenko, “Development of a simulation model of grain delivery in global supply chains,” *Naukovì dopovìdì Nacìonal'nogo unìversitetu bìoresursiv ì prirodokoristuvannâ Ukraïni*, vol. 20, no. 5, pp. 21–35, Oct. 2024, doi: 10.31548/DOPOVIDI/5.2024.21.

[14] Y. Khomenko, V. Matsiuk, A. Okorokov, and O. Gorobchenko, “Development of a simulation model of grain delivery in global supply chains,” *Naukovì dopovìdì Nacìonal'nogo unìversitetu bìoresursiv ì prirodokoristuvannâ Ukraïni*, vol. 20, no. 5, pp. 21–35, Oct. 2024, doi: 10.31548/DOPOVIDI/5.2024.21.

[15] V. Matsiuk *et al.*, “Improvement of efficiency in the organization of transfer trains at developed railway nodes by implementing a ‘flexible model,’” *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2019, doi: 10.15587/1729-4061.2019.162143.

[16] M. D. Katsman, V. K. Myronenko, and V. I. Matsiuk, “MATHEMATICAL MODELS OF ECOLOGICALLY HAZARDOUS RAIL TRAFFIC ACCIDENTS,” 2015.

[17] M. D. Katsman, V. I. Matsiuk, and V. K. Myronenko, “STUDY OF THE FUNCTIONING OF A MULTICOMPONENT AND MULTI-PHASE QUEUING SYSTEM ON THE EXAMPLE OF A VEHICLE REPAIR ENTERPRISE,” *Reliability: Theory and Applications*, vol. 18, no. 3, pp. 751–767, Sep. 2023, doi: 10.24412/1932-2321-2023-374-751-767.

[18] M. D. Katsman, V. I. Matsiuk, and V. K. Myronenko, “MODELING THE RELIABILITY OF TRANSPORT UNDER EXTREME CONDITIONS OF OPERATION AS A QUEUING SYSTEM WITH PRIORITIES,” *Reliability: Theory & Applications*, vol. June 2, no. 73, pp. 167–179, 2023, Accessed: Jul. 15, 2023. [Online]. Available: https://doi.org/10.24412/1932-2321-2023-273-167-179

[19] V. I. Matsiuk, V. K. Myronenko, and Y. P. Petinov, “CONCEPT OF REGULATIONS FOR ACCESS OF PRIVATE LOCOMOTIVES TO PUBLIC RAILWAY INFRASTRUCTURE,” *Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, vol. 0, no. 3(87), pp. 62–70, Jul. 2020, doi: 10.15802/STP2020/208198.

[20] O. Gorobchenko, V. Matsiuk, H. Holub, I. Gritsuk, and O. Nevedrov, “INCREASING THE EFFICIENCY OF OPERATION AND MANAGEMENT OF RAILROAD TRANSPORT INFRASTRUCTURE BASED ON MAXIMUM LEVELS OF FAULT TOLERANCE,” *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 5, no. 3–131, pp. 55–65, 2024, doi: 10.15587/1729-4061.2024.311829.

[21] V. Matsiuk, N. Ilchenko, O. Pryimuk, D. Kochubei, and A. Prokhorchenko, “Risk assessment of transport processes by agent-based simulation,” *AIP Conf. Proc.*, vol. 2557, no. 1, Oct. 2022, doi: 10.1063/5.0105913/2829501.

[22] O. Gorobchenko, V. Matsiuk, H. Holub, D. Zaika, and I. Gritsuk, “The theoretical basis of the choice of new locomotives for Ukraine in the post-war period,” *Collection of scientific works of the State University of Infrastructure and Technologies series “Transport Systems and Technologies,”* no. 42, pp. 34–44, Dec. 2023, doi: 10.32703/2617-9059-2023-42-3.

[23] M. Namazov, V. Matsiuk, I. Bulgakova, I. Nikolaienko, and R. Vernyhora, “Agent-based simulation model of multimodal iron ore concentrate transportation,” *Naukovij žurnal «Tehnìka ta energetika»*, vol. 14, no. 1, Feb. 2023, doi: 10.31548/machinery/1.2023.46.

[24] V. Matsiuk, N. Ilchenko, O. Pryimuk, D. Kochubei, and A. Prokhorchenko, “Risk assessment of transport processes by agent-based simulation,” *AIP Conf. Proc.*, vol. 2557, no. 1, p. 080003, Oct. 2022, doi: 10.1063/5.0105913.

[25] A. Prokhorchenko, L. Parkhomenko, A. Kyman, V. Matsiuk, and J. Stepanova, “Improvement of the technology of accelerated passage of low-capacity car traffic on the basis of scheduling of grouped trains of operational purpose,” in *Procedia Computer Science*, 2019, pp. 86–94. doi: 10.1016/j.procs.2019.01.111.

[26] V. Matsiuk, V. Yanovska, H. Matviienko, O. Parfentieva, and N. Ilchenko, “Development of a method for estimating the carbon footprint when transporting grain by road,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1415, no. 1, p. 012033, Dec. 2024, doi: 10.1088/1755-1315/1415/1/012033.

[27] V. Matsiuk, V. Yanovska, V. Hurochkina, N. Ilchenko, and V. Tvoronovych, “Prediction of CO2 emissions during multimodal grain transportation,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1415, no. 1, p. 012036, Dec. 2024, doi: 10.1088/1755-1315/1415/1/012036.

[28] Y. Khomenko, A. Okorokov, V. Matsiuk, I. Zhuravel, and O. Pavlenko, “Revealing the causes of delays at transit points along an intermodal grain supply chain,” *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 4, no. 3 (136), pp. 40–50, Aug. 2025, doi: 10.15587/1729-4061.2025.338166.

[29] V. Samsonkin, O. Goretskyi, V. Matsiuk, V. Myronenko, A. Boinik, and V. Merkulov, “Development of an approach for operative control over railway transport technological safety based on the identification of risks in the indicators of its operation,” *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 6, no. 3 (102), pp. 6–14, Nov. 2019, doi: 10.15587/1729-4061.2019.184162.

[30] T. Anufriyeva, V. Matsiuk, N. Shramenko, N. Ilchenko, O. Pryimuk, and V. Lebid, “CONSTRUCTION OF A SIMULATION MODEL FOR THE TRANSPORTATION OF PERISHABLE GOODS ALONG VARIABLE ROUTES,” *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 2, no. 4–122, pp. 42–51, 2023, doi: 10.15587/1729-4061.2023.277948.

[31] S. Panchenko, A. Prokhorchenko, O. Dekarchuk, D. Gurin, D. Mkrtychian, and V. Matsiuk, “Development of a method for studying the impact of the time reserve value on the reliability of the train schedule based on the epidemiological SIR model,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1002, no. 1, p. 012016, Dec. 2020, doi: 10.1088/1757-899X/1002/1/012016.

[32] M. D. Katsman, V. K. Myronenko, V. I. Matsiuk, and P. V. Lapin, “Approach to determining the parameters of physical security units for a critical infrastructure facility,” *Reliability: Theory and Applications*, vol. 16, no. 1, pp. 71–80, 2021, doi: 10.24412/1932-2321-2021-161-71-80.

[33] A. Mazaraki, V. Matsiuk, N. Ilchenko, O. Kavun-Moshkovska, and T. Grygorenko, “Development of a multimodal (railroad-water) chain of grain

supply by the agent-based simulation method," *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 6, no. 3 (108), pp. 14–22, Dec. 2020, doi: 10.15587/1729-4061.2020.220214.

[34] А. В. СУСЛОВ and К. І. ЗАГАЙКЕВИЧ, "ОЦІНКА НЕРІВНОМІРНОСТІ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗЕРНОВИХ ВАНТАЖІВ ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ В УКРАЇНІ," *Транспортні системи та технології перевезень*, no. 30, pp. 66–72, Sep. 2025, doi: 10.15802/tstt2025/340139.

[35] Р. В. ВЕРНИГОРА, А. М. ОКОРОКОВ, В. І. ТІТЯПОВ, and С. О. ЛАТАШ, "ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЛОГІСТИЧНИХ СХЕМ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗЕРНОВИХ ВАНТАЖІВ НА ЕКСПОРТ В УМОВАХ ВІЙСЬКОВОГО СТАНУ," *Транспортні системи та технології перевезень*, no. 28, pp. 4–15, Sep. 2024, doi: 10.15802/tstt2024/312032.

[36] Д. В. ЛОМОТЬКО, В. М. ІЛЬЧИШИН, Г. М. АФАНАСОВ, and О. Ф. АФАНАСОВА, "ВПЛИВ ЛОГІСТИЧНОЇ СКЛАДОВОЇ НА ЗБЕРІГАННЯ ТА ТРАНСПОРТУВАННЯ ЗЕРНА В УКРАЇНІ," *Транспортні системи та технології перевезень*, no. 29, pp. 52–58, Jul. 2025, doi: 10.15802/tstt2025/325407.

[37] М. І. БЕРЕЗОВИЙ, Я. В. БОЛЖЕЛАРСЬКИЙ, С. В. ГРЕВЦОВ, and С. В. БОРИЧЕВА, "АНАЛІЗ ЛОГІСТИЧНИХ РИЗИКІВ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВАНТАЖІВ ЗЕРНОВОЇ ГРУПИ В ЄВРОПЕЙСЬКІ ПОРТИ З ВИКОРИСТАННЯМ КОНТРЕЙЛЕРНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ," *Транспортні системи та технології перевезень*, no. 25, pp. 60–69, Aug. 2023, doi: 10.15802/tstt2023/284495.

[38] C. Wei, Y. Xiao, L. Li, G. Huang, J. Liu, and D. Xue, "After pandemic: Resilience of grain trade network from a port perspective on developed and developing countries," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 215, p. 108119, Apr. 2025, doi: 10.1016/j.resconrec.2024.108119.

[39] T. MYLNYCHUK, “Міжнародні ланцюги постачання зернових вантажів в умовах воєнного стану,” *Scientia fructuosa*, vol. 159, no. 1, pp. 90–101, Feb. 2025, doi: 10.31617/1.2025(159)06.

[40] Ю. Л. ХОМЕНКО, “АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ІСНУЮЧИХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНІЧНИХ ЛІНІЙ ТРАНСПОРТУВАННЯ ЗЕРНОВИХ З УКРАЇНИ,” *Транспортні системи та технології перевезень*, no. 30, pp. 79–87, Sep. 2025, doi: 10.15802/tstt2025/340140.

[41] “Головна | Державна служба статистики України.” Accessed: Jul. 28, 2025. [Online]. Available: https://stat.gov.ua/uk

[42] “Статистика та реєстри | Державна Митна Служба.” Accessed: Nov. 11, 2024. [Online]. Available: https://customs.gov.ua/statistika-ta-reiestri

[43] “Acute food insecurity and malnutrition rose for sixth consecutive year in world’s most fragile regions | World Food Programme.” Accessed: Jul. 28, 2025. [Online]. Available: https://www.wfp.org/news/acute-food-insecurity-and-malnutrition-rise-sixth-consecutive-year-worlds-most-fragile-regions?utm_source=chatgpt.com

[44] “The largest container ports worldwide - cargo throughput 2023 | Statista.” Accessed: Sep. 23, 2024. [Online]. Available: https://www.statista.com/statistics/264171/turnover-volume-of-the-largest-container-ports-worldwide/

[45] J. H. Skerritt, “Research Organizations of the World: Asia-Pacific, Central–South America, and Africa–Middle East,” *Encyclopedia of Food Grains: Second Edition*, vol. 1–4, pp. 444–450, Jan. 2016, doi: 10.1016/B978-0-12-394437-5.00057-7.

[46] “World Development Indicators | Data Catalog.” Accessed: Sep. 23, 2024. [Online]. Available: https://datacatalog.worldbank.org/search/dataset/0037712

[47] “World Food and Agriculture – Statistical Pocketbook 2023,” *World Food and Agriculture – Statistical Pocketbook 2023*, Nov. 2023, doi: 10.4060/CC8165EN.

[48] “The State of Food Security and Nutrition in the World 2022,” *The State of Food Security and Nutrition in the World 2022*, Jul. 2022, doi: 10.4060/CC0639EN.

[49] O. Zagurskiy, W. Duczmal, L. Savchenko, and M. Ohiienko, “Models of Formation of Reliability of Supply Chains for the Supply of Agricultural Products,” *Research on World Agricultural Economy*, vol. 5, no. 3, pp. 14–23, Aug. 2024, doi: 10.36956/RWAE.V5I3.1123.

[50] T. Thunig, N. Kühnel, and K. Nagel, “Adaptive traffic signal control for real-world scenarios in agent-based transport simulations,” *Transportation Research Procedia*, vol. 37, no. September 2018, pp. 481–488, 2019, doi: 10.1016/j.trpro.2018.12.215.

[51] Y. Shevah, “Challenges and Solutions to Water Problems in the Middle East,” *Chemistry and Water: The Science Behind Sustaining the World’s Most Crucial Resource*, pp. 207–258, Jan. 2017, doi: 10.1016/B978-0-12-809330-6.00006-4.