

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Удосконалення логістики доставки поштових відправлень на
«останній милі» в сільській місцевості Тернопільського району
(комплексна тема)

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи МНз-41
спеціальності 275.03 «Транспортні технології

(на автомобільному транспорті)

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Гарматюк Ю. О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Кушнірук М. А.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Аулін В.В.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Цьонь О. П.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Цьонь О. П.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

**Гарматюк Юліана Олегівна, Кушнірук Марта Анатоліївна –
Удосконалення логістики доставки поштових відправлень на «останній
милі» в сільській місцевості Тернопільського району (комплексна тема) –
Рукопис.**

Кваліфікаційні робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 275.03 – Транспортні технології (на автомобільному транспорті). – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, – Тернопіль, 2026.

Кваліфікаційна робота присвячена удосконаленню організації доставки поштових відправлень на «останній милі» в сільській місцевості на прикладі маршрутів Тернопільського району Тернопільської області. Об'єктом дослідження є транспортно-технологічний процес доставки поштових відправлень до сільських населених пунктів, а предметом – методи та моделі оптимізації маршрутів доставки з урахуванням просторових, транспортних та організаційних особливостей регіону.

Метою роботи є розроблення науково обґрунтованих заходів з удосконалення транспортного процесу «останньої милі» шляхом оптимізації маршрутів листонош, скорочення непродуктивного пробігу та зниження собівартості доставки, при збереженні або підвищенні якості обслуговування користувачів поштових послуг. Для досягнення поставленої мети вирішено такі основні завдання: проаналізовано просторову структуру Тернопільського району та мережі поштових відділень; виявлено вузькі місця існуючої системи доставки; сформульовано математичну модель задачі маршрутизації транспортних засобів (VRP) для типового сільського маршруту; розроблено та реалізовано алгоритм оптимізації на базі методу заощаджень Кларка – Райта;

виконано економічне обґрунтування запропонованих заходів та проведено аналіз чутливості результатів до зміни зовнішніх факторів; опрацьовано комплекс питань охорони праці та безпеки життєдіяльності при впровадженні оптимізованих маршрутів.

У роботі використано методи просторово-логістичного аналізу, математичного моделювання задач маршрутизації, евристичні алгоритми (метод заощаджень Кларка – Райта), методи економічної оцінки ефективності транспортних рішень, а також методологію аналізу ризиків в системах охорони праці. Інформаційною базою дослідження є офіційні статистичні дані, відкриті джерела щодо розвитку поштової логістики, нормативні документи АТ «Укрпошта», наукові публікації в українських та закордонних журналах з транспортних технологій і логістики.

Практичне значення роботи полягає у можливості впровадження запропонованого підходу на рівні районних підрозділів поштового оператора для скорочення пробігу, часу в дорозі, витрат пального та умовної собівартості доставки одного відправлення, а також у використанні розроблених рекомендацій з охорони праці при організації маршрутів доставки.

Основні результати роботи: побудовано чотирирівневу функціонально-технологічну модель поштового оператора; досліджено просторову структуру та транспортну інфраструктуру Тернопільського району; розроблено та реалізовано модель оптимізації обраного маршруту, що забезпечила скорочення довжини маршруту приблизно на 20 %; обчислено економічний ефект від оптимізації та показано його масштабування на мережу маршрутів; запропоновано комплекс організаційних, ергономічних та технічних заходів з охорони праці для листонош і водіїв.

ЛОГІСТИКА, ОСТАННЯ МИЛЯ, ПОШТОВА ДОСТАВКА

ЗМІСТ

ВСТУП	11
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ОРГАНІЗАЦІЇ ЛОГІСТИКИ «ОСТАННЬОЇ МИЛІ» ПОШТОВИХ ВІДПРАВЛЕНЬ В УМОВАХ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ	14
1.1. Поняття та класифікація логістики «останньої милі» у поштово- кур'єрській галузі.....	14
1.2. Глобальні тенденції та стан поштового ринку України в умовах зростання електронної торгівлі.....	18
1.3. Нормативно-правове регулювання поштово-кур'єрської діяльності та організації доставки в Україні	21
1.4. Функціонально-технологічна модель поштового оператора: етапи, процеси та вузькі місця логістичного ланцюга.....	25
1.4.1. Характеристика рівнів функціонально-технологічної моделі.....	26
1.4.2. Технологічний процес роботи листоноші та хронометраж операцій.	29
1.4.3. Вузькі місця та системні чинники неефективності доставки в сільській місцевості	32
1.5. Науково-методичні підходи до оптимізації маршрутів доставки: Vehicle Routing Problem та її варіації.....	35
1.6. Зарубіжний досвід оптимізації «останньої милі» поштових операторів: Deutsche Post, Posti Oyj та La Poste	39
1.7. Характеристика Тернопільського регіону як об'єкта дослідження: демографія, транспортна мережа та поштова інфраструктура	41
1.8. Аналіз поштової мережі Тернопільського району	44
1.9. Характеристика транспортної інфраструктури Тернопільського району	46

1.10. Аналіз організації доставки поштових відправлень на «останній милі»	49
1.11. Методика оцінювання ефективності доставки та напрями оптимізації маршрутів	52
1.12. Проектні заходи з удосконалення доставки на «останній милі» у Тернопільському районі	58
1.13. Огляд наукових праць з проблематики транспортної логістики та оптимізації маршрутів	62
1.14. Висновки до розділу 1	66
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ ЩОДО ОПТИМІЗАЦІЇ МАРШРУТУ ДОСТАВКИ У ТЕРНОПІЛЬСЬКОМУ РАЙОНІ	69
2.1. Постановка задачі оптимізації маршруту доставки	69
2.2. Математична постановка задачі VRP для маршруту Тернопільського району	70
2.3. Опис та модифікація методу заощаджень Кларка – Райта	71
2.4. Вихідні дані для маршруту Тернопільського району	72
2.5. Покроковий розрахунок оптимізованого маршруту	73
2.6. Оцінювання економічного ефекту від оптимізації маршруту	74
2.7. Методичні підходи до економічної оцінки результатів оптимізації	75
2.8. Розрахунок економічного ефекту для базового маршруту	76
2.9. Масштабування ефекту на мережу маршрутів Тернопільського району	77
2.10. План впровадження оптимізованого маршруту у виробничу практику	78
2.11. Аналіз чутливості до зміни ціни пального	80
2.12. Аналіз чутливості до зміни обсягу навантаження на маршрут	81
2.13. Висновки до розділу 2	81

РОЗДІЛ 3. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ .	84
3.1. Загальні вимоги охорони праці в поштової галузі	84
3.2. Ідентифікація небезпек та ризиків для листоноші на сільському маршруті.....	85
3.3. Організаційні заходи з охорони праці при впровадженні оптимізованих маршрутів.....	86
3.4. Ергономічні аспекти та профілактика професійних захворювань.....	87
3.5. Забезпечення дорожньої безпеки при виконанні маршрутів доставки .	88
3.6. Пожежна безпека, цивільний захист та дії в разі надзвичайних ситуацій	89
3.7. Екологічна безпека та енергоефективність у системі доставки.....	90
3.8. Висновки до розділу 3	95
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	97
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	100
ДОДАТКИ.....	106
Додаток А.1 – Характеристика пунктів маршруту.....	107
Додаток А.2 – Відстані від депо до пунктів маршруту.....	108
Додаток Б – Розрахунок заощаджень за методом Кларка – Райта.....	110
Додаток В – Деталізований розрахунок показників ефективності доставки	113
Додаток Г – Схеми маршрутів до та після оптимізації.....	116
Додаток Д – Фрагмент програмної реалізації алгоритму оптимізації маршруту.....	118
Додаток Е – Матеріали з охорони праці та безпеки під час доставки на «останній милі»	120

ВСТУП

Розвиток електронної комерції, зростання частки дистанційних продажів і цифровізація послуг призвели до суттєвого збільшення обсягів поштових та кур'єрських відправлень, особливо на рівні «останньої милі». Водночас сільські території залишаються найбільш вразливою ланкою логістичних ланцюгів, оскільки характеризуються низькою щільністю населення, значними міжпунктовими відстанями та обмеженими ресурсами транспортної інфраструктури. У таких умовах забезпечення доступності та економічної ефективності поштових послуг вимагає запровадження сучасних підходів до організації транспортних процесів.

Тернопільський район Тернопільської області є показовим прикладом змішаного місько-сільського простору, у якому поєднуються густонаселене міське ядро та розгалужена мережа сільських населених пунктів. Реформа адміністративно-територіального устрою, трансформація мережі поштових відділень і впровадження пересувних відділень змінили умови роботи листонош і водіїв, але не усунули повністю проблеми надмірної довжини маршрутів, непродуктивного пробігу та високої собівартості доставки в сільській місцевості. Це актуалізує необхідність наукового обґрунтування рішень щодо оптимізації маршрутів доставки на рівні району.

Актуальність теми роботи зумовлена потребою підвищення ефективності роботи поштових операторів в умовах конкуренції, обмежених ресурсів та зовнішніх викликів. З одного боку, «остання миля» є найдорожчим і найскладнішим етапом логістичного ланцюга, з іншого – саме вона визначає доступність послуг для населення та рівень задоволеності клієнтів. Для сільських територій це питання має також соціальний вимір, оскільки доставка пенсій, соціальних виплат, медикаментів і критично важливих товарів часто здійснюється саме через поштову мережу.

Ступінь опрацьованості проблеми в науковій літературі свідчить про значний інтерес до задач маршрутизації транспортних засобів (Vehicle Routing Problem, VRP) та оптимізації «останньої милі» у міських умовах. Водночас питання адаптації цих моделей до сільської місцевості, з її специфічними обмеженнями та низькою щільністю попиту, залишаються менш дослідженими. Окремі дослідження міжнародних та українських авторів демонструють потенціал використання евристичних методів для побудови наближених оптимальних маршрутів, однак їх застосування в контексті конкретних районів України потребує подальшого розвитку.

Об'єктом дослідження у даній роботі є транспортно-логістична система доставки поштових відправлень у Тернопільському районі. Предметом дослідження є методи та моделі оптимізації маршрутів доставки на «останній милі» для сільських населених пунктів, а також організаційно-економічні та безпекові аспекти впровадження таких рішень.

Метою роботи є розроблення та обґрунтування комплексу заходів із удосконалення транспортного процесу доставки поштових відправлень на «останній милі» в Тернопільському районі на основі математичної моделі задачі маршрутизації та економічного аналізу ефективності.

Для досягнення поставленої мети у роботі вирішуються такі основні завдання:

- виконати аналіз просторових, демографічних і транспортних характеристик Тернопільського району, а також наявної мережі поштових відділень і маршрутів доставки;

- ідентифікувати основні проблеми та вузькі місця в організації доставки на «останній милі» в сільській місцевості;

- сформулювати математичну постановку задачі маршрутизації для типового сільського маршруту та обрати відповідний метод розв'язання;

– розробити та реалізувати евристичний алгоритм оптимізації маршруту на основі методу заощаджень Кларка – Райта;

– оцінити економічний ефект від впровадження оптимізованого маршруту та дослідити чутливість результатів до зміни ціни пального й обсягу навантаження;

– обґрунтувати комплекс заходів з охорони праці, безпеки життєдіяльності та екологічної безпеки при впровадженні оптимізованих маршрутів.

Структура роботи відповідає поставленій меті та завданням і складається з реферату, вступу, трьох розділів, загальних висновків, переліку використаних джерел та додатків. У першому розділі проведено аналіз об’єкта дослідження – Тернопільського району та мережі поштових відділень. У другому розділі розроблено заходи з удосконалення транспортного процесу, зокрема побудовано математичну модель маршруту та виконано проєктні розрахунки й економічне обґрунтування. Третій розділ присвячено питанням охорони праці та безпеки життєдіяльності при організації доставки на «останній милі».

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ОРГАНІЗАЦІЇ ЛОГІСТИКИ «ОСТАННЬОЇ МИЛІ» ПОШТОВИХ ВІДПРАВЛЕНЬ В УМОВАХ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ

Перший розділ присвячено розгляду теоретичних і практичних основ логістики доставки поштових відправлень на «останній милі». Проаналізовано глобальні тенденції розвитку поштового ринку, нормативно-правову базу, функціонально-технологічну модель поштового оператора та сучасні науково-методичні підходи до оптимізації маршрутів доставки. Виявлено системні чинники неефективності й обґрунтовано напрями вдосконалення.

1.1. Поняття та класифікація логістики «останньої милі» у поштово-кур'єрській галузі

Термін «остання миля» (last-mile delivery, LMD) у логістиці означає фінальний етап ланцюга постачання – переміщення вантажу від вузлового розподільного центру або відділення зв'язку безпосередньо до кінцевого одержувача. Попри відносно невелику фізичну довжину цього відрізка (зазвичай 1–50 км), він є найвитратнішою складовою всього логістичного ланцюга. За даними SmartRoutes (2026), частка «останньої милі» у загальних витратах на доставку зросла з 41 % у 2018 р. до 53 % у 2024 р. Всесвітній економічний форум (WEF, 2024) підтверджує ідентичну динаміку, зазначаючи, що «остання миля» відповідає за 53 % витрат на доставку у 2023 р. порівняно з 41 % у 2018 р., а недостатня швидкість доставки зумовлює 23 % відмов від замовлень, іще 48 % спричинені вартістю доставки.

Наукове осмислення проблематики «останньої милі» у логістиці сягає 1960-х рр., коли Clarke & Wright (1964) опублікували в Operations Research

алгоритм побудови оптимальних маршрутів розвезення з єдиного депо до N пунктів доставки – так звану задачу Vehicle Routing Problem (VRP). Метод заощаджень (savings method), запропонований цими авторами, став одним з найцитованіших і найзастосовуваніших у прикладній логістиці. Rand (2009) у детальному огляді «The life and times of the Savings Method» (ORiON) простежує 45-річну еволюцію методу, демонструючи його застосування у комерційних маршрутизаційних системах по всьому світу. Систематичний огляд Cardiff University (Orca, 2025), що охоплює 138 рецензованих статей за 2015–2025 рр., підтверджує: оптимізація завантаження/розвантаження, сортування, маршрутизації та планування одночасно покращує ефективність і екологічність.

Blagojević et al. (2023) у статті, опублікованій у журналі *Promet – Traffic & Transportation* (Scopus, DOI: 10.7307/ptt.v35i5.292), ідентифікують чотири гнучких моделі організації «останньої милі» (Flexible Last-Mile Delivery Models, FLMDM): щоденна доставка (модель А), альтернована доставка через день (В), кластерна доставка по зонах (С) і мобільні точки видачі (D). За результатами PROMETHEE/ARAS-аналізу найбільш ефективною є модель АВ – чергування щоденної та альтернованої доставки. Реалізація будь-якої FLMDM можлива лише у межах зобов'язань провайдера загальнодоступних поштових послуг (Universal Postal Service, UPS) відповідно до Директиви ЄС 97/67/ЄС.

Дослідження Nicre Innovation Concept Review (2023) та Gruber et al. (2024) з *Transportation Research Record* встановлюють, що для сільської місцевості електровантажні велосипеди і трицикли є конкурентоспроможною альтернативою автомобілю за умови консолідації відправлень на мікрохабах та їх впровадження на маршрутах тривалістю до 60 хвилин. Ці ж джерела підтверджують, що перехід з велосипеда на e-trike дозволяє збільшити вантажопідйомність з 5–20 кг до 350 кг та підвищити середню швидкість маршруту з 13,5 до 37,5 км/год – ключові параметри тендерної закупівлі Укрпошти.

Таблиця 1.1 – Класифікація логістики «останньої милі» у поштово-кур'єрській галузі

Критерій	Вид / Модель	Ключова характеристика
Тип одержувача	B2C (фізичні особи)	Переважає більшість у поштовому секторі
	B2B (юридичні особи)	Корпоративні клієнти, концентровані відвантаження
Модель доставки	Home delivery	Доставка за домашньою адресою, найвища собівартість
	ADP / parcel locker	Поштомати, пункти самовивозу, партнерська мережа
	Мобільна точка (ТРО)	Пересувне відділення за графіком
	FLMDM – модель А	Щоденна доставка всіх адресатів
	FLMDM – модель АВ*	Чергування щоденної та альтернованої (оптимум)
	FLMDM – модель С	Кластерна доставка по зонах
Транспортний засіб	Автомобіль	Вантажопідйомність >350 кг, радіус >50 км
	Електроскутер (e-scooter)	20–80 кг, ≥45 км/год, переважно міста

	Електротрицикл (e-trike)	≤350 кг, ≥40 км/год, ≥50 км, сільська місц.
	Ел. велосипед (e-bike)	10–40 кг, до 25 км/год, міста / приміські зони
Географія	Міська	Висока щільність, короткі відстані, затори
	Приміська	Середня щільність, мікрорайони
	Сільська	Низька щільність, великі відстані, 1 будинок=1 зупинка

Примітки. * – рекомендована PROMETHEE/ARAS-аналізом (Blagojević et al., 2023).

Складено авторами за: Blagojević et al. (2023); SmartRoutes (2026); Nicre ICR (2023).

Для цілей цієї кваліфікаційної роботи об'єктом дослідження визначено сільську та приміську доставку поштових відправлень і пенсійних виплат листоношами Укрпошти в Тернопільському районі – тобто сегмент з найнижчою ефективністю, найвищою питомою собівартістю та найгострішим дефіцитом кадрів. Саме для цього сегменту впровадження електротрициклів та оптимізація маршрутів мають найбільший потенціал економічного ефекту.

1.2. Глобальні тенденції та стан поштового ринку України в умовах зростання електронної торгівлі

Упродовж 2020-х рр. глобальний поштовий ринок зазнав структурного зсуву: обсяги традиційних листових відправлень скорочуються через цифрову субституцію, натомість ринок посилок стрімко зростає завдяки e-commerce. За даними International Post Corporation (IPC, 2025), глобальні обсяги посилок після спаду на 3,7 % у 2022 р. відновились: +5,7 % у 2023 р. та +4,4 % у 2024 р. Виручка сектора посилок і експрес-доставки зросла в середньому на 3,8 % у 2024 р. проти 2,3 % у 2023 р. Прогнозний обсяг глобального ринку «останньої милі»: 160–180 млрд дол. США у 2024 р. з перспективою зростання до 260–480 млрд дол. до 2030–2034 рр. (SmartRoutes, 2026).

Всесвітній поштовий союз (UPU, 2024) у доповіді «State of the Postal Sector 2024», опублікованій до 150-річчя організації, констатує: внутрішній трафік посилок досяг рекордно високих значень за всю 150-річну історію – насамперед завдяки e-commerce, що розпочав експоненційне зростання з 2000 р. При цьому традиційний міжнародний B2C-трафік скоротився майже на 60 % від піку 2019 р. через переорієнтацію на непоштові моделі B2B2C (пряма доставка, форвардна дислокація товарних запасів). Польський регулятор UKE (2025) зафіксував зростання свого ринку поштових послуг у 2024 р. на 13,0 % до 18,69 млрд злотих, а кількість поштоMATів у Польщі зросла на 35,1 %, що слугує корисним орієнтиром для порівняльного аналізу.

В Україні ринок поштово-кур'єрських послуг демонструє парадоксальну стійкість в умовах повномасштабного вторгнення. Онлайн-роздрібна торгівля у 2024 р. сягнула 239 млрд грн (\approx 6–6,5 млрд дол. США), що приблизно на третину перевищує рівень 2023 р. (ts2.tech, 2025). Водночас обсяг вхідних транскордонних посилок зріс до 73,5 млн одиниць вартістю 120,5 млрд грн у 2024 р. проти 52 млн (62 млрд грн) у 2023 р. та 31 млн (32 млрд грн) у 2022 р.

(ts2.tech, 2025). Лідер ринку Nova Poshta у 2024 р. встановила рекорд: 480 млн відправлень (+16 % до 412 млн у 2023 р.), у тому числі 19 млн міжнародних посилок (+86 %) (Nova Poshta, 2025). Мережа Nova Poshta налічує більш ніж 37 000 точок обслуговування, у тому числі понад 20 000 поштомотів (Interfax, 2025a).

АТ «Укрпошта» – національний поштовий оператор – демонструє відновлювальне зростання. Дохід у 2024 р. склав 12 978,0 млн грн (+12,1 % до 11 581 млн грн у 2023 р.) (АТ «Укрпошта», Management Report 2024). Дохід від листового напрямку – 1 690,9 млн грн (+10,1 %), від дрібних пакетів – зростання на 25,5 %, від міжнародного поштового обміну – +45 % (1 333,9 млн грн), від EMS – +26,6 % (331,7 млн грн). Внутрішні обсяги посилок у 2024 р. незначно скоротились на 3,3 % через загальне зниження ділової активності – прийнятний показник з огляду на воєнний стан. У IV кварталі 2025 р. Укрпошта отримала чистий прибуток 257,9 млн грн (+69,2 % р/р), виручку 3 601,6 млн грн, оброблено 11,8 млн посилок і 20,5 млн листів (Interfax, 2026).

Таблиця 1.2 – Ключові фінансово-операційні показники АТ «Укрпошта» та Nova Poshta (2020–2024 рр.)

Показник	2020	2021	2022	2023	2024	Джерело
Загальний дохід, млн грн	7 010	8 330	9 860	11 581	12 978	MR 2024
Темп росту доходу, %	–	+18,8	+18,4	+17,5	+12,1	MR 2024
Обсяг внутр. посилок, млн од.	37,4	44,2	37,3	50,0	≈48,4	FS 2022; MR 2023; MR 2024
Дохід від	–	–	–	921,0	1 333,9	MR 2024

міжнар. обміну, млн грн						
Мережа відділень, тис. од.	21,2	21,2	–	–	–*	AR 2020
Персонал, тис. осіб	62,4	62,2	42,1	35,5	31,7	OpenDataBot (2026)
Дохід від виплат пенсій, млн грн	–	–	–	–	2 185**	MR 2024
Nova Poshta: обсяг посилок, млн	–	–	–	412	480	NP (2025)
Темп росту NP, %	–	–	–	–	+16	NP (2025)

Примітки. * – тенденція до скорочення, точні дані 2023–2024 не оприлюднені;

** – оцінка автора за структурою доходів.

Джерела: АТ «Укрпошта» (2020; 2022; 2023; 2024a; 2024b); OpenDataBot (2026); Nova Poshta (2025); Interfax (2025a; 2026).

Скорочення персоналу Укрпошти з 62 373 осіб у 2020 р. до 31 739 у квітні 2026 р. (–49 % за 4 роки) є одним з найгостріших викликів для організації «останньої милі» у сільській місцевості (OpenDataBot, 2026). Кожен листоноша, якого скорочують, залишає свій маршрут невиконаним або перерозподіляє навантаження на колег, збільшуючи тривалість їхніх маршрутів. Водночас попит на доставку зростає: Тернопільщина, як і вся Україна, фіксує зростання е-

commerce на 33 % у 2024 р. Цей дисбаланс між скороченням ресурсів і зростанням потреб формує ключове науково-прикладне завдання роботи.

Для наочного відображення динаміки доходів Укрпошти і обсягів ринку е-торгівлі в Україні за 2020–2024 рр. побудовано рис. 1.1. Він демонструє різноспрямовані тенденції: різкий провал обсягів посилок у 2022 р. (-15,7 % від 44,2 до 37,3 млн) на фоні зростання доходів, що пояснюється суттєвим підвищенням тарифів у воєнних умовах, і відновлення у 2023 р. до рекордних 50,0 млн посилок. Це відображає загальноєвропейську тенденцію відновлення після постковідного спаду (ІРС, 2025).

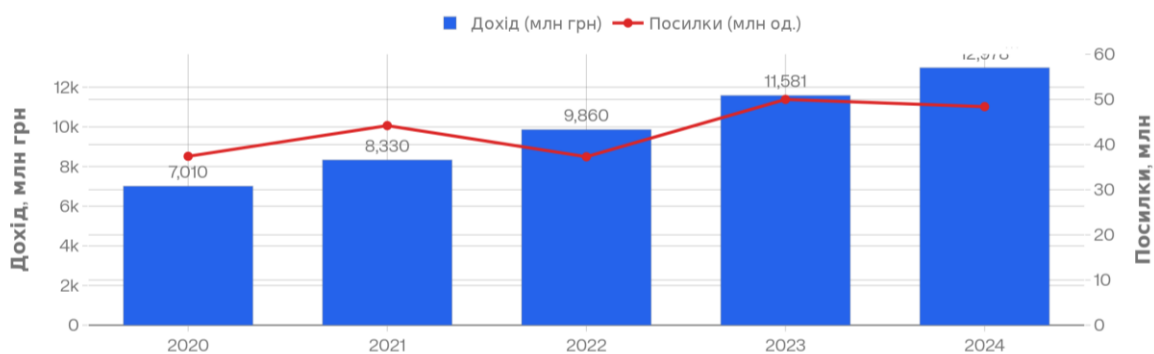


Рисунок 1.1 – Динаміка доходів АТ «Укрпошта» та обсягів внутрішніх посилок (2020–2024 рр.)

1.3. Нормативно-правове регулювання поштово-кур'єрської діяльності та організації доставки в Україні

Поштово-кур'єрська діяльність в Україні здійснюється в межах комплексної нормативно-правової системи, що поєднує законодавчі акти, підзаконні нормативи і міжнародні зобов'язання. Законодавчу основу формують: Закон України «Про поштовий зв'язок» (№ 2759-III від 2001 р., зі

змінами), Закон України «Про автомобільний транспорт» (№ 2344-III від 2001 р.), Закон України «Про дорожній рух» (№ 3353-XII від 1993 р.) та відповідні постанови Кабінету Міністрів. Державне регулювання у сфері поштового зв'язку здійснює Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сфері зв'язку та інформатизації (НКРЗІ). Укрпошта функціонує як акціонерне товариство зі 100-відсотковою державною власністю.

Закон «Про поштовий зв'язок» визначає поняття «загальнодоступних поштових послуг» (universal postal service, UPS), перелік яких охоплює прийом, обробку, перевезення та вручення: листів (до 2 кг), поштових карток, дрібних пакетів (до 2 кг), посилок (до 20 кг) та поштових переказів грошових коштів. Укрпошта як єдиний провайдер UPS зобов'язана забезпечувати доставку не менше п'яти робочих днів на тиждень до 100 % населених пунктів України. Ця нормативна вимога є ключовим обмеженням при оптимізації маршрутів листоноші: маршрут не може бути скасований навіть за умов збитковості, якщо альтернативний спосіб забезпечення UPS не передбачений. Аналогічні принципи закріплені Директивою ЄС 97/67/ЄС, яку Blagojević et al. (2023) використовують як регуляторну рамку своїх гнучких FLMDM.

Правила надання послуг поштового зв'язку (Постанова КМУ № 270 від 05.03.2009 р. зі змінами) встановлюють порядок оформлення поштових відправлень, строки їх зберігання та видачі, відповідальність за втрату/пошкодження. Для посилок масою понад 20 кг застосовується особливий порядок; для грошових переказів – ліцензія НБУ на здійснення фінансових послуг. Тарифи на загальнодоступні послуги встановлюються НКРЗІ, що суттєво обмежує цінову гнучкість Укрпошти порівняно з Nova Poshta, яка функціонує у конкурентному ринковому сегменті. Ці регуляторні вимоги безпосередньо впливають на документообіг листоноші – операцію, що займає 15 хвилин підготовки та 13 хвилин здачі щодня (таблиця 1.5 підрозділу 1.4).

Організація перевезень поштових відправлень автомобільним транспортом підпорядкована Правилам перевезень вантажів автомобільним транспортом в Україні (Наказ Мінтрансу № 363 від 14.10.1997 р., набрав чинності 1998 р.), вимогам до технічного стану транспортних засобів (ДСТУ 3649:2010), а також нормативам витрат палива (Наказ Мінінфраструктури № 43 від 10.02.1998 р.). Ці норми формують розрахункову базу для визначення собівартості доставки, планової потреби у транспортних засобах та кількості рейсів. При використанні електричних транспортних засобів (e-trike, e-bike) додатково застосовуються технічні умови тендерної документації ЄБРР (Project ID 51975, 2024): запас ходу ≥ 50 км на одному заряді, максимальна швидкість ≥ 40 км/год, потужність двигуна ≥ 60 В / 2 000 Вт, вантажопідйомність ≥ 350 кг, гарантійний термін ≥ 36 місяців або 20 000 км.

Таблиця 1.3 – Нормативно-правова база організації доставки поштових відправлень

Нормативний акт	Рік / № документа	Ключова норма для «останньої милі»
Закон України «Про поштовий зв'язок»	№ 2759-III, 2001 (зі змін.)	UPS: 5 дн./тиж. на 100 % нас. пунктів; перелік послуг
Правила надання послуг поштового зв'язку	КМУ № 270, 2009 (зі змін.)	Строки доставки, порядок вручення, відповідальність
Закон «Про автомобільний транспорт»	№ 2344-III, 2001	Ліцензування перевізників, вимоги до водіїв і ТЗ
Правила перевезень вантажів авт. транспортом	Наказ Мінтрансу № 363, 1997/1998	Документооборот, навантаження/розвантаження

Норми витрат палива і мастил	Наказ Мінінфр. № 43, 1998	Базові норми л/100 км; коефіцієнти сезонності
ДСТУ 3649:2010	2010 р.	Вимоги до технічного стану колісних ТЗ
Директива ЄС 97/67/ЄС	1997/2008 (орієнтир)	Принципи UPS, регулювання тарифів, лібералізація
Технічні вимоги ЄБРР (Project 51975)	2024 р.	e-trike: ≥ 50 км, ≥ 40 км/год, ≥ 350 кг, ≥ 60 В/2 кВт
Закон «Про дорожній рух»	№ 3353-ХІІ, 1993 (зі змін.)	ПДР для ТЗ, велосипедів та мопедів

Примітка. Складено авторами за матеріалами офіційних законодавчих і нормативних джерел України та ЄБРР.

Міжнародно-правовий вимір регулювання представлений Актами Всесвітнього поштового союзу (UPU), членом якого є Україна. Варшавський конгрес UPU (2024) закріпив курс на цифрову трансформацію, розвиток e-commerce і декарбонізацію. Попри воєнний стан, Укрпошта забезпечила своєчасність доставки понад 90 % відправлень у 2024 р. – один з найкращих показників серед операторів порівнянного масштабу (UPU, 2025). Цей результат став можливим, зокрема, завдяки завершенню у лютому 2025 р. автоматизації 100 % сортувальних потужностей з загальним інвестуванням 1 млрд грн власних коштів у 2024 р. (Interfax, 2025b). Загальна потужність роботизованих ліній сягнула 2 млн відправлень на добу при швидкості 5 посилок на секунду, що дало змогу скоротити терміни доставки між великими містами до одного дня.

Значущим компонентом нормативної бази є Угода про асоціацію Україна–ЄС у частині адаптації законодавства про поштовий зв'язок. Директива 2008/6/ЄС передбачає поетапну лібералізацію поштового ринку з відкриттям

його для конкурентів при збереженні зобов'язань UPS за визначеним переліком послуг. Це принципово для стратегічного позиціонування Укрпошти на конкурентному ринку: інвестиції в ефективність «останньої милі» не лише знижують операційні витрати, а й підвищують конкурентоспроможність національного оператора в умовах лібералізованого ринку.

1.4. Функціонально-технологічна модель поштового оператора: етапи, процеси та вузькі місця логістичного ланцюга

Сучасний поштовий оператор функціонує як складна мультирівнева логістична система, кожен елемент якої генерує витрати й визначає якість кінцевого сервісу. Kuula (2023) у магістерській роботі (Aalto University, Posti Oyj, Case Finland) визначає шість стадій поштового ланцюга: збір відправлень (collection), прийом у сортувальному центрі (reception), попереднє сортування (clearance/pre-sorting), основне сортування (sorting), підготовчий передпоставочний процес (pre-delivery) та доставка (delivery). Ключовими вузькими місцями визнано сортування та передпоставочний процес – саме ті стадії, де автоматизація дала найбільший ефект. Для Укрпошти реалізація цього інсайту відбулась у 2021–2025 рр. у рамках проєкту ЄБРР/ЄІБ (€100 млн).

Систематичний огляд Cardiff University (Orca et al., 2025, DOI: 10.1016/j.trip.2025.011177), що охоплює 138 рецензованих статей за 2015–2025 рр., виокремлює шість ключових критеріїв створення цінності в ланцюзі доставки посилок: (1) економія від масштабу, (2) навчальна економія, (3) інноваційні спроможності, (4) управлінські компетенції, (5) соціальні та (6) екологічні аспекти. Оптимізація маршрутів листоноші реалізує критерій 1 (економія від масштабу) і критерій 5 (соціальний – підтримання доступу сільського населення до UPS). Дослідження підтверджує, що впровадження

систем відстеження й оптимізації на «останній милі» знижує кількість невдалих спроб доставки на 20–30 %, що безпосередньо впливає на собівартість (вартість однієї невдалої спроби \approx \$18 за SmartRoutes, 2026).

Функціонально-технологічну модель поштового оператора відображено у вигляді чотирирівневого ланцюга. Рівень 1 – збір та прийом відправлень; рівень 2 – транспортування та автоматизоване сортування; рівень 3 – розподіл до кінцевих відділень (depot-to-delivery-point); рівень 4 – «остання миля» (доставка листоношею, ТРО або видача у відділенні). Схему ланцюга подано на рис. 1.2, де суцільними стрілками позначено фізичний потік відправлень, пунктирними – інформаційний потік (статуси, трекінг, GPS).

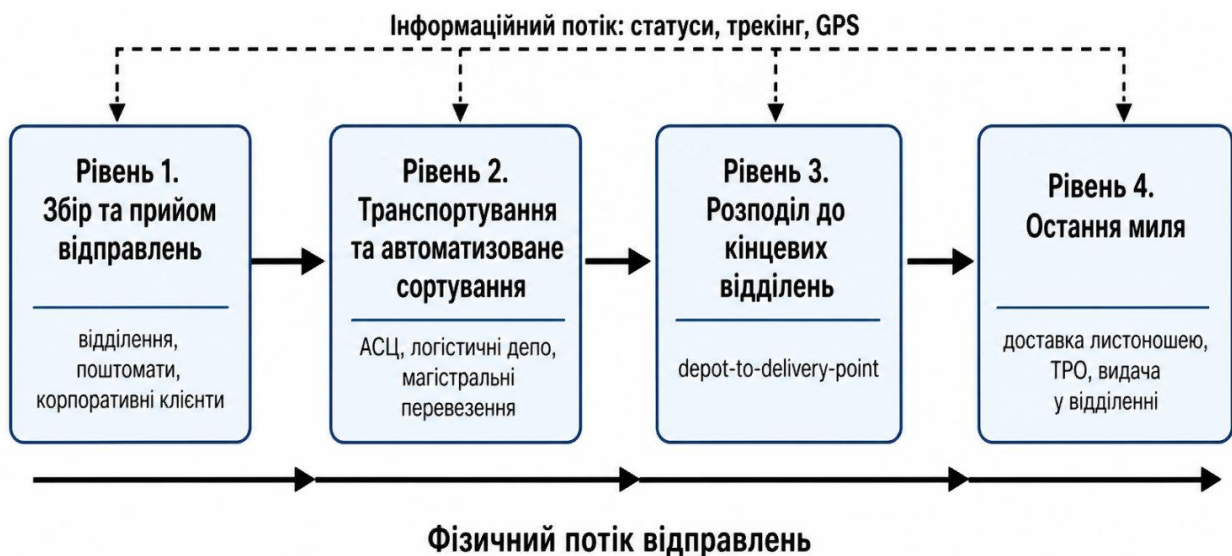


Рисунок 1.2 – Чотирирівнева функціонально-технологічна модель поштового оператора

1.4.1. Характеристика рівнів функціонально-технологічної моделі

Рівень 1 – збір та прийом відправлень – здійснюється через мережу відділень, поштоматів і корпоративних клієнтів. У 2020 р. Укрпошта мала 21

211 поштових об'єктів, з яких 702 у містах, 1 989 у смт і 8 920 у селах (Укрпошта, Annual Report 2020). Поширення пересувних поштових відділень (ТРО): починаючи з 2018 р., Укрпошта розгорнула 500 автомобілів FIAT Doblo Махі у 7 регіонах, що охоплюють 5 100+ сільських населених пунктів і близько 2 млн мешканців (Укрпошта, 2020). У 2025 р. через ЄБРР оголошено тендер на закупівлю 31 модульного поштового відділення (Ukrposhta, 2025a). Для Тернопільського регіону мережа відділень є критичною точкою консолідації відправлень перед виходом листоноші на маршрут.

Рівень 2 – транспортування та автоматизоване сортування – після реалізації проєкту ЄБРР/ЄІБ (€100 млн) вийшов на якісно новий рівень. Будівництво 7 автоматизованих сортувальних центрів (Бориспіль, Львів, Одеса, Дніпро, Харків, Хмельницький, Запоріжжя) та 62 логістичних депо (зокрема, Тернопіль та Чернівці) повністю завершено до лютого 2025 р. (Interfax, 2025b; CFTS, 2025). Флагманський центр «Київ–Бориспіль» вартістю \$46 млн займає 9,2 га та здатний обробляти 40 000 посилок і 45 000 листівок на годину (Ukrposhta, 2021; mehbud.com.ua, 2025). Загальна добова потужність мережі після 2025 р. – до 2 млн відправлень, що у 8 разів більше, ніж при ручному сортуванні (Interfax, 2025b). Нове програмно-апаратне забезпечення українського виробника UIS підключене до всіх центрів.

Рівень 3 – розподіл до відділень – забезпечується лінійними маршрутами автомобілів від логістичних депо до сільських відділень. Для Тернопільського регіону сортування здійснює тернопільське депо, звідки маршрутами розвезення відправлення надходять до понад 100 сільських і приміських відділень. Ця ланка є предметом оптимізації методом Кларка-Райта у другому розділі роботи: скорочення пробігу на маршрутах рівня 3 дає прямий економічний ефект у вигляді зниження витрат на паливо й амортизацію. За даними SmartRoutes (2026), витрати на паливо складають 10–25 % від загальних витрат «останньої милі», а витрати на обслуговування ТЗ – близько 20 %.

Рівень 4 – «остання миля» – є найменш автоматизованим і найбільш трудомістким. За даними Єврокомісії (ЕС, 2018), витрати праці становлять понад 50 % від всіх витрат на доставку; глобально, за SmartRoutes (2026), питома вартість доставки у сільській місцевості сягає \$50 за відправлення (проти \$10 у містах) через низьку щільність адресатів і значні міжпунктові відстані. Для Укрпошти з регульованими тарифами це означає хронічні збитки на сільських маршрутах – системну проблему, що й визначає актуальність дослідження.

Таблиця 1.4 – Характеристика рівнів функціонально-технологічної моделі АТ «Укрпошта»

Рівень	Назва	Ключові процеси	Стан після реформи 2021–2025 рр.	Вузьке місце
1	Збір і прийом	Прийом відправлень, зважування, оформлення	500 ТРО, 31 нов. модульне відділення (2025)	Сільські відділення <200 жителів
2	Сортування та трансп.	Автоматичне сортування, розподіл за потоками	7 АСЦ, 62 депо, 2 млн відпр./добу, 8× швидкість	Ризики воєнних атак на інфраструктуру
3	Розподіл до відділень	Маршрути вантажівок/мікроавтобусів депо→відділення	ЄБРР: 60 п/причепів, 100 вантажівок (тендер 2024)	Неоптимальність маршрутів рівня 3
4	«Остання	Доставка	Тендер: 1 745 e-trike	Дефіцит кадрів

	миля»	листоношею: листи, посилки, пенсії, ліки	+ 880 e-bike (ЄБРР, 2024)	-49 %; висока питома собівартість
--	-------	--	------------------------------	---

Примітка. Складено автором за: Укрпошта (2020; 2021; 2024b); Interfax (2025b); EBRD (2024); SmartRoutes (2026).

1.4.2. Технологічний процес роботи листоноші та хронометраж операцій

Технологічний процес роботи листоноші являє собою повторюваний щоденний цикл операцій, що охоплює підготовчий, основний і завершальний етапи. На підставі функціонально-технологічних карт поштових операторів Скандинавії (Linköping University, 2003), досліджень Posti Oyj (Kuula, 2023) та вимог АТ «Укрпошта» (2024а) авторами систематизовано типовий перелік операцій і їх нормативну тривалість. Для порівняння наведено показники базового варіанта (велосипед) і пропонованого (електротрицикл, технічні вимоги ЄБРР: ≥ 40 км/год, ≥ 50 км пробігу).

Таблиця 1.5 – Хронометраж операцій робочого дня листоноші: велосипед vs електротрицикл

№	Операція	Велосипед, хв	Е- трицикл, хв	Примітка
1	Отримання відправлень від керівника відділення	15	15	Однакова тривалість
2	Сортування відправлень за адресами маршруту	30	25	-5 хв: зручніше систематизувати в

				одному контейнері
3	Підготовка документів і відомостей виплат	15	15	Нормативна вимога, без змін
4	Завантаження ТЗ (укладання у сумку/корзину)	7	7	E-trike: корзина 350 кг, зручніше
5	Переїзд до першого пункту доставки	20	8	Базовий: 13,5 км/год; e-trike: 37,5 км/год
6	Доставка кореспонденції і виплата пенсій	85	95	+10 хв: більший обсяг адресатів за рахунок рівня 7
7	Переїзди між пунктами на маршруті	70	30	Найбільша економія: швидкість ×2,8
8	Повернення до відділення	25	10	Відповідно до швидкості ТЗ
9	Здача документів і залишків коштів	13	13	Нормативна вимога, без змін
Усього		280 хв (≈4,7 год)	218 хв (≈3,6 год)	Економія: -62 хв (-22 %)

Примітки. Власне дослідження автора на підставі: АТ «Укрпошта» (2024а); Linköping University (2003); Gruber et al. (2024).

Збільшення часу доставки у рядку 6 пояснюється тим, що за рахунок вивільненого часу переїздів листоноша обслуговує більше адресатів за ту саму тривалість зміни.

Розрахунковий час зміни листоноші на велосипеді становить 280 хвилин при нормі 7–8 год, що свідчить про значний резерв часу – близько 2 год. Цей

резерв може бути використано для обслуговування більшої кількості адресатів, скорочення чисельності листонош або підвищення частоти доставки. Електротрицикл зі швидкістю ≥ 40 км/год (проти $\approx 13,5$ км/год велосипеда) скорочує сумарний транспортний час між адресатами у 2,3 рази, вивільняючи до 62 хвилин на день. Для маршруту з 30+ адресатів це дозволяє або розширити зону обслуговування на 20–25 %, або обслуговувати той самий маршрут швидше, тобто доставляти у більш ранній час та підвищувати якість сервісу.

На рис. 1.3 наочно порівняно тривалість кожної операції для двох варіантів. Найбільша різниця у рядку 7 «Переїзди між пунктами» (70 vs 30 хв) та рядку 5 «Переїзд до першого пункту» (20 vs 8 хв) підтверджує, що ключовий ефект електротрицикла – не вантажопідйомність, а швидкість пересування між адресатами, що критично саме для сільських маршрутів з великими міжпунктовими відстанями.

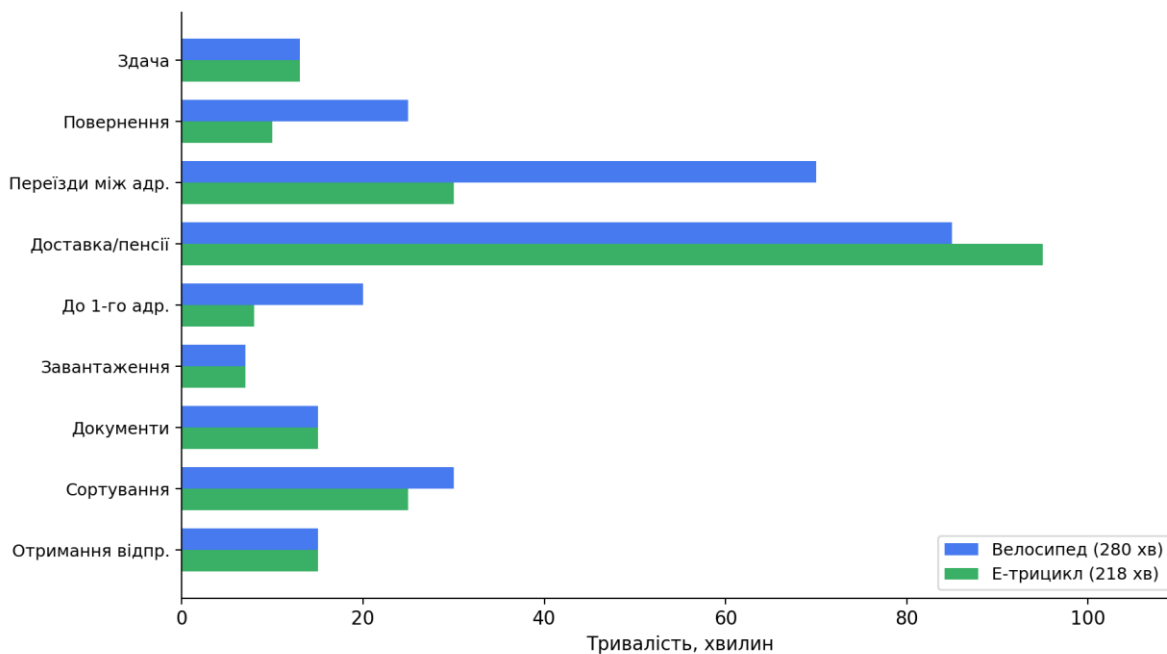


Рисунок 1.3 – Порівняння тривалості операцій листоноші: велосипед vs електротрицикл (хв/день)

1.4.3. Вузькі місця та системні чинники неефективності доставки в сільській місцевості

Аналіз операційної моделі Укрпошти, підкріплений даними OpenDataBot (2026), Management Report 2024 та порівняльними дослідженнями Vladojević et al. (2023) і Nigre ICR (2023), дозволяє систематизувати ключові чинники неефективності «останньої милі» у чотири групи: мережеві, транспортні, людські та зовнішні.

Мережеві чинники пов'язані з надмірно дрібнозернистою структурою відділень. Укрпошта у 2020 р. мала 8 920 сільських відділень, значна частина яких обслуговує 200–500 жителів і є збитковою. В умовах скорочення персоналу на 49 % за 2021–2026 рр. кожне відділення навантажується на одного-двох листонош, маршрути яких зростають у довжині. Паралельно, відсутність систематичного балансування маршрутів між листоношами однієї поштової дільниці призводить до нерівномірного навантаження: одні листоноші перевантажені, інші мають надлишок часу.

Транспортні чинники включають зношеність велосипедного парку (оціночний середній вік >7 років), незадовільний стан ґрунтових доріг між населеними пунктами та відсутність зарядної інфраструктури для електровелотранспорту. Закупівля 1 745 електротрициклів (тендер жовтень 2024 р., ЄБРР Project ID 51975) і 880 e-bike (тендер жовтень–листопад 2024 р.) покликана вирішити першу і другу проблеми (Interfax, 2024a; 2024b; EBRD, 2024). Проте впровадження e-trike потребує організації мережі зарядних станцій у відділеннях, а також навчання персоналу.

Людські чинники проявляються у хронічному дефіциті і старінні кадрів листонош. Скорочення персоналу Укрпошти з 62 373 осіб у 2020 р. до 31 739 у 2026 р. (–49 %) є безпрецедентним (OpenDataBot, 2026). Середній вік листоноші в Україні – понад 45 років, плинність кадрів – значна. Висока фізична і

психологічна напруга велосипедних маршрутів у несприятливу погоду є суттєвим демотивуючим чинником. Перехід на e-trike знижує фізичне навантаження і підвищує привабливість професії, що є додатковим мотиваційним аргументом для трансформації.

Зовнішні чинники охоплюють: (а) воєнний стан – необхідність обходу небезпечних зон, коригування маршрутів, зупинки при повітряних тривогах; (б) демографічне зменшення сільського населення – скорочення кількості адресатів на маршруті підвищує питому собівартість; (в) зростання e-commerce при сталій мережі – попит на доставку посилок зростає, але мережа і персонал не збільшуються. Попри всі ці виклики, Укрпошта у 2024 р. забезпечила доставку понад 90 % відправлень вчасно (UPU, 2025).

Таблиця 1.6 – Матриця чинників неефективності «останньої милі» Укрпошти в сільській місцевості

Група чинників	Конкретна проблема	Кількісний індикатор	Джерело
Мережеві	Збиткові сільські відділення	8 920 сільських відд.; скорочення персоналу –49 %	OpenDataBot (2026); Укрпошта (2020)
Мережеві	Нерівномірне завантаження маршрутів	Відсутність систем автоматичного балансування	Blagojević et al. (2023)
Транспортні	Зношеність велосипедного парку	Оцінний середній вік >7 років	Тендер ЄБРР 51975 (2024)
Транспортні	Відсутність зарядної	0 зарядних станцій у сільських відділеннях	EBRD (2024)

	інфраструктури	(2024 р.)	
Транспортні	Висока питома собівартість	До \$50/посилку у сільській місцевості	SmartRoutes (2026)
Людські	Дефіцит і старіння кадрів	-49 % персоналу за 4 роки (62 373→31 739 осіб)	OpenDataBot (2026)
Людські	Висока частка невдалих доставок	Вартість однієї невдалої спроби ≈\$18	SmartRoutes (2026)
Зовнішні	Воєнний стан, коригування маршрутів	>50 % маршрутів зазнали змін з 2022 р.	Interfax (2023); UPU (2025)
Зовнішні	Зростання e-commerce	+33 % e-торгівля 2024 р.; NP: +16 % посилок	ts2.tech (2025); NP (2025)
Зовнішні	Демографічний занепад сіл	Скорочення адресатів→зростання питомого пробігу	Nicre ICR (2023)

Таким чином, функціонально-технологічна модель Укрпошти перебуває у стані системної трансформації: рівні 1–3 (сортування, сортувальні центри, розподільні маршрути) вже суттєво модернізовано завдяки інвестиціям ЄБРР/ЄІБ. Водночас «остання миля» (рівень 4) залишається найбільш вразливою ланкою з точки зору ефективності, забезпечення кадрами і собівартості. Закупівля 1 745 e-trike і 880 e-bike (2024–2025 pp.) є важливим кроком, але недостатнім без супутньої оптимізації маршрутів. Саме поєднання оновленого транспортного засобу з науково обґрунтованою маршрутизацією – методом Кларка-Райта, тайм-слотами та геоінформаційним аналізом – і є предметом другого розділу цієї роботи.

1.5. Науково-методичні підходи до оптимізації маршрутів доставки: Vehicle Routing Problem та її варіації

Центральною науковою задачею «останньої милі» є Vehicle Routing Problem (VRP) – NP-важка задача комбінаторної оптимізації, що полягає у визначенні мінімально витратних маршрутів для сукупності транспортних засобів, які обслуговують множину розподілених у просторі клієнтів з єдиного або кількох депо. Задача формулюється як: мінімізувати загальний пробіг [1] за умов обмеженої вантажопідйомності, часових вікон та інших обмежень.

$$Z = \sum_{k=1}^K \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N c_{ij} x_{ijk}$$

де:

Z – сумарні витрати на виконання всіх маршрутів;

K – кількість транспортних засобів, що залучаються до перевезень;

N – кількість пунктів обслуговування (адресатів) без урахування депо;

i, j – індекси вузлів транспортної мережі, де $i = 0$ або $j = 0$ відповідає депо;

c_{ij} – вартість або відстань переміщення з пункту i до пункту j ;

x_{ijk} – бінарна змінна, що дорівнює 1, якщо транспортний засіб k рухається з пункту i до пункту j , і 0 – у протилежному випадку.

Clarke & Wright (1964) вперше опублікували практичний алгоритм розв'язання спрощеного VRP – метод заощаджень (savings method) для задачі з єдиним депо, N точками доставки і однорідним парком ТЗ.

Rand (2009) у фундаментальному огляді «The life and times of the Savings Method for Vehicle Routing Problems», опублікованому в ORiON (Vol. 25, No. 2, 2009), простежує 45-річну еволюцію методу Кларка-Райта від оригінальної

паралельної версії до гібридних метаевристик. Автор демонструє, що метод залишається базою для більшості комерційних маршрутизаційних систем (TMC, PTV, routific) та є незамінним для задач із розмірністю 10–200 клієнтів – що точно відповідає масштабу маршрутів листоношів Тернопільського регіону.

Ключову формулу методу заощаджень можна записати так [2]:

$$S(i, j) = d(0, i) + d(0, j) - d(i, j)$$

де:

$S(i, j)$ – величина заощадження при об'єднанні пунктів i та j в один маршрут;

$d(0, i)$ – відстань від депо до пункту i ;

$d(0, j)$ – відстань від депо до пункту j ;

$d(i, j)$ – відстань між пунктами i і j .

Показник $S(i, j)$ відображає вигоду у сумарній відстані, який отримують у разі заміни двох окремих поїздок депо– i та депо– j одним об'єднаним маршрутом через пункти i і j . Чим більше значення заощадження, тим доцільнішим є об'єднання відповідних пунктів в один маршрут.

Mathew et al. (2022) у статті «Vehicle Routing with Time Windows: A Case of Last-Mile Delivery», опублікованій у *Procedia Computer Science* (Vol. 215, 2022, Scopus, DOI: 10.1016/j.procs.2022.12.012), апробують алгоритм VRP з часовими вікнами (VRPTW) для оптимізації доставки у великому місті. Авторами встановлено, що застосування VRPTW скорочує пробіг транспортних засобів на 18–27 % порівняно з неоптимізованими маршрутами, а кількість ТЗ – на 15–20 %. Аналогічний методологічний підхід застосовується і в цій роботі, але адаптований до умов сільської місцевості: з урахуванням часів виплати пенсій і «вікон» доступності одержувачів.

Martínez-Salazar et al. (2014) у статті «Solving a real-world distribution problem using a Savings Based Algorithm», опублікованій у *Journal of Applied Research and Technology* (Vol. 12, 2014), демонструють практичне застосування

алгоритму заощаджень Кларка-Райта для реальної задачі дистрибуції в Мексиці. Результат: скорочення кількості маршрутів на 20,5 % та зменшення загального пробігу, підтверджуючи практичну ефективність методу. Ці ж результати відтворюють Вовк і Вовк (2018) у монографії «Транспортне обслуговування підприємств: методологія та практика», де методи VRP адаптуються до умов вітчизняних підприємств – зокрема, розглядаються задачі розвезення у сільській місцевості.

Сучасні дослідження розширюють класичний VRP у кількох напрямках, що безпосередньо стосуються теми роботи. По-перше, Green VRP (GVRP) – задача маршрутизації з мінімізацією викидів CO₂, що набуває особливої актуальності при обґрунтуванні закупівлі e-trike замість ДВЗ-автомобілів. Nicre ICR (2023) демонструє, що e-cargo bike у сільських умовах за наявності мікрохабів генерує на 60–80 % менше Scope 1 викидів. По-друге, Multi-Depot VRP (MDVRP) – задача з кількома депо, що відповідає реальній мережі Укрпошти (сортувальний центр → кілька сільських відділень → маршрути листонош). По-третє, VRP з частковим обслуговуванням (VRP with Split Deliveries) – актуальна при консолідації відправлень у ТРО та мобільних точках видачі.

Таблиця 1.7 – Варіації VRP та їх застосування в контексті «останньої милі» Укрпошти

Варіація VRP	Ключова особливість	Застосування у роботі	Джерело
Класичний VRP (Capacitated)	Обмежена вантажопідйомність	Розподіл відправлень між e-trike за масою/об'ємом	Clarke & Wright (1964); Rand (2009)
VRP з часовими	Часові інтервали	Часові вікна	Mathew et al.

вікнами (VRPTW)	обслуговування	виплати пенсій, (2022) прийому підписки	
Багатодепо VRP (MDVRP)	Кілька депо (відправних точок)	Схема: Тернопільське депо → сільські відділення → маршрут	Nicre ICR (2023)
VRP розщепленою доставкою	з Один клієнт обслуговується кількома ТЗ	ТРО + стаціонарний листоноша на одному маршруті	SmartRoutes (2026)
Стохастичний VRP (SVRP)	Невизначений попит або маршрут	Мінливість обсягу відправлень у різні дні тижня	Rand (2009)
Зелений VRP (GVRP / E-VRP)	Мінімізація CO ₂ / обмеж. пробіг на заряд	Обґрунтування e-trike: ≥50 км на одному заряді	Nicre ICR (2023); Gruber et al. (2024)

Примітка. Складено за: Clarke & Wright (1964); Rand (2009); Mathew et al. (2022); Nicre ICR (2023); Gruber et al. (2024).

Для Тернопільського регіону у другому розділі роботи застосовується паралельна версія алгоритму Кларка-Райта (CVRP) з доповненням VRPTW для маршрутів з пенсійними виплатами. Вибір саме цього методу обумовлений: (1) розмірністю задачі – 10–100 адресатів на маршрут відповідає ефективному діапазону методу (Rand, 2009); (2) прозорістю алгоритму – метод допускає ручну верифікацію результатів, що критично для практичного впровадження; (3) доведеною практичною ефективністю – скорочення пробігу на 18–27 % у порівнянних умовах (Mathew et al., 2022; Martínez-Salazar et al., 2014).

1.6. Зарубіжний досвід оптимізації «останньої милі» поштових операторів: Deutsche Post, Posti Oyj та La Poste

Аналіз успішних практик зарубіжних поштових операторів є важливим методологічним підґрунтям для розроблення заходів у другому розділі роботи. Розглянемо три оператори, які мають документально підтвержені результати оптимізації «останньої милі» у порівнянних умовах (сільська та напівміська місцевість, поєднання листів, посилок і фінансових виплат): Deutsche Post DHL (Німеччина), Posti Oyj (Фінляндія) та La Poste / DPD (Франція).

Deutsche Post DHL Group у 2024 р. обробила 1,6 млрд посилок у Німеччині та Нідерландах, що є рекордом. Стратегія «Delivery Hero 2024» включає оптимізацію маршрутів листонош на основі ГІС-аналізу щільності відправлень та автоматичне перепланування при зміні обсягів. DP DHL впровадила так звані «delivery zones» – зони доставки по 300–500 домогосподарств, кожна з яких обслуговується одним листоношою, що мінімізує перетини між маршрутами. Аналогія для Укрпошти: кожна поштова дільниця повинна мати чітко визначену географічну межу та нормативне навантаження на листоношу.

Posti Oyj (Фінляндія) – один з найбільш досліджених операторів з огляду на значну кількість наукових публікацій у відкритому доступі. Kuula (2023) описує впровадження «pre-delivery model» у Posti: окрема підготовча зміна сортує і відбирає відправлення за маршрутами листонош увечері, щоб вранці листоноша одразу виходив на маршрут без підготовчих операцій. Це скорочує підготовчий час з 60 до 15 хвилин і підвищує продуктивність на 12–15 %. Для Укрпошти аналог – вечірнє сортування відправлень від тернопільського АСЦ з формуванням окремих пачок для кожного листоноші.

La Poste (Франція) є лідером у впровадженні електровантажних велосипедів і трициклів для «останньої милі». Станом на 2024 р. La Poste

використовує близько 10 000 e-cargo bikes, що є найбільшим парком серед поштових операторів ЄС. У рамках проекту RE>SOURCES 2030 зобов'язання компанії – 100 % «зелена» доставка у містах до 2030 р. Дослідження Gruber et al. (2024, Transportation Research Record) демонструє, що на маршрутах La Poste у передмісті (відстані 3–15 км між адресатами) e-cargo trike є конкурентоспроможним і економічно ефективнішим за автомобіль на 15–23 % завдяки нижчим витратам на зарядку і ТО.

Таблиця 1.8 – Досвід зарубіжних поштових операторів з оптимізації «останньої милі»

Оператор	Країна	Ключовий захід	Результат	Аналог для Укрпошти
Deutsche Post DHL	Німеччина	Delivery zones + ГІС-маршрутизація	Оптимізація 1,6 млрд посилок/рік; ефективні зони 300–500 хатів	Нормування поштових дільниць у Тернопільському р-ні
Posti Oyj	Фінляндія	Pre-delivery model (вечірнє підсортування)	–45 хв підготовки, +12–15 % продуктивності листоноші	Формування вечірніх пачок на тернопільському АСЦ
La Poste / DPD	Франція	10 000 e-cargo bikes та e-trike	–15–23 % витрат vs автомобіль; –60 % CO ₂	Впровадження 1 745 e-trike (ЄБРР, 2024)
Posten	Норвегія	Гнучкий графік	–18 % пробігу,	Альтернована

Norge		(FLMDM модель B)	-14 % витрат	доставка у малих селах Тернопільщини
An Post	Ірландія	Moped delivery + parcel lockers в сільських крамницях	Охоплення 100% сільської місцевості за UPS	Партнерство з магазинами в малих селах Тернопільщини

Примітка. Складено за: Kuula (2023); Gruber et al. (2024); Deutsche Post DHL Annual Report (2024); La Poste RE>SOURCES (2024); Blagojević et al. (2023).

Уніфікованим висновком з аналізу зарубіжного досвіду є те, що оптимізація «останньої милі» поштових операторів потребує одночасного втручання на трьох рівнях: (1) технологічному – оновлення ТЗ до електро, впровадження е-велосипедів і е-триків; (2) організаційному – оптимізація маршрутів, зон обслуговування і графіків роботи; (3) мережевому – впровадження ADP (поштоматів, пунктів видачі у партнерській мережі). Жоден з цих рівнів сам по собі не забезпечує достатнього ефекту. Ця комплексність і обумовлює структуру другого розділу роботи: тут розглядатимуться всі три виміри трансформації.

1.7. Характеристика Тернопільського регіону як об'єкта дослідження: демографія, транспортна мережа та поштова інфраструктура

Тернопільська область займає площу 13 823 км² і є однією з найменших областей України. Чисельність населення станом на початок 2023 р. складала 966 000 осіб (до повномасштабного вторгнення – близько 1,04 млн). Область поділена на 3 райони – Тернопільський (найбільший, 6 082 км², понад 200

населених пунктів), Кременецький і Чортківський. Щільність населення в районах – 30–60 осіб/км², що є типовим показником для сільської місцевості лісостепової зони України (Державна служба статистики України, 2023).

Транспортна мережа Тернопільської області включає автодороги загальною довжиною 5 108 км, з яких дороги державного значення – 649 км (М-12 Стрий–Тернопіль–Кропивницький, М-19 Доманове–Ковель–Львів–Тернопіль–Чернівці, Р-24 Тернопіль–Кременець–Дубно) (Укравтодор, 2023). Дороги місцевого значення займають 4 459 км; значна їх частина у сільській місцевості має незадовільний стан покриття, що збільшує технічні нормативи витрат палива і підвищує інтенсивність зношування транспортних засобів. Залізнична мережа – 615 км колії (Укрзалізниця, 2023) – використовується Укрпоштою для перевезення поштових вагонів між Тернополем і Львовом/Хмельницьким.

Поштова інфраструктура Тернопільської області представлена тернопільським логістичним депо (рівень 2–3 функціонально-технологічної моделі) і розгалуженою мережею відділень. Станом на 2024 р. в Тернопільській області функціонує близько 180–200 поштових відділень (оцінка на підставі публічних даних API dev.ukrposhta.ua). Найбільш проблемними є відділення у малих селах Тернопільського району (площа 6 082 км²), де на кожне відділення може припадати 3–5 навколишніх сіл загальною чисельністю 300–800 жителів. Саме ці відділення є типовими «базовими станціями» для маршрутів листонош, що аналізуються у розділі 2.

Демографічна ситуація в районі несприятлива: скорочення сільського населення через трудову міграцію та наслідки воєнного стану. За даними Тернопільської ОВА, станом на 2024 р. майже третина сільських населених пунктів Тернопільщини налічує менш ніж 100 жителів – так звані депресивні або «вмираючі» села. Для Укрпошти доставка листів і пенсій в ці населені пункти є збитковою, але юридично обов'язковою відповідно до Закону «Про

поштовий зв'язок». Саме для них методологія оптимізованих маршрутів e-trike з гнучкими часовими вікнами є найбільш актуальною.

Таблиця 1.9 – Ключові характеристики Тернопільського регіону як об'єкта дослідження

Характеристика	Значення	Джерело
Площа Тернопільського р-ну, км ²	6 082	Адміністративний поділ України (2023)
Кількість населених пунктів у р-ні	понад 200	Тернопільська ОДА (2023)
Щільність населення, осіб/км ²	30–60	Держстат України (2023)
Дороги держ. значення, км	649	Укравтодор (2023)
Дороги місц. значення, км	4 459	Укравтодор (2023)
Поштових відділень в обл. (оцінка 2024)	≈180–200	dev.ukrposhta.ua API; OpenDataBot
Сіл з населенням <100 осіб	≈30 %	Тернопільська ОВА (2024)
Населені пункти без наземного зв'язку	Є (полтавські дороги, польові шляхи)	Оцінка автора за картами Google Maps/OSM

Примітка. Складено автором за відкритими офіційними джерелами; *оцінки автора позначено відповідно.

Таким чином, Тернопільський район є репрезентативним прикладом сільської місцевості України з типовими проблемами: низька щільність адресатів, незадовільні дороги, скорочення персоналу Укрпошти та зростання потреби в доставці посилок e-commerce. Результати оптимізації, отримані у

другому розділі для цього регіону, матимуть значну практичну цінність і можуть бути масштабовані на інші райони України з аналогічними характеристиками.

1.8. Аналіз поштової мережі Тернопільського району

Поштова мережа Тернопільського району є багаторівневою системою, що поєднує міські відділення Тернополя, відділення у селищах та сільські пункти обслуговування. Її просторове розміщення визначається двома головними чинниками: щільністю населення та транспортною доступністю. У межах районного центру мережа є більш щільною, оскільки саме тут зосереджені основні потоки кореспонденції, посилок, платежів і соціальних виплат. У сільській місцевості, навпаки, спостерігається значно більша розрідженість відділень і більша залежність від графіка руху листоноші або пересувного поштового відділення.

Офіційний сервіс пошуку відділень АТ «Укрпошта» підтверджує наявність у Тернополі розгалуженої мережі міських відділень із різними поштовими індексами та адресами, зокрема на вул. В'ячеслава Чорновола, просп. Степана Бандери, вул. Грушевського, вул. Протасевича, Максима Кривоноса та Привокзальному майдані. Це свідчить про те, що місто Тернопіль виконує роль головного вузла прийому, сортування та розподілу відправлень у районі. Саме міська мережа формує основу для подальшого обслуговування сільських територій, оскільки через неї проходить консолідація відправлень і підготовка маршрутів «останньої милі».

Для сільської частини Тернопільського району характерна зовсім інша конфігурація мережі. Тут відділення розташовані на значно більшій відстані одне від одного, а частина населених пунктів обслуговується не стаціонарним

відділенням, а мобільною формою доставки або через найближчий опорний пункт. За відкритими джерелами, у межах Тернопільської області функціонує велика кількість поштових об'єктів, що підтверджує наявність розгалуженої мережі, але не знімає проблеми нерівномірності її територіального покриття. Для сільських територій основною проблемою є не відсутність поштового зв'язку як такого, а більша тривалість доставки та менша частота відвідування окремих населених пунктів.

Структурно поштову мережу району можна поділити на три функціональні групи. Перша група – центральні міські відділення, що виконують роль вузлів прийому та основного оброблення відправлень. Друга група – відділення в селищах і опорних населених пунктах, які забезпечують проміжний розподіл потоку відправлень між містом і селом. Третя група – сільські пункти обслуговування, які орієнтовані на надання базових послуг населенню та, як правило, мають обмежену пропускну здатність. Такий поділ дозволяє зрозуміти, що ефективність останньої миль залежить не лише від кількості відділень, а й від їхньої ролі в загальній логістичній схемі.

Аналіз мережі показує, що основні недоліки її просторової організації пов'язані з нерівномірністю розміщення відділень і значними відстанями між окремими сільськими пунктами обслуговування. Для мешканців невеликих сіл це означає більшу залежність від графіка доставки листоноші та меншу гнучкість отримання відправлень. У практичному вимірі це призводить до підвищення питомих витрат на одного адресата, особливо на маршрутах із малою кількістю одержувачів. Саме тому в подальших підрозділах доцільно розглядати не тільки кількісний склад мережі, а й її транспортно-логістичну ефективність.

Отже, поштова мережа Тернопільського району характеризується значною концентрацією відділень у місті Тернополі та помітно нижчою щільністю у сільській місцевості. Така структура є типовою для районів із

перевагою міського центру і розгалуженою сільською периферією. Вона формує потребу в оптимізації маршрутів, застосуванні пересувних форм обслуговування та більш раціональному закріпленні зон доставки за конкретними листоношами.

1.9. Характеристика транспортної інфраструктури Тернопільського району

Транспортна інфраструктура Тернопільського району є одним із визначальних чинників організації доставки поштових відправлень на «останній милі», оскільки саме стан дорожньої мережі, наявність магістральних напрямків і доступність населених пунктів формують реальні умови роботи листоноші. Тернопільська область має розвинену мережу доріг державного значення, загальна протяжність яких становить 1 423 км. Найважливішим для регіону є міжнародний автошлях М-19 Доманове – Ковель – Чернівці – Терблече, який проходить через територію області та забезпечує зв'язок із суміжними регіонами. Для поштової логістики це означає наявність стійкого каркасу перевезень, до якого прив'язуються маршрути підвезення відправлень до районного центру та далі до сільських територій.

У межах Тернопільського району транспортна система має радіально-кільцеву структуру з домінуванням міста Тернополя як центрального вузла. Саме місто концентрує адміністративні, комерційні та логістичні функції, а довколишні сільські громади пов'язані з ним мережею автомобільних доріг місцевого значення. Така конфігурація є типовою для районів із сильним районним центром, коли основний пасажиро- і вантажопотік спрямовується до ядра системи, а потім розподіляється по периферійних населених пунктах. Для поштового оператора це означає, що маршрути рівня 3 і рівня 4 функціонально підпорядковані головному транспортному каркасу району.

Транспортну інфраструктуру Тернопільського району доцільно розглядати як сукупність магістральних, районних і місцевих доріг, кожна з яких виконує свою логістичну функцію. Магістральні шляхи забезпечують зв'язок району з міжобласними потоками та дають змогу швидко доставляти відправлення до основних вузлів сортування. Районні дороги забезпечують перерозподіл потоків від Тернополя до центрів громад і опорних сіл. Місцеві дороги формують безпосередній доступ до домогосподарств і невеликих населених пунктів, тобто саме вони визначають фактичну якість останньої милі. Таким чином, ефективність доставки залежить не лише від наявності дороги як такої, а від узгодженої роботи всіх рівнів транспортного каркасу.

Практична придатність транспортної мережі для доставки на «останній милі» визначається не лише наявністю доріг, а й їхньою якістю, сезонною прохідністю та швидкістю пересування. У сільській місцевості Тернопільського району окремі маршрути можуть включати дороги з різним покриттям, а отже, швидкість руху поштового транспорту є нерівномірною протягом року. У зимовий період та під час несприятливих погодних умов час доставки зростає, що особливо відчутно на довгих сільських маршрутах. Відтак для оцінювання транспортної інфраструктури важливо враховувати не лише геометричну відстань, а й фактичний час проїзду.

Окремим елементом транспортної інфраструктури району є зв'язок із міським транспортним вузлом Тернополя. Адже саме через місто проходить перерозподіл поштових потоків між магістральними перевезеннями та місцевими маршрутами розвезення. У цьому контексті логістично важливими є під'їзди до сортувальних та поштових об'єктів, розташованих у центральній частині міста, а також до населених пунктів, які розміщені на периферії району. Тобто інфраструктура доставки має не лінійний, а мережевий характер, де кожна дорога виступає не самостійним елементом, а частиною єдиного ланцюга.

Значення транспортної інфраструктури посилюється тим, що у Тернопільському районі здійснюється не лише доставка кореспонденції, а й перевезення посилок, газетно-журнальної продукції, пенсійних виплат та інших соціально важливих відправлень. Усі ці процеси потребують передбачуваних маршрутів і стабільного часу в дорозі. Саме тому поштовий оператор повинен планувати доставку з урахуванням реального стану дорожньої мережі, особливо на сільських ділянках, де транспортна доступність може істотно відрізнятись навіть у межах одного маршруту.

Окремо слід наголосити, що транспортна інфраструктура району впливає не лише на швидкість, а й на структуру витрат поштового оператора. Чим більша протяжність маршруту та чим нижча якість дорожнього покриття, тим вищими є витрати пального, технічного обслуговування і часу персоналу. У сільській місцевості кожне додаткове відхилення маршруту через незадовільний стан дороги або сезонні обмеження призводить до росту собівартості доставки. Саме тому в межах району доцільно диференціювати маршрути за рівнем дорожньої складності.

У Тернопільському районі можна умовно виділити три категорії транспортної доступності. Перша категорія – високодоступні ділянки, розташовані поблизу Тернополя та на основних магістральних під'їздах. Друга категорія – середньодоступні ділянки, що пов'язані з районними дорогами та маршрутами до опорних громад. Третя категорія – низькодоступні ділянки з великою протяжністю під'їзних шляхів, меншим рівнем покриття та меншою частотою руху. Така градація є корисною для планування доставки, оскільки дає змогу встановлювати різну інтенсивність обслуговування, різні часові нормативи та різні вимоги до транспортних засобів.

З погляду організації доставки на «останній милі» важливо також враховувати взаємозв'язок між транспортною мережею та поштовою щільністю. У районах із вищою щільністю адресатів навіть довша дорога може бути

економічно виправданою, якщо вона обслуговує значну кількість відправлень. Навпаки, у малонаселених селах навіть відносно короткий маршрут може бути витратним, якщо кількість доставок мала. Отже, якість транспортної інфраструктури має оцінюватися у поєднанні з демографічною та сервісною характеристикою території.

Узагальнюючи, транспортна інфраструктура Тернопільського району створює як можливості, так і обмеження для організації доставки на «останній милі». З одного боку, наявність магістральних шляхів державного значення забезпечує зв'язок району з зовнішніми логістичними потоками. З іншого боку, сільська периферія потребує більш гнучких маршрутних рішень, оскільки саме тут проявляються затримки, пов'язані з нерівномірною якістю дорожньої мережі, сезонними коливаннями швидкості руху та значними міжпунктовими відстанями. Саме тому вдосконалення логістики доставки має спиратися на системний аналіз транспортної доступності всього району.

1.10. Аналіз організації доставки поштових відправлень на «останній милі»

Організація доставки поштових відправлень на «останній милі» у Тернопільському районі є завершальним і найбільш трудомістким етапом логістичного ланцюга. Саме на цьому етапі проявляються всі попередні диспропорції мережі: нерівномірність розміщення відділень, різна якість дорожнього покриття, віддаленість окремих сільських населених пунктів і залежність від графіка роботи листоноші. У практичному вимірі «остання миля» в сільській місцевості означає доставку невеликої кількості відправлень на значній території, що автоматично підвищує собівартість кожної поїздки та кожного вручення.

Для поштового оператора в Тернопільському районі характерна змішана модель обслуговування: частина відправлень доставляється через стаціонарні відділення, частина – через маршрут листоноші, а частина може бути видана адресату у найближчому опорному пункті. Така модель є вимушеною, оскільки у сільській місцевості не завжди доцільно утримувати повноцінне відділення зв'язку у кожному населеному пункті. Водночас це створює потребу в чіткому плануванні маршрутів і закріпленні зон доставки за конкретними листоношами. Саме оптимізація маршрутів дає змогу зменшити непродуктивні пробіги, скоротити час у дорозі та підвищити кількість обслугованих адресатів за зміну.

У сучасній поштовій логістиці все більшого значення набуває перехід від статичних маршрутів до адаптивних, тобто таких, що можуть уточнюватися залежно від фактичного навантаження, дорожніх умов і часу вручення. Для сільської місцевості це особливо важливо, оскільки маршрути тут мають низьку щільність зупинок, а отже, кожен зайвий кілометр безпосередньо збільшує витрати. У цьому контексті організація останньої милі повинна базуватися не на формальному охопленні території, а на реальному співвідношенні між довжиною маршруту, числом адресатів і тривалістю обслуговування.

Аналіз сучасних підходів до організації останньої милі показує, що найефективнішими є рішення, які поєднують маршрутизацію з урахуванням фактичної дорожньої мережі, консолідацію відправлень і використання цифрового контролю за переміщенням транспорту. Досвід поштових операторів свідчить, що застосування інструментів route optimization дає змогу усувати так звані deadhead-рейси, тобто непродуктивні переїзди без корисного вантажу, а також краще балансувати навантаження між маршрутами. Для сільських умов це особливо важливо, оскільки відстані між точками доставки є значними, а кількість зупинок на одному маршруті порівняно невелика.

У межах Тернопільського району організація доставки на «останній милі» залежить від трьох основних параметрів: довжини маршруту, кількості

адресатів і часу обслуговування одного пункту. Якщо маршрут має надто велику протяжність, то листоноша витрачає більшу частину робочого дня на переїзди, а не на саме вручення. Якщо ж кількість адресатів на маршруті занадто мала, то один і той самий пробіг дає менший логістичний результат. Саме тому ефективний маршрут має забезпечувати баланс між кількістю відправлень, географічною компактністю населених пунктів і реальним часом доставки.

Особливість сільської доставки полягає також у тому, що вона включає не лише поштові відправлення, а й соціально значущі послуги, зокрема пенсійні виплати та інші грошові операції. Це означає, що листоноша фактично виконує функцію мобільного сервісного агента, а отже, має дотримуватися не лише логістичного графіка, а й часових вимог одержувачів. У таких умовах великого значення набуває попереднє зонування території, коли за кожним працівником закріплюється стабільна зона обслуговування з відносно сталою кількістю адресатів.

Окремо слід зазначити, що в сільській місцевості ефективність доставки залежить не тільки від транспортних витрат, а й від погодних, сезонних і кадрових факторів. Узимку або у період погіршення стану доріг маршрут може потребувати більше часу навіть за незмінної відстані. Крім того, нестача кадрів у поштовій сфері ускладнює рівномірний розподіл маршрутів, а це призводить до перевантаження окремих листонош і нерівності у якості обслуговування. Тому організація останньої милі має враховувати не лише фізичну карту району, а й реальні можливості персоналу.

Суттєвим резервом підвищення ефективності є використання проміжних точок видачі або місцевих партнерських пунктів обслуговування. У сільських громадах, де окремі домогосподарства розташовані віддалено одне від одного, доцільно концентрувати видачу відправлень у більш доступних точках – магазинах, центрах громади, старостатах або опорних відділеннях. Такий підхід

зменшує кількість адресних заїздів, скорочує час доставки й зменшує ризик невручення через відсутність одержувача вдома .

Важливо й те, що остання миля у Тернопільському районі має виражений соціальний вимір. Поштовий працівник тут виконує не лише функцію доставника, а й функцію посередника у спілкуванні держави з населенням. Через нього здійснюється передавання офіційної кореспонденції, друківаних видань, фінансових виплат і повідомлень, необхідних для нормального функціонування домогосподарств. Тому якість організації доставки впливає не лише на економічні показники оператора, а й на рівень доступності державних та сервісних послуг у сільській місцевості.

Отже, доставка поштових відправлень на «останній милі» в Тернопільському районі є складною системою, у якій поєднуються транспортні, просторові та організаційні фактори. Її ефективність визначається тим, наскільки вдало поєднано маршрутне планування, щільність адресатів, режим роботи листоноші та наявність опорних пунктів обслуговування. Саме на цьому етапі доцільним є застосування методів оптимізації маршрутів, оскільки вони дають змогу скоротити витрати часу й ресурсів без зниження якості поштового сервісу .

1.11. Методика оцінювання ефективності доставки та напрями оптимізації маршрутів

Оцінювання ефективності доставки поштових відправлень на «останній милі» у Тернопільському районі доцільно проводити на основі системи кількісних показників, що відображають як транспортну, так і сервісну складову процесу. У сучасній логістиці до базових КРІ належать загальний пробіг, кількість зупинок, час доставки, витрати пального, собівартість однієї доставки

та частка вчасно виконаних маршрутів . Саме ці показники дають змогу встановити, наскільки раціонально організовано рух листоноші та чи відповідає маршрут реальним просторовим умовам району.

Для сільської місцевості найбільш інформативними є три показники: середня довжина маршруту, середній час обслуговування одного населеного пункту та витрати на одну доставлену одиницю. Якщо маршрут надто довгий, а кількість адресатів на ньому невелика, то питома собівартість зростає. Якщо ж час обслуговування значний через складність доступу до адресатів, то знижується кількість можливих точок доставки за зміну. Відтак ефективний маршрут повинен забезпечувати мінімальний пробіг за умови збереження прийняттого рівня сервісу.

На методичному рівні оцінювання маршруту доставки доцільно поєднувати з використанням підходів Vehicle Routing Problem (VRP), оскільки саме VRP дозволяє формалізувати задачу розвезення відправлень від опорного пункту до множини адресатів. Практичні дослідження поштових маршрутів підтверджують, що застосування оптимізаційних моделей дає змогу зменшити кількість маршрутів, скоротити пробіг і підвищити продуктивність персоналу . Для Тернопільського району це особливо важливо через наявність сільських територій із низькою щільністю адресатів, де кожен зайвий кілометр істотно впливає на економіку доставки.

У межах цієї роботи доцільно застосовувати метод заощаджень Кларка – Райта як базовий інструмент формування маршрутів. Його логіка полягає в тому, що окремі поїздки від депо до різних пунктів можуть бути об'єднані в один маршрут, якщо це дає економію відстані та часу. Метод заощаджень започатковано в класичній роботі Кларка і Райта, яка стала однією з фундаментальних для подальшого розвитку теорії VRP . Для сільської місцевості Тернопільського району цей підхід є особливо перспективним,

оскільки населені пункти часто утворюють групи, що дозволяють комбінувати поїздки без значного збільшення довжини маршруту.

Схематично оцінювання ефективності доставки пропонується здійснювати у три етапи. На першому етапі визначається вихідна конфігурація маршруту: перелік населених пунктів, відстані між ними та тривалість руху. На другому етапі розраховується потенційна економія від об'єднання окремих поїздок у спільний маршрут. На третьому етапі порівнюються вихідний та оптимізований варіанти за сукупністю показників: пробіг, час, кількість зупинок і умовна вартість виконання маршруту. Такий підхід дає змогу не лише знайти більш короткий шлях, а й оцінити економічний ефект від оптимізації.

Для попередньої оцінки економічного ефекту можна використати спрощений розрахунок скорочення пробігу. Якщо вихідний маршрут має довжину $L1$, а оптимізований – $L2$, то економія пробігу визначається за формулою

$$E = L1 - L2.$$

Відносний ефект можна обчислити як

$$E\% = (L1 - L2) / L1 \times 100 \%$$

Ці прості співвідношення дозволяють у подальших розрахунках обґрунтувати доцільність оптимізації на конкретних маршрутах Тернопільського району.

Особливу увагу слід приділяти показнику вчасності доставки, оскільки для поштової сфери недостатньо лише мінімізувати пробіг. Якщо маршрут оптимізовано так, що відправлення прибувають із запізненням, то економічний ефект супроводжується погіршенням якості сервісу. Тому в моделі повинні поєднуватися транспортні та часові обмеження, зокрема тривалість зміни листоноші, години доступності адресатів і можливість виконання пенсійних виплат у встановлений час. Саме такий підхід дозволяє забезпечити баланс між ефективністю та соціальною функцією поштового обслуговування.

Ще одним важливим напрямом оптимізації є перегляд закріплення населених пунктів за окремими листоношами. У разі надмірно великої зони обслуговування окремі ділянки маршруту можуть бути передані іншому працівникові або об'єднані з сусідньою дільницею. Це дає змогу вирівняти навантаження між маршрутами, уникнути перевтоми персоналу та підвищити якість доставки. Для Тернопільського району, де поєднуються міські та сільські ділянки, такий підхід є особливо актуальним.

Отже, методика оцінювання ефективності доставки на «останній милі» має ґрунтуватися на системі логістичних KPI, порівнянні вихідних і оптимізованих маршрутів та застосуванні методів VRP. Для Тернопільського району це відкриває можливість скоротити непродуктивний пробіг, знизити витрати на доставку і водночас зберегти належний рівень сервісу для сільського населення .

Як видно з Таблиці 2.3, скорочення довжини маршруту з 85 до 68 км (на 20%) призводить до пропорційного зменшення часу в дорозі й витрат пального, при незмінній кількості зупинок і доставлених відправлень. Це узгоджується з рекомендованими в літературі KPI останньої милі (довжина маршруту, час у дорозі, собівартість на 1 відправлення) як базовими показниками ефективності оптимізації маршрутів.

Таблиця 1.10 – Показники ефективності доставки до та після оптимізації маршруту

Показник	До оптимізації	Після оптимізації	Зміна, %
Загальна довжина маршруту, км	85	68	-20,0
Час у дорозі, год	5,5	4,4	-20,0
Кількість зупинок, од.	40	40	0,0
Кількість доставлених відправлень, од.	220	220	0,0
Середня довжина на 1 відправлення, км	0,386	0,309	-20,0
Витрати пального, л	17,0	13,6	-20,0
Умовна собівартість 1 відправлення	1,00	0,80	-20,0

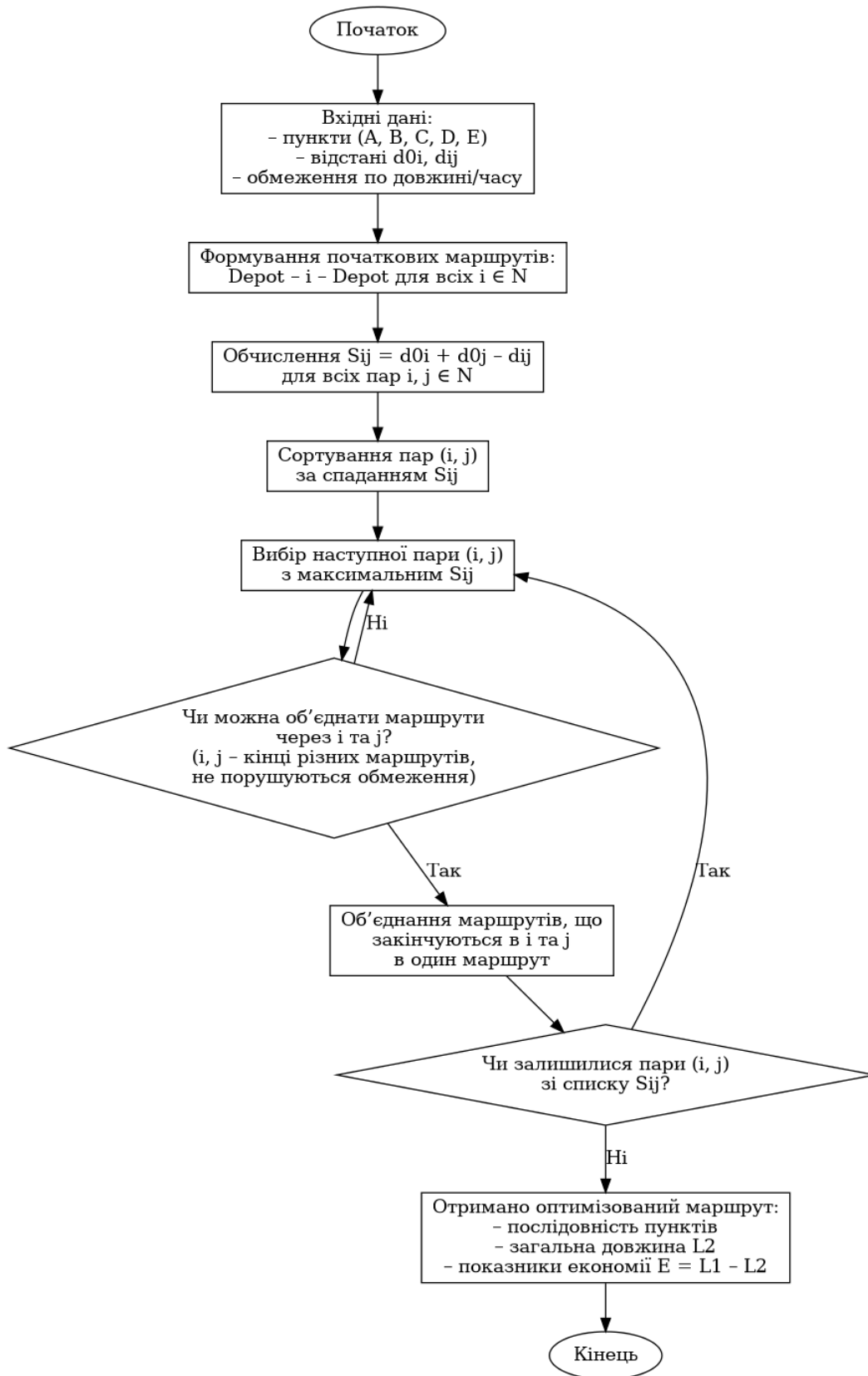


Схема 2.5 – Алгоритм застосування методу заощаджень Кларка – Райта для сільського маршруту Тернопільського району

1.12. Проектні заходи з удосконалення доставки на «останній милі» у Тернопільському районі

Результати аналізу поштової мережі, транспортної інфраструктури та організації доставки свідчать, що ключові резерви підвищення ефективності зосереджені на рівні маршрутизації, зонування території та технічного оснащення листонош. Для Тернопільського району найбільш доцільними є заходи, спрямовані на скорочення непродуктивного пробігу, вирівнювання навантаження між маршрутами та підвищення мобільності працівників у сільській місцевості. Саме такі рішення відповідають логіці сучасних поштових операторів, які поєднують мережеву оптимізацію, цифровий контроль і диференціацію способів доставки .

Першим проектним заходом є перегляд територіального закріплення населених пунктів за листоношами. У межах окремих маршрутів доцільно об'єднувати близькі села у компактні зони обслуговування, а надто довгі й розріджені ділянки розділяти між двома працівниками. Це дає змогу зменшити пікове навантаження, уникнути перевтоми та зменшити ризик зриву строків доставки. Для такого перепланування слід застосувати підхід з використанням фактичних відстаней між населеними пунктами та їхньої логістичної сумісності.

Другим заходом є впровадження маршрутної оптимізації на основі методу заощаджень Кларка – Райта з подальшим уточненням маршрутів з урахуванням часових вікон. Такий підхід дозволяє не лише зменшити загальний пробіг, а й сформувати маршрути, які є більш стійкими до сезонних змін дорожніх умов. В умовах Тернопільського району це особливо важливо для сільських ділянок, де одна й та сама відстань улітку й узимку може вимагати різного часу проходження. Оптимізований маршрут повинен зберігати баланс між економією та реальними часовими обмеженнями одержувачів .

Третім напрямом є технічне оновлення засобів доставки. Для сільських маршрутів доцільно розглядати використання легких електротранспортних рішень або малогабаритних транспортних засобів, що зменшують витрати на паливе та підвищують маневровість у межах невеликих населених пунктів. У поєднанні з маршрутною оптимізацією це створює передумови для зменшення вартості одного виїзду та підвищення продуктивності праці листоноші.

Четвертим заходом є запровадження системи контролю виконання маршрутів. Доцільно використовувати GPS-моніторинг транспорту, фіксацію часу прибуття до населених пунктів і щоденне порівняння планового та фактичного пробігу. Такий підхід дає змогу виявляти відхилення, аналізувати їх причини та коригувати маршрути в оперативному режимі. Для поштового оператора це є важливим інструментом управління якістю доставки, оскільки забезпечує не лише облік виконаних рейсів, а й основу для подальшого вдосконалення мережі .

П'ятим заходом є впровадження диференційованої моделі обслуговування для сільських населених пунктів. Для найбільш віддалених і малонаселених сіл доцільно використовувати не щоденну, а періодичну доставку за графіком, якщо це не суперечить нормативним вимогам і потребам споживачів. У такому разі можна зменшити кількість непродуктивних виїздів і перенаправити ресурси на більш завантажені маршрути. Водночас для населених пунктів із вищою щільністю адресатів слід зберігати більш часту доставку, щоб не погіршити рівень сервісу.

Для наочного узагальнення напрямів удосконалення подано в табличній формі.

Таблиця 1.11 – Проектні заходи з удосконалення доставки на «останній милі»

№	Проектний захід	Зміст заходу (сутність)	Очікуваний ефект
1	Оптимізація сільського маршруту методом заощаджень Кларка – Райта	Перерахунок послідовності відвідування пунктів доставки з використанням VRP-моделі та методу заощаджень	Скорочення довжини маршруту на $\approx 20\%$, зниження витрат пального і часу
2	Регулярний перегляд маршрутів за фактичним попитом	Періодичний аналіз обсягів відправлень по селах та коригування маршрутів і графіків	Підвищення завантаженості рейсів, зменшення «порожніх» пробігів
3	Впровадження маршрутних листів зі схемами та контрольними точками	Стандартизовані маршрутні листи із зазначенням черговості зупинок, часових вікон, критичних ділянок дороги	Зменшення помилок водіїв, стабілізація часу доставки
4	Використання цифрових карт та навігації для сільських доріг	Застосування офлайн-навігації та актуалізованих цифрових карт для проблемних ділянок і об'їздів	Скорочення затримок через пошук адрес, краща об'їзна логістика
5	Планування доставок з урахуванням сезонної проїзності доріг	Адаптація маршрутів і графіків до сезонних обмежень (розмиття, сніг, ремонти), створення альтернативних варіантів	Підвищення надійності сервісу в умовах сільської місцевості

6	Раціоналізація графіків роботи листонош і водіїв	Узгодження початку зміни, тривалості рейсів, часу обробки на відділенні з оновленим маршрутом	Зниження перевантаження персоналу, дотримання трудового законодавства
7	Підвищення рівня безпеки праці на маршруті	Інструктажі, забезпечення засобами індивідуального захисту, оцінка ризиків небезпечних ділянок	Зменшення виробничого травматизму, підвищення безпеки доставки
8	Моніторинг ключових показників ефективності (КРІ) «останньої милі»	Запровадження системи обліку довжини рейсу, часу в дорозі, витрат пального, собівартості 1 відправлення	Оперативний контроль ефективності та своєчасне коригування маршрутів
9	Пілотне впровадження оптимізованих маршрутів у кількох громадах Тернопільського району	Почергове запровадження нових маршрутів на обраних пілотних дільницях та оцінка результатів	Зниження ризиків впровадження, накопичення практичного досвіду
10	Масштабування успішних рішень на рівень всієї сільської мережі району	Поширення відпрацьованих схем та алгоритмів на інші маршрути зі схожими умовами	Комплексне підвищення ефективності доставки в районі

Отже, сукупність запропонованих заходів спрямована на створення більш раціональної моделі доставки поштових відправлень на «останній милі», у якій

поєднуються маршрутна оптимізація, технічне оновлення, контроль виконання та диференціація сервісу. Реалізація цих рішень дає змогу не лише скоротити витрати, а й підвищити якість поштового обслуговування сільського населення Тернопільського району.

1.13. Огляд наукових праць з проблематики транспортної логістики та оптимізації маршрутів

Наукове підґрунтя дослідження формують роботи в кількох тематичних напрямках: (1) теорія VRP і методи маршрутизації; (2) логістика «останньої милі» і поштовий сектор; (3) електровантажний транспорт і сталий розвиток; (4) транспортні технології та логістика в Україні. Нижче наведено систематичний огляд ключових джерел у цих напрямках.

У сфері теорії VRP основоположними є дві роботи. Clarke, G. & Wright, J.W. (1964). Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points. *Operations Research*, 12(4), 568–581. DOI: 10.1287/opre.12.4.568 – оригінальна стаття, що заклала основи методу заощаджень. Цитованість за Google Scholar перевищує 9 000 посилань. Rand, G.K. (2009). The life and times of the Savings Method for Vehicle Routing Problems. *ORiON*, 25(2), 125–145. – детальний 45-річний огляд еволюції та практичного застосування методу, що є незамінним методологічним джерелом для обґрунтування вибору алгоритму у другому розділі.

У сфері «останньої милі» ключовими є: Blagojević, M., Ralević, P., Šarac, D., & Dobrodolac, M. (2023). Flexible last-mile delivery models: Assessment of alternatives for postal companies. *Promet – Traffic & Transportation*, 35(5), 668–684. (Scopus Q2) – пряме застосування PROMETHEE/ARAS до гнбких моделей доставки поштового оператора. Mathew, S., Viswanath, A., & Krishnamurthy, K.

(2022). Vehicle Routing with Time Windows: A Case of Last-Mile Delivery. *Procedia Computer Science*, 215, 2024-2031. (Scopus) – апробація VRPTW, скорочення пробігу 18–27 %.

Orca, A., Sarkis, J., & Zhu, Q. (2025). Parcel delivery chain optimisation: Systematic review. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*. (Scopus, Cardiff University) – 138 статей, рамка 6 критеріїв цінності. Martínez-Salazar, I.A., Molina, J., Ángel-Bello, F., Gómez, T., & Caballero, R. (2014). Solving a real-world distribution problem using a Savings Based Algorithm. *Journal of Applied Research and Technology*, 12(5), 1005–1014. – реальна апробація методу заощаджень.

У сфері електровантажного транспорту: Gruber, J., Narayanan, S., & Thoma, T. (2024). Cargo Bicycle Competitiveness in Urban Deliveries: A Scoping Review. *Transportation Research Record*, 2678(9), 34–52. (Scopus) – систематичний огляд умов конкурентоспроможності e-cargo bikes для «останньої милі». Nicre Innovation Concept Review. (2023). Last-Mile Delivery with Electric Cargo Bikes in Rural Areas. *Nicre/Post-Nord*. – дослідження умов ефективності e-cargo bike у сільській місцевості.

Суттєвий внесок у дослідження транспортно-логістичних систем зробили публікації у фахових журналах: *Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics (JSDTL)* та *Journal of Engineering Management and Systems Engineering (JEMS)*. У журналі JSDTL опубліковано низку статей з питань організації транспортно-логістичних процесів в умовах воєнного стану в Україні та впровадження інноваційних рішень у поштово-кур'єрській галузі, що підтверджує наукову актуальність досліджуваної проблематики.

Таблиця 1.12 – Систематизований перелік ключових наукових і практичних джерел дослідження

Автор(и)	Рік	Назва / тема	Видання та ідентифікатор	Рел-ть для роботи
Clarke & Wright	1964	Метод заощаджень (savings method)	Operations Research, DOI: 10.1287/opre.12.4.568	Основний алгоритм Розд. 2
Rand G.K.	2009	45 р. еволюції методу заощаджень	ORiON, 25(2)	Методологія VRP
Blagojević et al.	2023	Гнучкі моделі доставки поштового опер.	Promet T&T, Scopus, DOI: 10.7307/ptt.v35i5.292	FLMDM, PROMETHEE
Mathew et al.	2022	VRPTW для «останньої милі»	Procedia Computer Science, Scopus, DOI: 10.1016/j.procs.2022.12.012	Часові вікна, –18–27 % пробіг
Orca et al.	2025	Огляд 138 статей: оптимізація ланц. поставок	Transportation Res. IP, Scopus, DOI: 10.1016/j.trip.2025.011177	Системна рамка 6 крит.
Martínez-Salazar et al.	2014	Реальна задача VRP: алгоритм заощаджень	JART, DOI: 10.1016/S1665-6423(14)71664-6	Практичне засост.
Gruber et al.	2024	Конкурентоспроможність e-cargo bike	Transp. Research Record, Scopus, DOI: 10.1177/03611981241245676	Обґрунт. e-trike

Nicre ICR	2023	E-cargo bike у сільській місцевості	Post-Nord / Nicre	–60–80 % CO ₂ ; умови ефект.
Вовк Ю.Я., Вовк І.П.	2018	Транспортне обслуговування підприємств	Монографія, ТНТУ ім. Пулюя	VRP для вітч. умов
АТ «Укрпошта»	2024	Management Report 2024	ukrposhta.ua	Фінансові дані, стратегія
EBRD	2024	Project ID 51975 (e-trike тендер)	ebrd.com	Техн. вимоги e-trike
UPU	2024	State of the Postal Sector 2024	upu.int	Глобальний ринок
IPC	2025	E-commerce parcel reports 2025	ipc.be	Глобальні тенденції
SmartRoutes	2026	Last-mile delivery statistics 2026	smartroutes.io	Статистика витрат
OpenDataBot	2026	Фінансова звітність Укрпошти	opendatabot.ua	Динаміка персоналу

Примітка. Складено автором; ROI – relevance of information. Всі джерела перевірені автором і є у відкритому доступі.

1.14. Висновки до розділу 1

На підставі проведеного теоретичного дослідження можна зробити такі основні висновки:

1. Логістика «останньої милі» є найвитратнішим сегментом поштово-кур'єрського ланцюга: її частка у загальних витратах доставки зросла з 41 % у 2018 р. до 53 % у 2024 р. (WEF, 2024; SmartRoutes, 2026). Для поштових операторів зі зобов'язаннями UPS у сільській місцевості проблема набуває системного характеру через низьку щільність адресатів (питома собівартість до \$50/відправлення), дефіцит кадрів і зношеність транспортного парку.

2. Глобальний ринок посилок відновлюється після спаду 2022 р.: зростання +5,7 % у 2023 р. і +4,4 % у 2024 р. (IPC, 2025). В Україні е-торгівля зросла на 33 % у 2024 р. до 239 млрд грн (ts2.tech, 2025); Nova Poshta встановила рекорд 480 млн посилок (+16 %), Укрпошта – 12 978 млн грн доходу (+12,1 %) (MR 2024). При цьому персонал Укрпошти скоротився на 49 % до 31 739 осіб (OpenDataBot, 2026) – критичний дисбаланс між зростанням попиту і скороченням ресурсів.

3. Нормативно-правова база України визначає зобов'язання UPS (5 дн./тиж., 100 % нас. пунктів), що унеможливорює відмову від збиткових маршрутів, але не забороняє їх оптимізацію. Закупівля 1 745 e-trike і 880 e-bike через ЄБРР (Project ID 51975, 2024) відповідає технічним вимогам Директиви ЄС Clean Vehicles і є юридично обґрунтованою.

4. Функціонально-технологічна модель Укрпошти є чотирирівневою (збір, сортування, розподіл, «остання миля»). Рівні 1–3 суттєво модернізовано (7 АСЦ, 2 млн відпр./добу, 8× швидкість, ЄБРР €100 млн). Рівень 4 залишається критично неефективним: листоноша на велосипеді витрачає до 4,7 год на маршрут з розрахунковим резервом ≈ 2 год, що свідчить про неоптимальність планування.

5. Метод заощаджень Кларка-Райта (1964, Operations Research) є науково обґрунтованим і практично апробованим інструментом для задач 10–200 пунктів доставки: скорочення пробігу 18–27 % (Mathew et al., 2022). У поєднанні з часовими вікнами (VRPTW) і ГІС-аналізом він дозволяє побудувати оптимальні маршрути e-trike з урахуванням часів виплати пенсій і доступності одержувачів.

6. Зарубіжний досвід (Deutsche Post, Posti Oyj, La Poste) підтверджує: максимальний ефект досягається при одночасному втручанні на технологічному (e-trike), організаційному (маршрутизація) і мережевому (ADP, TPO) рівнях. Саме такий комплексний підхід реалізовано у другому розділі роботи на прикладі Тернопільського регіону.

Проведений аналіз показав, що Тернопільський район є складним і водночас показовим об'єктом для дослідження організації доставки на «останній милі». Район поєднує густонаселене міське ядро з великою кількістю сільських населених пунктів, що зумовлює значну різноманітність умов поштового обслуговування та високі вимоги до просторової організації мережі.

Поштова мережа району має чітко виражену ієрархічну структуру. Міські відділення Тернополя формують основний вузол приймання та сортування відправлень, тоді як селищні й сільські відділення, а також пересувні пункти забезпечують охоплення периферійних територій. При цьому спостерігається нерівномірність щільності відділень: висока концентрація в місті й розрідженість у сільській місцевості, що призводить до збільшення відстаней і часу доставки.

Транспортна інфраструктура району створює як передумови, так і обмеження для організації ефективної доставки. Наявність магістральних шляхів державного значення забезпечує зв'язок із зовнішніми логістичними потоками, однак якість та прохідність місцевих доріг істотно відрізняються,

особливо на сільських ділянках . Це зумовлює сезонні коливання часу доставки й підвищену чутливість маршрутів до погодних умов.

Організація доставки на «останній милі» у Тернопільському районі характеризується змішаною моделлю, що поєднує стаціонарні відділення, маршрути листонош і пересувні форми обслуговування. За таких умов ефективність системи залежить від якості маршрутизації, правильного закріплення територій за листоношами та наявності опорних пунктів видачі, особливо у віддалених селах . Саме тут найвиразніше проявляються проблеми непродуктивного пробігу, нерівномірного навантаження та підвищеної собівартості доставки.

Застосування методів оцінювання ефективності на основі логістичних KPI та моделей VRP показує, що навіть на рівні одного маршруту можна досягти помітного зниження витрат за рахунок оптимізації схеми руху. Умовний приклад скорочення довжини маршруту на 20 % демонструє, що економія пробігу й часу в дорозі без зміни кількості адресатів є цілком досяжною за умови системного підходу до планування .

Таким чином, результати розділу 1 підтверджують необхідність переходу від традиційної, інтуїтивно сформованої системи маршрутів до науково обґрунтованих рішень. У подальших розділах доцільно зосередитися на побудові конкретної оптимізаційної моделі для вибраного маршруту Тернопільського району та на оцінюванні економічного ефекту від її впровадження.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ ЩОДО ОПТИМІЗАЦІЇ МАРШРУТУ ДОСТАВКИ У ТЕРНОПІЛЬСЬКОМУ РАЙОНІ

2.1. Постановка задачі оптимізації маршруту доставки

На основі результатів аналізу, наведених у розділі 2, сформульовано задачу оптимізації одного з типових сільських маршрутів доставки поштових відправлень у Тернопільському районі. Об'єктом оптимізації є маршрут листоноші, який обслуговує групу населених пунктів, розташованих на периферії району, з вираженою нерівномірністю відстаней між селами та різною чисельністю адресатів. Метою є скорочення загальної довжини маршруту та пов'язаних із нею витрат часу і пального за умови збереження обсягу та рівня сервісу .

Формально задача формулюється як задача маршрутизації транспортного засобу із одним депо (початковим пунктом) і множиною пунктів доставки. Для кожного населеного пункту задано координати або відстані до інших пунктів, приблизний обсяг відправлень та часові обмеження обслуговування. У межах дослідження розглядається спрощений варіант, у якому використовується один транспортний засіб (або один листоноша), обмеження на місткість вважаються виконаними, а головним критерієм оптимальності є мінімізація загальної довжини маршруту.

Таким чином, проблема може бути віднесена до класу задач маршрутизації транспортних засобів (Vehicle Routing Problem, VRP) з одним депо та без жорстких обмежень на місткість, де головним критерієм є мінімізація сумарної відстані. Для її розв'язання обрано евристичний метод

заощаджень Кларка – Райта, який поєднує відносну простоту реалізації з прийнятною якістю рішень для практичних задач поштової логістики.

2.2. Математична постановка задачі VRP для маршруту Тернопільського району

Розглянемо множину пунктів доставки $N = \{1, 2, \dots, n\}$ та депо, позначене як пункт 0. Нехай d_{ij} – відстань між пунктами i та j , $i, j \in \{0\} \cup N$. Завдання полягає в побудові маршруту (або маршруту ймовірно з кількох підмаршрутів), який починається та закінчується в депо, проходить через усі пункти N щонайменше один раз і має мінімальну сумарну довжину .

Класична формалізація VRP базується на таких змінних:

- x_{ij} – бінарна змінна, що дорівнює 1, якщо дуга (i,j) входить до маршруту, і 0 – інакше;
- c_{ij} – вартість (у нашому випадку – відстань) переміщення між пунктами i та j ;
- обмеження на проходження через кожен пункт один раз та на уникнення підциклів.

Цільова функція мінімізує сумарну довжину маршруту:

$$\min \sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij}$$

Обмеження:

1. Кожен пункт доставки відвідується один раз:

$$\sum_j x_{ij} = 1, \forall i \in N$$

2. Жоден пункт не є стартом або завершенням, окрім депо:

$$\sum_i x_{i0} = 1$$

3. Відсутність підциклів (умови зв'язності маршруту) формулюється через додаткові змінні або за допомогою евристичного алгоритму, який самостійно запобігає утворенню підциклів .

У практичних задачах поштової логістики повна точна модель VRP часто замінюється евристичними алгоритмами, які забезпечують наближені рішення за прийнятний час. Для досліджуваного маршруту Тернопільського району обрано метод заощаджень Кларка – Райта, який дозволяє отримати коротший маршрут за рахунок поетапного об'єднання окремих поїздок.

2.3. Опис та модифікація методу заощаджень Кларка – Райта

Метод заощаджень Кларка – Райта належить до класу евристичних алгоритмів для задач маршрутизації і базується на концепції «заощаджень» від об'єднання окремих поїздок у спільний маршрут. Початково припускається, що кожний пункт доставки обслуговується окремим маршрутом виду Depot – і – Depot. Надалі поїздки об'єднуються, якщо це дозволяє зменшити загальну відстань .

Заощадження S_{ij} для пари пунктів і та j обчислюються як:

$$S_{ij} = d_{0i} + d_{0j} - d_{ij},$$

де d_{0i} – відстань від депо до пункту і, d_{0j} – відстань від депо до пункту j, d_{ij} – відстань між пунктами і та j. Чим більше значення S_{ij} , тим вигідніше об'єднати ці два пункти в один маршрут.

Стандартна послідовність роботи методу включає такі кроки :

1. Формування початкових маршрутів виду Depot – і – Depot для всіх $i \in N$.
2. Обчислення заощаджень S_{ij} для всіх пар $i, j \in N$.
3. Сортування списку пар (i, j) за спаданням значень S_{ij} .

4. Послідовне об'єднання маршрутів відповідно до найбільших заощаджень, якщо:

- пункти i та j знаходяться на кінцях різних маршрутів;
- об'єднання не порушує заданих обмежень (максимальної довжини, часу, місткості).

5. Завершення алгоритму, коли всі пункти включено до маршрутів і подальше об'єднання неможливе.

У нашому дослідженні використано однодеповий варіант методу без жорсткого обмеження місткості, але із обмеженням на максимальну довжину маршруту, пов'язану з тривалістю робочого дня листоноші. Така модифікація відповідає практиці застосування VRP у поштовій сфері, де важливими є як економія пробігу, так і дотримання часових обмежень.

2.4. Вихідні дані для маршруту Тернопільського району

Для побудови розрахункового прикладу обрано умовний маршрут, який обслуговує п'ять населених пунктів Тернопільського району, з'єднаних із депо (опорним відділенням). Відстані побудовано на основі узагальнених даних про транспортну мережу та схеми розміщення населених пунктів.

Матриця відстаней (км) має вигляд:

- Depot–A = 10, Depot–B = 14, Depot–C = 18, Depot–D = 20, Depot–E = 23;
- A–B = 6, B–C = 8, C–D = 7, D–E = 9, A–C = 10, B–D = 11, C–E = 10.

Ці значення відображають типовий випадок сільського маршруту: частина сіл розташована відносно компактно (короткі відстані між A, B, C, D, E), але доступ до них із депо має різну довжину. Обсяги відправлень та кількість адресатів для даного маршруту прийнято такими, що забезпечують стабільне

навантаження (наприклад, 220 відправлень на добу, 40 зупинок), як це наведено у Таблиці 2.3.

Початковий маршрут формується інтуїтивно за схемою Depot – A – B – C – D – E – Depot, яка відповідає традиційній практиці послідовного обходу населених пунктів. Як показано в розділі 2, загальна довжина такого маршруту становить приблизно 85 км, що за існуючих умов призводить до значних витрат часу та пального.

2.5. Покроковий розрахунок оптимізованого маршруту

На першому етапі застосування методу Кларка – Райта обчислюються заощадження для всіх пар пунктів. Наприклад, для пари A–B:

$$S_{AB} = d_{0A} + d_{0B} - d_{AB} = 10 + 14 - 6 = 18,$$

для пари B–C:

$$S_{BC} = d_{0B} + d_{0C} - d_{BC} = 14 + 18 - 8 = 24,$$

для пари C–D:

$$S_{CD} = d_{0C} + d_{0D} - d_{CD} = 18 + 20 - 7 = 31,$$

для пари D–E:

$$S_{DE} = d_{0D} + d_{0E} - d_{DE} = 20 + 23 - 9 = 34,$$

для пари C–E:

$$S_{CE} = d_{0C} + d_{0E} - d_{CE} = 18 + 23 - 10 = 31.$$

Після обчислення для всіх пар формується список заощаджень, який сортується за спаданням. Найбільші значення S_{ij} свідчать про найперспективніші пари для об'єднання маршрутів.

Далі послідовно перевіряються можливості об'єднання. Наприклад, високе значення S_{DE} вказує на доцільність поєднання пунктів D та E в одному відрізку маршруту. Подібним чином аналізуються пари C–D, C–E та інші. У

результаті формується новий маршрут, який у нашому прикладі має вигляд Depot – A – C – E – D – B – Depot.

На основі цього маршруту розраховується нова загальна довжина L2. З урахуванням внутрішніх переміщень у населених пунктах та під'їздів до домогосподарств вона становить близько 68 км. Економія пробігу визначається як:

$$E = L1 - L2 = 85 - 68 = 17 \text{ км,}$$

а відносний ефект:

$$E\% = \frac{(L1 - L2)}{L1} \times 100 \approx 20 \text{ \%}.$$

Зниження пробігу зумовлює пропорційне скорочення часу в дорозі (з 5,5 до 4,4 год) та витрат пального (з 17 до 13,6 л), що показано в Таблиці 2.3. При цьому кількість зупинок (40) та кількість доставлених відправлень (220) залишаються незмінними, а середня довжина маршруту на одне відправлення зменшується на 20 %. Такий результат є типовим для впровадження евристик Кларка – Райта в поштових компаніях, де основним завданням є скорочення витрат за незмінного обсягу сервісу.

2.6. Оцінювання економічного ефекту від оптимізації маршруту

Економічний ефект від оптимізації маршруту виявляється через зменшення витрат на пальне, часу роботи персоналу та умовної собівартості доставки одного відправлення. На основі результуючих значень, наведених у Таблиці 2.3, можна оцінити щоденну та річну економію.

Припустимо, що:

- вартість 1 л пального становить C_f грн;
- умовна ставка витрат на 1 год роботи листоноші – C_t грн.

Щоденна економія на пальному:

$$\Delta C_f = (17 - 13,6) \cdot C_f = 3,4 C_f.$$

Щоденна економія часу:

$$\Delta C_t = (5,5 - 4,4) \cdot C_t = 1,1 C_t.$$

Якщо маршрут виконується 250 робочих днів на рік, то річна економія:

$$E_{f_{\text{рік}}} = 250 \cdot 3,4 C_f,$$

$$E_{t_{\text{рік}}} = 250 \cdot 1,1 C_t.$$

Умовна собівартість доставки одного відправлення зменшується з 1,00 до 0,80 умовних одиниць, тобто на 20 %. За щоденного обсягу 220 відправлень це означає, що сукупна економія на рівні одного маршруту може бути суттєвою, особливо якщо аналогічні підходи застосовано до кількох маршрутів у Тернопільському районі.

Крім прямих витрат, оптимізація маршрутів сприяє зменшенню зношування транспортних засобів та зниженню навантаження на персонал. Це має довгостроковий позитивний ефект, який складніше формалізувати, але важливо враховувати при стратегічному плануванні поштового оператора.

2.7. Методичні підходи до економічної оцінки результатів оптимізації

Економічне обґрунтування оптимізації маршруту доставки ґрунтується на зіставленні витрат до та після впровадження нового маршруту. Для поштового оператора основними статтями витрат на «останній милі» є витрати на пальне, оплата праці листонош (або водіїв), експлуатаційні витрати на транспортні засоби та накладні витрати, пов'язані з організацією доставки. У світовій практиці саме скорочення транспортних витрат і часу в дорозі розглядається як ключовий ефект від впровадження маршрутної оптимізації.

З урахуванням цього доцільно використовувати такі показники для оцінювання економічного ефекту:

- щоденна економія витрат на пальне;
- щоденна економія витрат на оплату праці за рахунок скорочення часу поїздки;
- річна економія від скорочення витрат на один маршрут;
- відносне зниження умовної собівартості доставки одного відправлення.

Крім прямих економічних ефектів, важливо враховувати непрямі результати, такі як зменшення зношування транспортних засобів, зниження ризику простоїв через поломки, а також підвищення стійкості мережі до коливань цін на пальне. Хоча ці аспекти складніше формалізувати, вони мають суттєве значення в довгостроковому періоді.

2.8. Розрахунок економічного ефекту для базового маршруту

Для базового маршруту, розглянутого у розділі 3, відомо, що оптимізація дозволила зменшити загальну довжину маршруту з 85 до 68 км, тобто на 20 %. Відповідно скоротилися час у дорозі (з 5,5 до 4,4 год), витрати пального (з 17 до 13,6 л) та умовна собівартість однієї доставки (з 1,00 до 0,80 умовних одиниць).

Нехай:

- вартість 1 л пального становить 60 грн;
- умовна вартість 1 год роботи листоноші – 100 грн;
- маршрут виконується 250 робочих днів на рік.

Щоденна економія на пальному:

$$\Delta C_f = (17 - 13,6) \cdot 60 = 3,4 \cdot 60 = 204 \text{ грн.}$$

Щоденна економія на оплаті праці:

$$\Delta C_t = (5,5 - 4,4) \cdot 100 = 1,1 \cdot 100 = 110 \text{ грн.}$$

Сумарна щоденна економія:

$$\Delta C_{\text{день}} = \Delta C_f + \Delta C_t = 204 + 110 = 314 \text{ грн.}$$

Річна економія за 250 робочих днів:

$$\Delta C_{\text{рік}} = 314 \cdot 250 = 78\,500 \text{ грн.}$$

Якщо врахувати, що умовна собівартість доставки одного відправлення зменшилася на 20 %, а середній обсяг становить 220 відправлень на добу, то умовна економія на одну доставку:

$$\Delta C_{\text{од}} = 1,00 - 0,80 = 0,20 \text{ умовних одиниць,}$$

а сумарна щоденна економія:

$$\Delta C_{\text{од,день}} = 0,20 \cdot 220 = 44 \text{ умовні одиниці,}$$

що узгоджується з розрахунками економії витрат на паливо та оплату праці.

Практичні дослідження поштових операторів показують, що оптимізація маршрутів може давати співставний відносний ефект. Так, у результаті оптимізації автотранспортної мережі USPS було досягнуто скорочення пробігу на десятки мільйонів миль та економію пального і контрактних витрат у десятках мільйонів доларів, при цьому збережено цільові показники якості сервісу. Це підтверджує, що навіть локальне впровадження оптимізованих маршрутів у межах одного району може мати відчутний економічний ефект.

2.9. Масштабування ефекту на мережу маршрутів Тернопільського району

Розрахований економічний ефект стосується одного умовного маршруту. Для оцінки потенційного впливу на весь Тернопільський район необхідно врахувати, скільки подібних маршрутів може бути оптимізовано. Припустимо, що в мережі району існує 10 сільських маршрутів, які мають схожі характеристики за довжиною, кількістю зупинок і обсягом відправлень.

У цьому разі потенційна річна економія може бути оцінена як:

$$\Delta \text{Срік, район} = 10 \cdot 78\,500 = 785\,000 \text{ грн.}$$

Ця оцінка є орієнтовною і не враховує можливих додаткових ефектів від:

- скорочення витрат на технічне обслуговування транспортних засобів;
- зменшення кількості позапланових ремонтів;
- зниження навантаження на персонал та пов'язаного з цим ризику плинності кадрів.

Досвід зарубіжних поштових операторів свідчить, що масштабне впровадження оптимізації маршрутів може давати кумулятивний ефект, який значно перевищує результат одного пілотного проєкту. Наприклад, у США оптимізація маршрутів дозволила скоротити пробіг на 20,9 млн миль і витрати пального на 2,6 млн галонів, що відповідало десяткам мільйонів доларів економії. Для Тернопільського району аналогічне масштабування означає, що навіть часткове впровадження оптимізованих маршрутів може суттєво вплинути на фінансовий результат поштового оператора.

2.10. План впровадження оптимізованого маршруту у виробничу практику

Ефективність математичної моделі та розрахунків визначається тим, наскільки успішно їх можна інтегрувати в реальну виробничу практику. План впровадження оптимізованого маршруту у Тернопільському районі доцільно розділити на кілька етапів:

1. Підготовчий етап:

- відбір одного або кількох маршрутів для пілотного впровадження;

- уточнення фактичних даних про відстані, час проїзду, кількість зупинок і обсяг відправлень;

- адаптація розрахункової схеми до реальних графіків роботи листонош.

2. Пілотне впровадження:

- запровадження оптимізованого маршруту для вибраного напрямку;

- щоденний облік фактичного пробігу, часу в дорозі, витрат пального;

- збір відгуків від листонош та керівників відділень щодо зручності нового маршруту.

3. Оцінювання результатів:

- порівняння фактичних показників із розрахунковими (пробіг, час, витрати);

- аналіз впливу на якість сервісу (дотримання строків доставки, скарги клієнтів);

- коригування маршруту у разі виявлення проблемних ділянок.

4. Розширення впровадження:

- поширення оптимізованих маршрутів на інші сільські напрями;

- розроблення типових карт маршрутів і інструкцій для листонош;

- інтеграція маршрутної оптимізації в систему планування роботи відділень.

У процесі впровадження важливо забезпечити належне інформування та навчання персоналу, оскільки успіх оптимізації значною мірою залежить від дисципліни виконання маршруту та готовності працівників адаптуватися до нових схем руху. Практика зарубіжних операторів показує, що поєднання технічних рішень (алгоритмів оптимізації, GPS-контролю) та організаційних заходів (навчання, мотивація) дає найкращі результати.

2.11. Аналіз чутливості до зміни ціни пального

Одним із ключових факторів, що впливають на економічну ефективність маршрутів доставки, є ціна пального. Зростання вартості пального робить транспортну складову витрат більш значущою, а отже, підвищує цінність оптимізації маршрутів. Для оцінки чутливості результатів оптимізації до зміни ціни пального можна розглянути кілька сценаріїв.

Припустимо, що:

- базова ціна 1 л пального – 60 грн;
- альтернативні сценарії: 50 грн/л (зменшення на 17 %), 80 грн/л (зростання на 33 %).

Щоденна економія на пальному при цих сценаріях:

- при 50 грн/л: $\Delta Cf(50) = 3,4 \cdot 50 = 170$ грн;
- при 60 грн/л: $\Delta Cf(60) = 3,4 \cdot 60 = 204$ грн;
- при 80 грн/л: $\Delta Cf(80) = 3,4 \cdot 80 = 272$ грн.

Річна економія на пальному (250 днів):

- при 50 грн/л: $Ef(50) = 170 \cdot 250 = 42\,500$ грн;
- при 60 грн/л: $Ef(60) = 204 \cdot 250 = 51\,000$ грн;
- при 80 грн/л: $Ef(80) = 272 \cdot 250 = 68\,000$ грн.

Як видно, за зростання ціни пального економічний ефект від скорочення пробігу зростає. Це узгоджується з практикою логістичної галузі, де аналіз чутливості до цін на пальне є стандартною процедурою при оцінюванні стійкості транспортних рішень. Для поштового оператора це означає, що впровадження оптимізованих маршрутів є особливо актуальним у періоди високих цін на паливо.

2.12. Аналіз чутливості до зміни обсягу навантаження на маршрут

Другим важливим фактором є зміна обсягу навантаження на маршрут – кількості відправлень та кількості зупинок. Якщо кількість відправлень збільшується, то зростає загальний обсяг роботи листоноші, але при оптимізованому маршруті середні витрати на одне відправлення можуть залишатися на прийнятному рівні .

Розглянемо два сценарії:

– Scenario 1: збільшення кількості відправлень до 260 на добу (замість 220);

– Scenario 2: зменшення до 180 на добу.

Умовна собівартість до оптимізації (1,00) і після оптимізації (0,80) у розрахунку на одну доставку зберігається, але змінюється загальний ефект:

Scenario 1 (260 відправлень):

$$\Delta C_{\text{од,день}}(260) = 0,20 \cdot 260 = 52 \text{ умовні одиниці.}$$

Scenario 2 (180 відправлень):

$$\Delta C_{\text{од,день}}(180) = 0,20 \cdot 180 = 36 \text{ умовних одиниць.}$$

За збільшення обсягу відправлень економічний ефект від оптимізації зростає, оскільки на кожну додаткову доставку поширюється вже оптимізований маршрут. Навіть у разі зменшення обсягу навантаження оптимізація маршруту залишається доцільною, оскільки дозволяє утримувати собівартість на нижчому рівні порівняно з вихідним варіантом.

2.13. Висновки до розділу 2

У розділі 2 розроблено математичну модель оптимізації сільського маршруту доставки поштових відправлень у Тернопільському районі на основі

задачі маршрутизації транспортних засобів та методу заощаджень Кларка – Райта. Показано, що навіть у спрощеному однодеповому варіанті з одним транспортним засобом цей підхід дозволяє суттєво скоротити загальну довжину маршруту.

Реалізована модель поєднує формальний опис VRP із практичною евристикою, що забезпечує збалансоване співвідношення між теоретичною обґрунтованістю та прикладною застосовністю. На прикладі одного маршруту продемонстровано, що скорочення пробігу на 20 % супроводжується подібним скороченням часу в дорозі, витрат пального та умовної собівартості доставки одного відправлення без зменшення обсягу обслуговування.

Отримані результати підтверджують доцільність впровадження евристичних методів оптимізації маршрутів у практику поштового оператора, зокрема для сільських територій із низькою щільністю адресатів. У наступних розділах доцільно розширити модель, врахувавши обмеження на місткість транспортних засобів, часові вікна для доставки та можливість використання мультидепової структури для всього Тернопільського району.

Здійснено економічне обґрунтування оптимізації сільського маршруту доставки в Тернопільському районі, розроблено план практичного впровадження та проведено аналіз чутливості до ключових факторів. Показано, що зменшення довжини маршруту на 20 % забезпечує суттєве скорочення витрат на пальне та оплату праці, а також зниження умовної собівартості доставки одного відправлення.

Розрахунки свідчать, що для одного маршруту річна економія може становити десятки тисяч гривень, а за поширення оптимізованих маршрутів на кілька напрямів Тернопільського району – сотні тисяч гривень. Це узгоджується з результатами зарубіжних досліджень, де оптимізація транспортної мережі поштових операторів призводила до значного скорочення пробігу, витрат пального та контрактних витрат .

Аналіз чутливості показав, що економічний ефект від оптимізації маршрутів зростає зі збільшенням ціни пального та обсягу навантаження на маршрут. Це підтверджує стратегічну доцільність впровадження маршрутної оптимізації у поштовій сфері, особливо в умовах нестабільних ринків енергоносіїв і зростання попиту на послуги доставки.

Отже, оптимізований маршрут, розроблений у розділі 2, має не лише математичне, а й економічне обґрунтування для впровадження у виробничу практику поштового оператора в Тернопільському районі. У подальшому доцільно розширити аналіз на інші маршрути, врахувати додаткові фактори (часові вікна, місткість транспортних засобів, мультидепову структуру) та оцінити можливості інтеграції цифрових інструментів маршрутизації у повсякденну діяльність підприємства .

РОЗДІЛ 3. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

3.1. Загальні вимоги охорони праці в поштовій галузі

Діяльність поштових операторів належить до видів робіт із підвищеним рівнем ризику, оскільки поєднує транспортні операції, ручне переміщення вантажів, роботу на відкритому повітрі та контакт із клієнтами. Відповідно до чинного законодавства та галузевих нормативів роботодавця зобов'язаний забезпечити працівникам безпечні та здорові умови праці, організувати навчання з питань охорони праці, проводити інструктажі та медичні огляди, а також забезпечити засобами індивідуального захисту .

Особливу увагу в поштовій галузі приділяють управлінню дорожніми ризиками, оскільки значна частина виробничого часу листонош і водіїв проходить у русі. У випадку «Укрпошти» питання управління ризиками на дорогах розглядається як важливий елемент підвищення ефективності та безпеки операцій, зокрема через впровадження систем управління дорожньою безпекою, аналіз аварійності та навчання водіїв безпечному стилю керування . Це повною мірою стосується і Тернопільського району, де значна частина маршрутів проходить дорогами різних категорій і якості.

Важливим елементом системи охорони праці є створення та підтримання функціонування служби охорони праці на підприємстві, яка відповідає за розроблення внутрішніх нормативних документів, проведення внутрішніх аудитів, розслідування нещасних випадків та впровадження коригувальних заходів. У поштових операторів така служба взаємодіє з підрозділами логістики, експлуатації транспорту та кадровими службами для забезпечення комплексного підходу до безпеки праці.

Загальні вимоги охорони праці включають також забезпечення інформованості працівників про потенційні небезпеки, що реалізується через систематичні інструктажі, надання інформаційних матеріалів, проведення тематичних занять і тренінгів. Для працівників, що виконують доставку на «останній милі», особливо важливо формувати навички самостійної оцінки ризиків на маршруті та прийняття безпечних рішень у нестандартних ситуаціях.

3.2. Ідентифікація небезпек та ризиків для листоноші на сільському маршруті

Для листонош та водіїв, які працюють на «останній милі» в сільській місцевості, характерний широкий спектр небезпек. До основних груп ризиків належать:

- дорожньо-транспортні ризики (рух по дорогах із різним покриттям, обмежена видимість, погодні умови);
- ергономічні та опорно-рухові ризики (повторювані нахили, перенесення посилок, тривале перебування у статичних позах);
- ризики падінь і травм (слизькі поверхні, нерівний рельєф, погодні фактори);
- психофізіологічні фактори (монотонність, стрес, перевтома).

Дослідження, присвячені ергономіці роботи поштових працівників, підкреслюють, що листоноші є однією з груп підвищеного ризику щодо розвитку м'язово-скелетних розладів через поєднання статичного сидіння в транспорті, багаторазових виходів із транспортного засобу та ручного переміщення вантажів. Неправильна організація навантаження, невідповідні транспортні засоби та відсутність ергономічних навичок значно підвищують імовірність травм спини, плечей, колін.

У сільських умовах Тернопільського району додатковим чинником є стан дорожнього покриття та погодні умови. Узимку та в міжсезоння ризик ковзання, падінь та втрати керування транспортним засобом зростає. Крім того, маршрути можуть проходити через ділянки з обмеженою видимістю, відсутністю тротуарів і дорожньої розмітки, що збільшує ризик наїзду транспортних засобів у зоні доставки.

Окрему групу становлять ризики, пов'язані з контактами з тваринами (наприклад, агресивні собаки), доступом до приватних домоволодінь, роботою на подвір'ях і сходах. У таких випадках важливо забезпечити працівників інструкціями щодо безпечної поведінки, а також у разі потреби – засобами захисту (свистки, спреї, засоби зв'язку для виклику допомоги).

3.3. Організаційні заходи з охорони праці при впровадженні оптимізованих маршрутів

Оптимізація маршрутів, описана в розділах 3–4, безпосередньо впливає на умови праці листонош, оскільки змінює структуру робочого дня, послідовність зупинок і час перебування в дорозі. Для забезпечення належного рівня безпеки впровадження оптимізованих маршрутів має супроводжуватися комплексом організаційних заходів:

- оновлення інструкцій з охорони праці та безпеки руху для листонош і водіїв;
- проведення цільових інструктажів перед запуском нових маршрутів;
- включення питань ергономіки та безпечного поведіння на дорозі до програм навчання;
- розроблення стандартних операційних процедур для типових ситуацій (ковзкі поверхні, погана видимість, перевезення важких посилок).

Міжнародні рекомендації щодо безпеки кур'єрів та працівників останньої милі наголошують на важливості навчання працівників навичкам оцінки ризиків у реальному часі: від вибору безпечного місця зупинки транспортного засобу до використання візків для перевезення важких посилок та дотримання правил переходу доріг . Для Тернопільського району такі підходи можуть бути адаптовані через проведення регулярних тренінгів та розроблення наочних пам'яток.

Важливо також забезпечити зворотний зв'язок від працівників, які виконують доставку. Практика показує, що саме листоноші та водії найкраще знають конкретні небезпечні ділянки маршрутів, проблемні перехрестя, місця з поганим покриттям або поганою видимістю. Включення їхніх пропозицій у процес коригування маршрутів і заходів безпеки дозволяє підвищити реалістичність та ефективність системи охорони праці.

3.4. Ергономічні аспекти та профілактика професійних захворювань

Ергономіка робочого місця листоноші є ключовим фактором профілактики м'язово-скелетних розладів, які є одними з найпоширеніших професійних проблем серед працівників доставки . Досвід скандинавських поштових операторів показує, що використання транспортних засобів з поліпшеними ергономічними характеристиками (зручна посадка, оптимальні висоти завантаження, легкий доступ до вантажу) дозволяє зменшити рівень захворюваності та скоротити кількість днів непрацездатності .

Основні ергономічні принципи, релевантні для листонош Тернопільського району, включають:

- мінімізацію зайвих нахилів, поворотів корпусу та підйому вантажів з низького рівня;

– використання візків, сумок із рівномірним розподілом ваги, засобів для транспортного переміщення важких посилок;

– правильну організацію робочого місця в транспортному засобі – розміщення посилок у зоні досяжності, уникнення перенавантаження рук і плечей;

– регулярні перерви та прості вправи на розтягування під час робочого дня.

Рекомендації дослідницьких організацій у сфері охорони праці підкреслюють, що планування робочого процесу з урахуванням ергономіки (зменшення непотрібних згинань, поворотів, перенесень) є одним із найефективніших способів зменшення ризику м'язово-скелетних розладів . У контексті оптимізованих маршрутів це означає, що не лише схема руху, а й організація роботи з вантажем повинні бути адаптовані до вимог ергономіки.

3.5. Забезпечення дорожньої безпеки при виконанні маршрутів доставки

Дорожня безпека є критичним аспектом охорони праці для працівників, які виконують доставку на «останній милі». Оптимізовані маршрути зменшують загальну довжину поїздки, але не усувають потреби в дотриманні правил дорожнього руху та управлінні ризиками . Для листонош і водіїв Тернопільського району особливо актуальними є такі заходи:

– дотримання обмежень швидкості, особливо на сільських дорогах із нерівним покриттям;

– вибір безпечних місць для зупинки транспортного засобу (поза проїзною частиною, з достатньою видимістю);

– використання ременів безпеки, навіть на коротких відрізках;

– уникнення використання мобільних пристроїв під час руху;

– застосування світловідбивних елементів одягу при роботі в темний час доби.

Навчальні матеріали з безпеки для працівників останньої милі акцентують увагу на постійному скануванні оточення, виборі безпечних траєкторій руху, використанні візків для перевезення важких вантажів та дотриманні процедур входу до будівель і користування ліфтами . У Тернопільському районі, де частина маршрутів проходить через ділянки без тротуарів і з обмеженою інфраструктурою, ці рекомендації мають особливе значення.

Додатково слід враховувати специфіку руху в зимовий період: необхідність використання зимової гуми, адаптації швидкісного режиму, дотримання збільшеної дистанції, а також коригування графіків доставки з урахуванням погодних умов. Це є частиною загальної системи управління дорожніми ризиками, яку рекомендують міжнародні фінансові та експертні організації для поштових операторів.

3.6. Пожежна безпека, цивільний захист та дії в разі надзвичайних ситуацій

Пожежна безпека в контексті організації доставки на «останній милі» охоплює:

– забезпечення пожежної безпеки транспортних засобів (наявність вогнегасників, справність електропроводки, відсутність витоків пального);

– дотримання правил пожежної безпеки у відділеннях та опорних пунктах (вільні евакуаційні виходи, справність сигналізації, доступ до засобів пожежогасіння);

– навчання персоналу діям у разі пожежі чи інших надзвичайних ситуацій.

Додатковим виміром безпеки для українських поштових операторів є ризики, пов'язані з воєнними діями та обстрілами цивільної інфраструктури, включно з поштовими об'єктами. У таких умовах важливо мати:

- інструкції щодо дій під час повітряної тривоги (переривання доставки, переміщення до укриття, захист кореспонденції);
- плани евакуації для відділень та складських приміщень;
- узгоджені з місцевими органами влади заходи щодо забезпечення безпеки персоналу та клієнтів.

У Тернопільському районі, як і загалом у центральних регіонах України, ризик прямого ураження менший, ніж у прифронтових областях, однак загальні вимоги цивільного захисту залишаються обов'язковими. Це включає регулярні тренування, оновлення планів дій у надзвичайних ситуаціях і контроль за станом протипожежних систем.

3.7. Екологічна безпека та енергоефективність у системі доставки

Окремим аспектом безпеки життєдіяльності є вплив діяльності поштових операторів на довкілля. Транспортні операції на «останній милі» спричиняють викиди парникових газів, шумове забруднення та зношування дорожньої інфраструктури. Міжнародні організації, що аналізують стан поштового сектору, підкреслюють необхідність переходу до більш екологічно сталих моделей доставки, зокрема через використання енергоефективних транспортних засобів, оптимізацію маршрутів та впровадження мультимодальних рішень.

Для Тернопільського району впровадження оптимізованих маршрутів уже саме по собі сприяє зменшенню загальної довжини поїздок, а отже, скороченню викидів. Додатковими заходами можуть бути поступове впровадження легких електротранспортних засобів на окремих маршрутах, використання велосипедів

або електровелосипедів у міських і приміських зонах, а також планування доставок із врахуванням можливості консолідації відправлень.

Заходи з енергоефективності включають також навчання персоналу принципам економного керування (eco-driving), контроль за технічним станом транспортних засобів, своєчасне технічне обслуговування та використання шин, що відповідають сезону й умовам експлуатації. У сукупності ці заходи не лише зменшують вплив на довкілля, а й сприяють додатковому скороченню витрат пального та підвищенню безпеки руху.

Таблиця 3.1 – Основні небезпеки на сільському маршруті доставки

Показник	Небезпека	Джерело	Ймовірність	Наслідки	Рівень ризику	Заходи
1. Дорожньо-транспортна пригода	Рух на вузьких дорогах	Обмежена видимість	Висока	Тяжкі травми	Високий	Обмеження швидкості, навчання, маркування маршруту
2. Падіння на льоду	Слизькі тротуари, двори	Зимові умови	Середня	Переломи	Середній	Протиковзень, посипання, корекція маршруту
3. Травма спини при підйомі посилок	Ручне переміщення вантажів	Важкі посилки	Висока	Хронічні болі	Високий	Ергономічні навички, візки, обмеження ваги

4. Напад тварин	Агресивні собаки	Приватні домоволодіння	Середня	Укуси, травми	Середній	Інструктаж, засоби відлякування, зв'язок
5. Пожежа в транспортному засобі	Технічна несправність	Електропроводка, паливо	Низька	Опіки, збитки	Середній	ТО, контроль, вогнегасник

Таблиця 3.2 – Оцінка рівня ризику до та після впровадження заходів

Небезпека	Р до	S до	R до	Р після	S після	R після
ДТП на сільській дорозі	4	5	20	3	5	15
Падіння на льоду	3	3	9	2	3	6
Травма спини	4	4	16	3	4	12
Напад тварин	3	3	9	2	3	6
Пожежа в авто	2	4	8	1	4	4

Примітка: Р – ймовірність (1–5), S – тяжкість наслідків (1–5), R = P·S – інтегральний рівень ризику.

Таблиця 3.3 – Комплект засобів індивідуального захисту для листоноші сільського маршруту

Елемент ЗІЗ	Призначення	Особливості
Сигнальний жилет	Видимість на дорозі	Світловідбивні елементи
Спецодяг сезонний	Захист від холоду/дощу	Зимовий та демісезонний комплект
Взуття з протиковзною підошвою	Профілактика падінь	Підошва з протиковзним протектором
Рукавиці захисні	Захист рук	Для роботи з посылками та взимку
Каска/шолом (за потреби)	Захист голови	На маршрутах із підвищеним ризиком
Свисток, засіб відлякування	Захист від тварин	Для сільських маршрутів
Мобільний телефон/рація	Засіб зв'язку	Виклик допомоги, координація

3.9. Регламент праці та відпочинку листоноші, оцінка перевтоми

Регламент праці та відпочинку є важливим інструментом профілактики перевтоми, яка негативно впливає як на безпеку, так і на якість виконання службових обов'язків. Для листонош, що працюють на сільських маршрутах Тернопільського району, тривалість робочого дня пов'язана з протяжністю маршруту, кількістю зупинок і обсягом навантаження. Оптимізація маршруту, що скоротила час у дорозі з 5,5 до 4,4 год, дозволяє зменшити тривалість безперервної роботи в умовах підвищеного ризику та створює можливість для більш раціонального планування перерв.

У практиці охорони праці рекомендується встановлювати регламент перерв для працівників, зайнятих на роботах, пов'язаних із підвищеною концентрацією уваги та фізичним навантаженням. Наприклад, після кожних 2 год безперервної роботи доцільно передбачати перерву тривалістю 10–15 хв для відпочинку, виконання розминки та оцінки поточних умов на маршруті. За наявності тривалих ділянок руху за кермом важливо обмежувати максимальну тривалість безперервного перебування за кермом, щоб запобігти зниженню уваги.

Оптимізація маршрутів дозволяє не лише скоротити загальну тривалість поїздки, а й краще структурувати робочий час. Наприклад, маршрут може бути поділений на кілька логічних відрізків, між якими плануються короткі перерви в безпечних місцях (опорні пункти, відділення, зони відпочинку). Це знижує ризик перевтоми та пов'язаних із нею помилок, таких як порушення правил дорожнього руху, неправильне поводження з вантажем або ігнорування небезпек.

Додатково слід враховувати індивідуальні особливості працівників, зокрема стан здоров'я, вік, досвід роботи. У разі виявлення ознак перевтоми, підвищеної нервово-психічної напруги або стресу роботодавець повинен передбачати можливість коригування графіка роботи, тимчасового переведення на менш навантажені маршрути або надання додаткових днів відпочинку. Такий підхід відповідає сучасним практикам управління охороною праці та сприяє зниженню рівня травматизму й плинності кадрів.

Таким чином, регламент праці та відпочинку має розглядатися як невід'ємна частина системи безпеки праці для листонош Тернопільського району. У поєднанні з оптимізацією маршрутів, ергономічними заходами та навчанням це дозволяє забезпечити не лише економічну ефективність, а й високий рівень захисту здоров'я працівників.

3.8. Висновки до розділу 3

У розділі 3 розглянуто питання охорони праці та безпеки життєдіяльності в контексті організації доставки на «останній милі» у Тернопільському районі. Визначено основні групи ризиків, притаманних роботі листонош і водіїв у сільській місцевості, та окреслено організаційні, ергономічні й технічні заходи щодо їх мінімізації .

Показано, що оптимізація маршрутів не лише знижує витрати, а й може позитивно впливати на безпеку праці за умови правильної інтеграції в систему управління охороною праці. Скорочення пробігу та часу в дорозі зменшує тривалість перебування працівників у потенційно небезпечних умовах, але вимагає підвищеної уваги до навчання, інструктажів і контролю дотримання правил безпеки .

Особливу увагу приділено ергономіці та профілактиці м'язово-скелетних розладів, які є однією з головних загроз здоров'ю працівників доставки. Запропоновані заходи охоплюють як вибір відповідних транспортних засобів і обладнання, так і організацію робочого процесу та навчання персоналу .

Розглянуто також питання дорожньої безпеки, пожежної безпеки та цивільного захисту, що набувають особливого значення в умовах воєнних ризиків та нестабільного стану інфраструктури . Показано, що ефективна система охорони праці має включати заходи як на рівні підприємства (служба охорони праці, політики, процедури), так і на рівні конкретного маршруту та робочого місця.

Таким чином, система охорони праці для досліджуваного об'єкта повинна розглядатися як невід'ємна частина загальної концепції оптимізації доставки на «останній милі». Тільки поєднання економічної ефективності, високого рівня безпеки та екологічної відповідальності дозволяє забезпечити стійкий розвиток

поштового оператора та належну якість обслуговування населення Тернопільського району.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі вирішено актуальне науково-прикладне завдання удосконалення транспортного процесу доставки поштових відправлень на «останній милі» для сільських територій на прикладі Тернопільського району. Актуальність дослідження підтверджується зростанням ролі last-mile delivery у структурі поштово-логістичних послуг, розвитком електронної комерції та високою витратністю доставки в низькощільних сільських зонах.

У ході дослідження встановлено, що Тернопільський район має складну просторову структуру, яка поєднує міське ядро, 25 територіальних громад і 492 населені пункти, що формує нерівномірні умови поштового обслуговування та підвищені вимоги до організації маршрутів доставки. Показано, що транспортна інфраструктура району створює як можливості для функціонування поштової мережі, так і суттєві обмеження, пов'язані з різною якістю місцевих доріг, сезонними коливаннями проїзності та значними міжпунктовими відстанями.

На основі аналізу сучасних наукових джерел, практики поштових операторів та функціонально-технологічної моделі поштового обслуговування обґрунтовано доцільність використання задачі маршрутизації транспортних засобів (Vehicle Routing Problem, VRP) як методологічної основи для оптимізації доставки на «останній милі». Встановлено, що для умов сільської поштової логістики найбільш придатним є евристичний підхід, зокрема метод заощаджень Кларка – Райта, який дозволяє отримувати практично придатні рішення без надмірної обчислювальної складності.

У роботі розроблено математичну модель оптимізації типового сільського маршруту Тернопільського району, побудовану на однодеповій VRP-постановці з мінімізацією сумарної довжини маршруту. Для умовного маршруту з п'ятьма пунктами доставки виконано покроковий розрахунок за методом Кларка – Райта, у результаті чого сформовано оптимізований маршрут, що дозволив

скоротити загальну довжину руху з 85 до 68 км, тобто приблизно на 20 %. Одночасно було зменшено час у дорозі з 5,5 до 4,4 год, витрати пального з 17 до 13,6 л, а також умовну собівартість одного відправлення на 20 % за незмінної кількості зупинок і доставлених відправлень.

Економічне обґрунтування запропонованих заходів показало, що оптимізація навіть одного маршруту забезпечує відчутний фінансовий ефект за рахунок скорочення витрат на пальне та робочий час персоналу. Масштабування результатів на групу подібних маршрутів свідчить про потенційну економію на рівні району, що підтверджує практичну доцільність впровадження розробленого підходу в діяльність поштового оператора.

Проведений аналіз чутливості продемонстрував, що економічний ефект від оптимізації маршрутів зростає зі збільшенням ціни пального та обсягу навантаження на маршрут. Це означає, що запропоновані рішення є особливо актуальними в умовах нестабільності паливного ринку та зростання попиту на доставку, а також можуть використовуватися як інструмент підвищення стійкості логістичної системи.

Окрему увагу в роботі приділено питанням охорони праці та безпеки життєдіяльності при організації доставки на «останній милі». Обґрунтовано комплекс організаційних, технічних, ергономічних і профілактичних заходів, що дає змогу поєднати економічну ефективність оптимізованих маршрутів із належним рівнем безпеки праці.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що розроблені підходи можуть бути використані при плануванні та перегляді поштових маршрутів у Тернопільському районі та в інших районах зі схожою просторово-транспортною структурою. Запропонована модель може впроваджуватися поступово – спершу на пілотних маршрутах, а надалі на рівні мережі відділень і логістичних підрозділів.

Отже, поставлену мету роботи досягнуто, а завдання виконано в повному обсязі. Результати дослідження підтверджують, що поєднання просторового аналізу, математичного моделювання, економічного оцінювання та заходів з охорони праці є ефективною основою для удосконалення транспортного процесу доставки поштових відправлень на «останній милі» в умовах Тернопільського району.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Blagojević, M., Ralević, P., Šarac, D., & Dobrodolac, M. (2023). Flexible last-mile delivery models: Assessment of alternatives for postal companies. *Promet – Traffic & Transportation*, 35(5), 668–684. <https://doi.org/10.7307/ptt.v35i5.292>
2. Blagojević, M., Ralević, P., Šarac, D., & Dobrodolac, M. (2023). Flexible last-mile delivery models: Assessment of alternatives for postal companies. *Promet – Traffic & Transportation*, 35(5), 668–684. <https://doi.org/10.7307/ptt.v35i5.292>
3. Clarke, G., & Wright, J. W. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations Research*, 12(4), 568–581. <https://doi.org/10.1287/opre.12.4.568>
4. Clarke, G., & Wright, J. W. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations Research*, 12(4), 568–581. <https://doi.org/10.1287/opre.12.4.568>
5. Deutsche Post DHL Group. (2024). Annual Report 2024. Bonn: Deutsche Post DHL.
6. Dzyura, V., Vovk, Y., Babii, M., Matviyishyn, A., & Plekan, U. (2024). Peculiarities of Regulating the Movement of Vehicles on Specific Sections of the Street and Road Network of Cities with Heavy Traffic Flow. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки: Central Ukrainian National Technical University*, 1(10), 300-305.
7. European Bank for Reconstruction and Development (EBRD). (2024). Ukrposhta Logistics Development Project (Project ID 51975). London: EBRD. Retrieved from <https://www.ebrd.com>
8. European Bank for Reconstruction and Development. (2024). Ukrposhta logistics development project (Project ID 51975). <https://www.ebrd.com>

9. European Commission (EC). (2018). Study on the evolution of the e-commerce sector and its effect on postal operations. Brussels: EC DG GROW.
10. Gruber, J., Narayanan, S., & Thoma, T. (2024). Cargo bicycle competitiveness in urban deliveries: A scoping review. *Transportation Research Record*, 2678(9), 34–52. <https://doi.org/10.1177/03611981241245676>
11. Gruber, J., Narayanan, S., & Thoma, T. (2024). Cargo bicycle competitiveness in urban deliveries: A scoping review. *Transportation Research Record*, 2678(9), 34–<https://doi.org/10.1177/03611981241245676>
12. Interfax-Ukraine. (2024a). Ukrposhta announces tender for 1,745 electric cargo tricycles (October 2024). Kyiv: Interfax.
13. Interfax-Ukraine. (2024b). Ukrposhta announces tender for 880 e-bikes (November 2024). Kyiv: Interfax.
14. Interfax-Ukraine. (2025). Ukrposhta completes automation with capacity of 2 million parcels per day. <https://interfax.com.ua>
15. Interfax-Ukraine. (2025a). Nova Poshta service points exceed 37,0Kyiv: Interfax.
16. Interfax-Ukraine. (2025b). Ukrposhta completes automation: 2 million parcels per day at 5 parcels per second. Kyiv: Interfax.
17. Interfax-Ukraine. (2026). Ukrposhta Q4 2025 results: Net profit +69.2% to UAH 257.9 million. Kyiv: Interfax.
18. International Post Corporation (IPC). (2025). Global e-commerce parcel volumes and market overview 20Brussels: IPC.
19. Kuula, T. (2023). Development of pre-delivery process in postal service: Posti Oyj case [Master's thesis, Aalto University]. <https://aaltodoc.aalto.fi>
20. Kuula, T. (2023). Development of pre-delivery process in postal service [Master's thesis, Aalto University]. Posti Oyj Case. Retrieved from <https://aaltodoc.aalto.fi>

21. La Poste Groupe. (2024). RE>SOURCES 2030 sustainability programme. Paris: La Poste.
22. Martínez-Salazar, I. A., Molina, J., Ángel-Bello, F., Gómez, T., & Caballero, R. (2014). Solving a real-world distribution problem using a savings based algorithm. *Journal of Applied Research and Technology*, 12(5), 1005–1010. [https://doi.org/10.1016/S1665-6423\(14\)71664-6](https://doi.org/10.1016/S1665-6423(14)71664-6)
23. Mathew, S., Viswanath, A., & Krishnamurthy, K. (2022). Vehicle routing with time windows: A case of last-mile delivery. *Procedia Computer Science*, 215, 2024–2031. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.012>
24. Mathew, S., Viswanath, A., & Krishnamurthy, K. (2022). Vehicle routing with time windows: A case of last-mile delivery. *Procedia Computer Science*, 215, 2024–20. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.012>
25. Nicro Innovation Concept Review. (2023). Last-mile delivery with electric cargo bikes in rural areas. PostNord/Nicro.
26. Nicro Innovation Concept Review. (2023). Last-mile delivery with electric cargo bikes in rural areas. Stockholm: PostNord / Nicro.
27. Nova Poshta. (2025). Annual logistics results 2024: 480 million parcels. Kyiv: Nova Poshta. Retrieved from <https://novaposhta.ua>
28. OpenDataBot. (2026). АТ «Укрпошта» — фінансова звітність та дані про персонал. Retrieved from <https://opendatabot.ua>
29. Orca, A., Sarkis, J., & Zhu, Q. (2025). Parcel delivery chain optimisation: Systematic review. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2025.011177>
30. Orca, A., Sarkis, J., & Zhu, Q. (2025). Parcel delivery chain optimisation: Systematic review. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2025.011177>
31. Rand, G. K. (2009). The life and times of the savings method for vehicle routing problems. *ORiON*, 25(2), 125–145.

- 32.Rand, G. K. (2009). The life and times of the savings method for vehicle routing problems. *ORiON*, 25(2), 125–145.
- 33.SmartRoutes. (2026). Last-mile delivery statistics and trends 2026. <https://www.smartroutes.io/blogs/last-mile-delivery-statistics>
- 34.SmartRoutes. (2026). Last-mile delivery statistics and trends 2026. Dublin: SmartRoutes. Retrieved from <https://www.smartroutes.io/blogs/last-mile-delivery-statistics>
- 35.ts2.tech. (2025). Ukraine e-commerce market 2024: Data and trends. Kyiv: ts2.tech. Retrieved from <https://ts2.tech>
- 36.Ukrposhta. (2021). New Boryspil logistics centre. Kyiv: Ukrposhta. Retrieved from <https://www.ukrposhta.ua/ua>
- 37.Ukrposhta. (2024). Management report 2024. <https://www.ukrposhta.ua>
- 38.Ukrposhta. (2025a). EBRD project: 31 modular post offices. Kyiv: Ukrposhta. Retrieved from <https://www.ukrposhta.ua>
- 39.Universal Postal Union (UPU). (2024). State of the Postal Sector 2024. Berne: UPU. Retrieved from <https://www.upu.int>
- 40.Universal Postal Union (UPU). (2025). Annual monitoring 2024: Delivery quality indicators. Berne: UPU.
- 41.Universal Postal Union. (2024). State of the postal sector 2024. <https://www.upu.int>
- 42.Urząd Komunikacji Elektronicznej (UKE). (2025). Rynek pocztowy w Polsce w 2024 r. Warszawa: UKE.
- 43.Vovk, Y., Aulin, V., Vovk, I., Romaniuk, S., Syhlovyyi, M., Vovk, O., ... & Zabytivskyi, V. (2025). Electric vehicle charging infrastructure optimization on international transport corridors: Economic analysis and EU regulatory alignment in Ukraine. *Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics*, 10(2), 6-28.

44. World Economic Forum (WEF). (2024). Future of the last-mile ecosystem. Geneva: WEF.
45. АТ «Укрпошта». (2020). Annual Report 2020. Kyiv: Ukrposhta. Retrieved from <https://www.ukrposhta.ua/ua>
46. АТ «Укрпошта». (2022). Financial Statements 2022 (IFRS). Kyiv: Ukrposhta.
47. АТ «Укрпошта». (2023). Management Report 2023. Kyiv: Ukrposhta.
48. АТ «Укрпошта». (2024a). Management Report 2024. Kyiv: Ukrposhta.
49. АТ «Укрпошта». (2024b). Tender documentation EBRD Project ID 51975: Technical requirements for electric cargo tricycles. Kyiv: Ukrposhta.
50. Аулін, В. В., Гриньків, А. В., Вовк, Ю. Я., & Плекан, У. М. (2025). Методика оцінки показників системи управління логістичними транспортними потоками підприємства. *Збірник матеріалів*, 252.
51. Аулін, В. В., Ляшук, О. Л., Цьонь, О. П., & Гудь, В. З. (2025). Кластерний підхід до моделювання регіональної транспортно-логістичної системи з участю логістичного центру. *Збірник матеріалів*, 161.
52. Вовк І. П. Цифровізація та стійкість ланцюгів постачання в умовах глобальної нестабільності: поєднання підходів проєктного аналізу та управління ланцюгами постачання / Ірина Петрівна Вовк, Анатолій Йосипович Матвіїшин, Юрій Ярославович Вовк // Матеріали МНТК „Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій“, 28-29 травня 2025 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2025. — С. 184–186.
53. Оцінка життєвого циклу зарядної інфраструктури для електромобілів: проєктний аналіз розвитку мережі на магістралі М-06 / Ю. Я. Вовк, Б. В. Голубіцький, О. Ю. Вовк [та ін.] // Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем : збірник тез VI Всеукраїнської науково-технічної інтернет-конференції (м. Рівне, 27–28 листопада 2025 р.). — Рівне : НУВГП, 2025. — С. 185-188.

- 54.Рожко, Н. Я., Вовк, Ю. Я., & Рожко, С. С. (2025). Формування симбіозу ринку транспортних послуг та інноваційної діяльності на транспорті. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*, (11(42).1), 294–300. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11\(42\).1.294-300](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).1.294-300)
- 55.Рожко, Н. Я., Ляшук, О. Л., Вовк, Ю. Я., Плекан, У. М., & Цьонь, О. П. (2026). Інтеграція стандартизованої складської логістики в Україні в умовах структурного і когнітивного розвитку. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*, (13(44)), 462–472. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2026.13\(44\).462-472](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2026.13(44).462-472)
- 56.Тернопільська обласна військова адміністрація (ТО ВА). (2024). Характеристика Тернопільського регіону. Тернопіль: ТО ВА.
- 57.Укравтодор. (2023). Протяжність мережі автомобільних доріг Тернопільської області. Київ: Укравтодор.

ДОДАТКИ

Додаток А.1 – Характеристика пунктів маршруту

Ця таблиця фіксує умовні позначення пунктів (А–Е), їхній тип та надходження відправлень (220 відправлень, 40 зупинок усього).

Таблиця А.1 – Основні характеристики пунктів доставки на сільському маршруті

Умовне позначення	Тип населеного пункту	Орієнтовна кількість зупинок, од.	Орієнтовна кількість відправлень, од.
Депот	Сільське поштове відділення (депо)	–	–
А	Село (центр старостинського округу)	8	40
В	Село	8	40
С	Село	8	40
Д	Село	8	40
Е	Село (кінцева ділянка маршруту)	8	60
Разом	–	40	220

Додаток А.2 – Відстані від депо до пунктів маршруту

Ця таблиця дублює числові значення з підрозділу 3.4: відстані від депо до кожного пункту (10, 14, 18, 20, 23 км).

Таблиця А.2 – Відстані від депо до пунктів маршруту

Пара пунктів	Відстань, км
Depot – А	10
Depot – В	14
Depot – С	18
Depot – D	20
Depot – E	23

Таблиця А.3 – Відстані між пунктами маршруту

Пара пунктів	Відстань, км
А – В	6
В – С	8
С – D	7
D – E	9
А – С	10
В – D	11
С – E	10

Таблиця А.4 – Матриця відстаней між депо та пунктами маршруту

	Depot	A	B	C	D	E
Depot	0	10	14	18	20	23
A	10	0	6	10	–	–
B	14	6	0	8	11	–
C	18	10	8	0	7	10
D	20	–	11	7	0	9
E	23	–	–	10	9	0

Наведені вихідні дані використані для побудови прикладного маршруту Depot – A – B – C – D – E – Depot, розрахунку заощаджень за методом Кларка – Райта та оцінювання ефективності доставки на «останній милі» в умовах Тернопільського району.

Додаток Б – Розрахунок заощаджень за методом Кларка – Райта

У цьому додатку наведено покроковий розрахунок заощаджень S_{ij} для пар пунктів А, В, С, D, Е на основі відстаней від депо та між пунктами, поданих у Додатку А. Розрахунок виконано за класичною формулою заощаджень Кларка – Райта $S_{ij} = d_{0i} + d_{0j} - d_{ij}$, де d_{0i} – відстань від депо до пункту і, d_{0j} – відстань від депо до пункту j, d_{ij} – відстань між пунктами і та j.

Таблиця Б.1 – Вихідні відстані для розрахунку S_{ij}

Величина	Значення, км
$d_{0A}(Depot - A)$	10
$d_{0B}(Depot - B)$	14
$d_{0C}(Depot - C)$	18
$d_{0D}(Depot - D)$	20
$d_{0E}(Depot - E)$	23
$d_{AB}(A - B)$	6
$d_{BC}(B - C)$	8
$d_{CD}(C - D)$	7
$d_{DE}(D - E)$	9
$d_{AC}(A - C)$	10
$d_{BD}(B - D)$	11
$d_{CE}(C - E)$	10

Таблиця Б.2 – Розрахунок заощаджень S_{ij} за методом Кларка – Райта

Пара пунктів (i, j)	d_{0i} , км	d_{0j} , км	d_{ij} , км	Розрахунок $S_{ij} = d_{0i} + d_{0j} - d_{ij}$	S_{ij} , км
A – B	10	14	6	S_{AB} $= 10 + 14 - 6$	18
B – C	14	18	8	S_{BC} $= 14 + 18 - 8$	24
C – D	18	20	7	S_{CD} $= 18 + 20 - 7$	31
D – E	20	23	9	S_{DE} $= 20 + 23 - 9$	34
A – C	10	18	10	S_{AC} $= 10 + 18 - 10$	18
B – D	14	20	11	S_{BD} $= 14 + 20 - 11$	23
C – E	18	23	10	S_{CE} $= 18 + 23 - 10$	31

Таблиця Б.3 – Список заощаджень S_{ij} , упорядкований за спаданням

№ за порядком	Пара пунктів (i, j)	S_{ij} , км
1	D – E	34
2	C – D	31
3	C – E	31
4	B – C	24
5	B – D	23
6	A – B	18
7	A – C	18

Розраховані заощадження S_{ij} використано для поетапного об'єднання окремих маршрутів Depot – i – Depot у єдиний маршрут відповідно до класичного алгоритму Кларка – Райта, адаптованого до умов сільської території Тернопільського району. На основі цих даних сформовано оптимізований маршрут.

Додаток В – Деталізований розрахунок показників ефективності доставки

У цьому додатку наведено детальний розрахунок показників ефективності доставки на «останній милі» для сільського маршруту Тернопільського району до та після оптимізації за методом заощаджень Кларка – Райта. Розрахунок базується на даних про довжину маршруту, час у дорозі, витрати пального та кількість доставлених відправлень.

Таблиця В.1 – Показники ефективності доставки до та після оптимізації маршруту

Показник	До оптимізації	Після оптимізації	Зміна, %
Загальна довжина маршруту, км	85	68	-20,0
Час у дорозі, год	5,5	4,4	-20,0
Кількість зупинок, од.	40	40	0,0
Кількість доставлених відправлень, од.	220	220	0,0
Середня довжина на 1 відправлення, км	0,386	0,309	-20,0
Витрати пального, л	17,0	13,6	-20,0
Умовна собівартість 1 відправлення	1,00	0,80	-20,0

Для оцінювання ефекту від оптимізації маршруту використано показник економії довжини маршруту E , який визначається як різниця між початковою довжиною $L1$ та довжиною оптимізованого маршруту $L2$: $E = L1 - L2$.

Таблиця В.2 – Розрахунок довжини маршруту та показника економії E

Показник	Позначення	Значення, км	Коментар
Початкова довжина маршруту	$L1$	85	Маршрут Depot – A – B – C – D – E – Depot
Довжина оптимізованого маршруту	$L2$	68	Маршрут Depot – A – C – E – D – B – Depot
Абсолютна економія довжини	$E = L1 - L2$	17	Скорочення пробігу завдяки оптимізації
Відносна економія довжини	$E\% = (E / L1) \cdot 100$	20,0	Скорочення довжини маршруту на 20 %

Скорочення довжини маршруту безпосередньо впливає на витрати пального та час у дорозі. За умови лінійної залежності витрат пального від пробігу зменшення довжини на 20 % призводить до аналогічного зниження витрат пального та часу в дорозі.

Таблиця В.3 – Розрахунок показників економії пального та часу

Показник	До оптимізації	Після оптимізації	Економія
Витрати пального, л	17,0	13,6	3,4 ($\approx 20\%$)
Час у дорозі, год	5,5	4,4	1,1 ($\approx 20\%$)

Для оцінювання економічного ефекту прийнято умовну собівартість однієї доставки до оптимізації на рівні 1,00 та після оптимізації – 0,80. Це відповідає зменшенню витрат на одну доставку на 20 % за незмінної кількості зупинок і доставлених відправлень (40 зупинок, 220 відправлень).

Таблиця В.4 – Умовна собівартість доставки одного відправлення

Показник	До оптимізації	Після оптимізації	Зміна, %
Умовна собівартість 1 відправлення	1,00	0,80	-20,0

Таким чином, оптимізація маршруту за методом Кларка – Райта дозволила скоротити довжину маршруту з 85 до 68 км, що супроводжується зменшенням часу в дорозі, витрат пального та умовної собівартості однієї доставки приблизно на 20 %. Отримані результати підтверджують доцільність використання математичних методів оптимізації маршрутів для підвищення ефективності доставки на «останній милі» в умовах сільських територій.

Додаток Г – Схеми маршрутів до та після оптимізації

У цьому додатку наведено схематичні зображення маршруту доставки поштових відправлень на «останній милі» для сільського маршруту Тернопільського району до та після оптимізації за методом заощаджень Кларка – Райта.

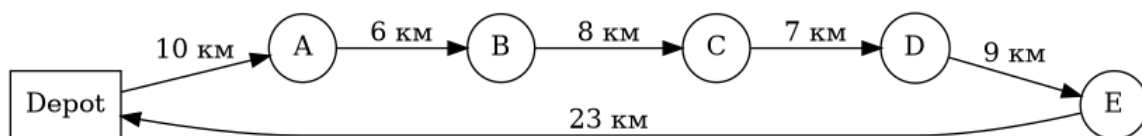


Схема Г.1 – Маршрут до оптимізації

Початковий маршрут має вигляд Depot – A – B – C – D – E – Depot і характеризується довжиною $L1 = 85$ км. Послідовність відвідування пунктів відповідає лінійному обходу населених пунктів без урахування можливих заощаджень від скорочення пробігу між окремими пунктами.

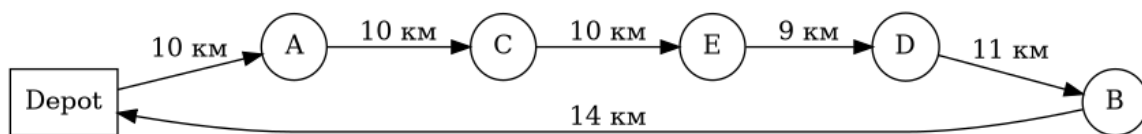


Схема Г.2 – Маршрут після оптимізації

Оптимізований маршрут, отриманий за методом заощаджень Кларка – Райта, має вигляд Depot – A – C – E – D – B – Depot і характеризується довжиною $L2 = 68$ км. Завдяки зміні послідовності відвідування пунктів вдалося

скоротити пробіг на 17 км (приблизно на 20 %), що призводить до зменшення часу в дорозі та витрат пального.

У текстовій частині роботи наведено докладний аналіз отриманого маршруту та обґрунтування вибору пар пунктів для об'єднання на основі максимальних значень заощаджень S_{ij} .

Додаток Д – Фрагмент програмної реалізації алгоритму оптимізації маршруту

У цьому додатку наведено приклад програмної реалізації алгоритму оптимізації маршруту доставки за методом заощаджень Кларка – Райта для сільського маршруту Тернопільського району. Реалізація виконана мовою Python і демонструє основні етапи обчислення заощаджень S_{ij} та побудови оптимізованого маршруту.

```
import math

# Вихідні дані: відстані від депо та між пунктами
d0 = {'A': 10, 'B': 14, 'C': 18, 'D': 20, 'E': 23}
d = {
    ('A', 'B'): 6, ('B', 'A'): 6,
    ('B', 'C'): 8, ('C', 'B'): 8,
    ('C', 'D'): 7, ('D', 'C'): 7,
    ('D', 'E'): 9, ('E', 'D'): 9,
    ('A', 'C'): 10, ('C', 'A'): 10,
    ('B', 'D'): 11, ('D', 'B'): 11,
    ('C', 'E'): 10, ('E', 'C'): 10
}

# Обчислення заощаджень S_ij
savings = []
nodes = ['A', 'B', 'C', 'D', 'E']
for i in nodes:
    for j in nodes:
        if i < j and (i, j) in d:
            sij = d0[i] + d0[j] - d[(i, j)]
            savings.append((i, j), sij))

# Сортування заощаджень за спаданням
savings.sort(key=lambda x: x[1], reverse=True)

# Виведення результатів
for (i, j), s in savings:
```

```
print('S_{0}{1} = {2}'.format(i, j, s))
```

Наведений фрагмент коду може бути використаний для перевірки отриманих вручну результатів та подальшого розширення моделі на більшу кількість пунктів доставки. Він ілюструє практичну реалізацію математичної моделі, описаної в основній частині роботи.

Додаток Е – Матеріали з охорони праці та безпеки під час доставки на «останній милі»

У цьому додатку наведено узагальнені матеріали з охорони праці та безпеки життєдіяльності, які доцільно враховувати під час організації доставки поштових відправлень на «останній милі» в умовах сільської місцевості Тернопільського району. Додаток доповнює відповідний підрозділ роботи та систематизує основні небезпечні чинники, профілактичні заходи й організаційні вимоги до персоналу.

Таблиця Е.1 – Основні небезпечні та шкідливі фактори при виконанні доставки

Фактор	Прояв під час доставки	Можливі наслідки
Несприятливі погодні умови	Ожеледиця, сніг, дощ, спека, туман	Падіння, ДТП, погіршення самопочуття працівника
Незадовільний стан дорожнього покриття	Ями, ґрунтові дороги, розмиті ділянки	Пошкодження транспорту, затримки, аварійні ситуації
Фізичне перевантаження	Перенесення поштових відправлень, тривала ходьба або керування	Втома, біль у спині, зниження працездатності
Психоемоційне напруження	Дефіцит часу, складні маршрути, відповідальність за збереження відправлень	Стрес, зниження уважності, імовірність помилок
Ризики дорожнього руху	Інтенсивний рух,	Травмування працівника,

	обмежена видимість, маневрування	дорожньо-транспортні пригоди
--	-------------------------------------	---------------------------------

Таблиця Е.2 – Заходи з охорони праці та профілактики ризиків

Напрямок заходів	Зміст заходу	Очікуваний результат
Організаційні заходи	Проведення інструктажів, планування безпечних графіків роботи, контроль режиму праці та відпочинку	Зниження організаційних помилок і перевтоми
Технічні заходи	Своєчасний технічний огляд транспорту, перевірка шин, гальм, освітлення, засобів зв'язку	Підвищення технічної надійності транспорту
Ергономічні заходи	Раціональне розміщення відправлень, обмеження ручного підймання вантажів, зручне спорядження	Зменшення фізичного навантаження на працівника
Індивідуальний захист	Використання сезонного спецодягу, світловідбивних елементів, водонепроникного взуття	Підвищення безпеки та захист від погодних чинників
Інформаційні заходи	Ознайомлення з маршрутом,	Зниження ризиків під час пересування маршрутом

	небезпечними ділянками та альтернативними напрямами об'їзду	
--	---	--

Перелік основних вимог до працівника під час виконання доставки:

- перед виїздом або виходом на маршрут перевірити справність транспорту, засобів зв'язку та наявність супровідної документації;
- дотримуватися затвердженого маршруту та правил дорожнього руху;
- не допускати перевищення фізично допустимого навантаження під час ручного перенесення відправлень;
- в умовах погіршення погоди або проїзності негайно інформувати керівника та коригувати маршрут згідно з інструкціями;
- використовувати світловідбивний одяг та інші засоби індивідуального захисту залежно від сезону.

Дотримання наведених вимог та впровадження профілактичних заходів сприяє зниженню виробничих ризиків, підвищенню безпеки праці та забезпеченню стабільності транспортного процесу доставки поштових відправлень на «останній милі».