

«Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(назва факультету)

Автотранспорту та логістики

(повна назва кафедри)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи бакалавра

бакалавр

(освітній рівень)

на тему: Організація доставки харчових продуктів «same-day»:
мережа дарксторів, планування маршрутів,
контроль якості та рівень сервісу (комплексна тема)

Виконав: студент 4 курсу, групи МН-41
спеціальності 275 «Транспортні технології»
(шифр і назва спеціальності)

Студент Гончаров Н.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Присяжний С.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Дзюра В.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Цьонь О.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент Комар Р.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Зав. каф. Цьонь О.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

м. Тернопіль – 2026

Факультет *інженерії машин, споруд та технологій*

Кафедра *Автотранспорту та логістики*

Освітній рівень *бакалавр*

Напрямок підготовки _____

(шифр і назва)

Спеціальність *275.03 Транспортні технології (на автомобільному транспорті)*

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри *Цьонь О.П.*

«__» _____ 2026 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Гончарову Максиму Руслановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Організація доставки харчових продуктів «same-day»:
мережа дарксторів, планування маршрутів,
контроль якості та рівень сервісу (комплексна тема)*

керівник проекту (роботи) *Дзюра Володимир Олексійович, д.т.н., проф.*

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом по університету від «21» січня 2026 року № 4/9-32

2. Термін подання студентом проекту (роботи) *27 червня 2026 р.*

3. Вихідні дані до проекту (роботи) _____

ВДМ міста Тернополя, вид вантажу – продукти харчування; тип партії – мілкопартійна

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Підрозділи 1.1, 1.2, 1.3, 2.1, 2.2, 2.3, 3.1, 3.2

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Матеріали графічної частини – 10 слайдів

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>Окіпний І.Б., к.т.н., доц. зав. каф.</i>		

7. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.1	Сутність “quick commerce” і місце дарксторів у міській логістиці Тернополя	10.02.2026	
1.2	Характеристика міста Тернопіль як середовища для “same-day”: просторові особливості, бар’єри мобільності, типові затримки, сезонні фактори, часові піки попиту	15.02.2026	
1.3	Потенційні клієнтські сегменти та профіль попиту в Тернополі: структура, часові “вікна”, середній кошук, частота замовлень і чутливість до ціни доставки	25.02.2026	
1.4	Вихідні дані та припущення для розрахунків системи “same-day” на базі дарксторів (м. Тернопіль)	05.03.2026	
2.1	Вихідні дані та припущення для розрахунків системи “same-day” на базі дарксторів (м. Тернопіль)	10.03.2026	
2.2	Обґрунтування конфігурації мережі дарксторів у м. Тернопіль і транспортні розрахунки	17.03.2026	
2.3	Зонування міста під мережу дарксторів і оцінка часу доступу кур’єрами	03.04.2026	
3.1	Умови праці в дарксторі та на доставці	28.04.2026	
3.2	Небезпечні та шкідливі виробничі фактори в дарксторі	16.05.2026	

Студент _____
(підпис)Гончаров М.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____

Дзюра В.О.

Факультет *інженерії машин, споруд та технологій*

Кафедра *Автотранспорту та логістики*

Освітній рівень *бакалавр*

Напрямок підготовки _____

(шифр і назва)

Спеціальність *275.03 Транспортні технології (на автомобільному транспорті)*

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри *Цьонь О.П.*

«__»

2026 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Присяжному Сергію Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Організація доставки харчових продуктів «same-day»:
мережа дарксторів, планування маршрутів,
контроль якості та рівень сервісу (комплексна тема)*

керівник проекту (роботи) *Дзюра Володимир Олексійович, д.т.н., проф.*

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом по університету від «21» січня 2026 року № 4/9-32

2. Термін подання студентом проекту (роботи) *27 червня 2026 р.*

3. Вихідні дані до проекту (роботи) _____

ВДМ міста Тернополя, вид вантажу – продукти харчування; тип партії – мілкопартійна

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Підрозділи 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 2.4, 2.5, 3.3, 3.4

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Матеріали графічної частини – 10 слайдів

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>Окіпний І.Б., к.т.н., доц. зав. каф.</i>		

7. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.5	Нормативно-організаційні умови роботи доставки та кур'єрів у місті		
1.6	Показники ефективності та якості сервісу "same-day" для Тернополя: вибір KPI/SLA, інтерпретація, нормативні та гранично допустимі значення		
1.7	Висновки та постановка задач на кваліфікаційну роботу бакалавра		
2.4	Порівняльний аналіз використання транспортних засобів, що використовуються у доставці		
2.5	Розрахунок потреби в транспортних засобах з урахуванням вантажопідйомності та часових обмежень		
3.3	Пожежна безпека й електробезпека на об'єкті дарксторю		
3.4	Дії персоналу при надзвичайних ситуаціях		

Студент _____
(підпис)

Присяжний С.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____

Дзюра В.О.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	8
ВСТУП	9
1. АНАЛІЗ ОБ’ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ	
1.1 Сутність “quick commerce” і місце дарксторів у міській логістиці Тернополя	13
1.2 Характеристика міста Тернопіль як середовища для “same-day”: просторові особливості, бар’єри мобільності, типові затримки, сезонні фактори, часові піки попиту	18
1.3 Потенційні клієнтські сегменти та профіль попиту в Тернополі: структура, часові “вікна”, середній кошик, частота замовлень і чутливість до ціни доставки	21
1.4 Аналіз конкурентного поля доставки продуктів у Тернополі (клієнтом).	26
1.5 Нормативно-організаційні умови роботи доставки та кур’єрів у місті	31
1.6 Показники ефективності та якості сервісу “same-day” для Тернополя: вибір KPI/SLA, інтерпретація, нормативні та гранично допустимі значення	36
1.7 Висновки та постановка задач на кваліфікаційну роботу бакалавра	42
2 ЗАХОДИ ІЗ УДОСКОНАЛЕННЯ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ	
2.1 Вихідні дані та припущення для розрахунків системи “same-day” на базі дарксторів (м. Тернопіль)	46
2.2 Обґрунтування конфігурації мережі дарксторів у м. Тернопіль і транспортні розрахунки	53

2.3	Зонування міста під мережу дарксторів і оцінка часу доступу кур'єрами	59
2.4	Порівняльний аналіз використання транспортних засобів, що використовуються у доставці	66
2.5	Розрахунок потреби в транспортних засобах з урахуванням вантажопідйомності та часових обмежень	69
3	БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	
3.1	Умови праці в дарксторі та на доставці: робочі місця, режими праці/відпочинку, типові небезпеки для комплектувальників, пакувальників, диспетчерів і кур'єрів	73
3.2	Небезпечні та шкідливі виробничі фактори в дарксторі: ручне переміщення вантажів, стелажі, ріжучий інструмент, слизькі поверхні, холодові камери, електрообладнання; профілактика травматизму та вимоги до організації робочого простору	77
3.3	Пожежна безпека й електробезпека на об'єкті даркстору	81
3.4	Дії персоналу при надзвичайних ситуаціях	86
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	92
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	93

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена розробленню та обґрунтуванню транспортної технології доставки харчових продуктів у форматі «same-day» в умовах міського середовища на основі мережі дарксторів .

У роботі виконано аналіз сучасних тенденцій розвитку quick commerce та особливостей організації «останньої милі» в міській логістиці. Досліджено характеристики міста Тернопіль як середовища функціонування системи доставки, визначено ключові обмеження, пов'язані з транспортною інфраструктурою, просторовою структурою та нерівномірністю попиту.

Обґрунтовано доцільність використання мережі дарксторів як основи для організації швидкої доставки, визначено принципи їх розміщення та функціонування. Проведено сегментацію клієнтського попиту, встановлено часові піки навантаження та сформовано вимоги до рівня сервісу.

У рамках роботи виконано розрахунки параметрів транспортного обслуговування, визначено потребу в ресурсах та проаналізовано ефективність використання різних видів транспорту. Показано, що застосування електротранспорту дозволяє суттєво знизити собівартість доставки та підвищити ефективність системи.

Розроблено рекомендації щодо удосконалення транспортного процесу, підвищення якості обслуговування та забезпечення безпеки праці в умовах функціонування системи доставки.

Практична цінність роботи полягає в можливості використання отриманих результатів для проєктування та оптимізації міських систем доставки харчових продуктів у форматі «same-day».

Ключові слова: same-day доставка, даркстори, міська логістика, остання миля, електротранспорт, транспортні технології, e-grocery.

ВСТУП

Стрімке зростання онлайн-замовлень продуктів харчування та товарів повсякденного попиту трансформує вимоги споживачів до сервісу: дедалі важливішими стають швидкість, передбачуваність і зручність доставки, а також мінімізація контактів у місцях масового скупчення людей. Досвід пандемій продемонстрував, що доступ до продуктів і базових товарів може бути критично обмеженим саме через необхідність відвідувати магазини, стояти в чергах та контактувати з великою кількістю людей. У таких умовах доставка “same-day” набуває не лише комерційного значення, а й соціальної функції - забезпечує безперервність постачання для вразливих груп населення та підтримує життєдіяльність міста в періоди підвищених епідеміологічних ризиків. Вирішення цієї транспортної проблеми вимагає необхідного обґрунтування та розрахунків.

Особливо актуальною така модель є для літніх людей, осіб із хронічними захворюваннями, людей із обмеженою мобільністю, а також для зайнятих мешканців, які через робочий графік не мають можливості відвідувати торгові об'єкти у пікові години або не мають бажання перебувати в умовах скупчення людей. Для цих категорій населення зростає цінність сервісу, який поєднує доступність необхідних товарів, мінімальний час очікування та зменшення ризиків, пов'язаних із контактом у публічних просторах. Таким чином, розвиток e-grocery у форматі швидкої доставки стає інструментом підвищення якості життя, інклюзивності міських сервісів та стійкості міської логістичної системи до кризових впливів.

Водночас останній етап розподілу - “остання миля” - залишається найбільш витратним і організаційно складним елементом логістичного ланцюга через дрібні партії відправлень, територіальну розпорошеність попиту, обмеження міської інфраструктури, вплив заторів і високі вимоги до рівня сервісу. У порівнянні з традиційною роздрібною логістикою, де ключову роль відіграють запаси в магазинах і планові постачання, e-grocery орієнтується на

оперативне комплектування замовлень і їх доставку в межах годин, а не діб. Саме тому концепція “same-day” поступово перетворюється на стандарт очікувань споживача у великих і середніх містах, а в кризових умовах стає каналом забезпечення населення необхідними товарами без потреби фізичного відвідування торгових точок.

Транспортно-технологічною основою підвищення керованості “останньої милі” стають даркстори - спеціалізовані малі складські об’єкти для швидкого комплектування онлайн-замовлень, розміщені в межах міста з урахуванням доступності до клієнтських зон. На відміну від класичного магазину, даркстор оптимізований під операції відбору (picking), упаковки та передачі замовлень у доставку, що дозволяє скоротити час оброблення, підвищити точність комплектації та стабілізувати якість сервісу. В умовах пандемій і загалом підвищеної чутливості суспільства до безконтактних сервісів даркстори зменшують щільність відвідувачів у торгових залах, переносячи процес комплектації на спеціалізований об’єкт і тим самим знижуючи соціальні контакти. Формування мережі дарксторів, визначення їхнього розміщення та пропускної здатності, а також вибір технології доставки (партіонність, маршрутизація, планування змін кур’єрів, контроль SLA) безпосередньо впливають на швидкість виконання замовлення, собівартість доставки та надійність процесу. Отже, актуальним є розроблення обґрунтованої транспортної технології доставки “same-day” на базі мережі дарксторів, що враховує міські обмеження, коливання попиту та вимоги до якості обслуговування, включно з потребами вразливих і маломобільних груп населення.

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення й обґрунтування транспортної технології доставки “same-day” на базі мережі дарксторів для міста з визначенням параметрів мережі, процесів комплектування і доставки, потреби в ресурсах та показників ефективності функціонування системи.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: виконати аналіз ринку міської кур’єрської доставки та середовища

функціонування e-grocery, визначити основні клієнтські сегменти, конкурентні аналоги й ключові обмеження (часові, інфраструктурні, організаційні); обґрунтувати конфігурацію мережі дарксторів (кількість, зони покриття, принципи розміщення, вимоги до пропускнуої здатності); описати транспортно-технологічні процеси приймання і оброблення замовлень, комплектування, пакування та передачі в доставку, а також процес доставки до клієнта з урахуванням регламентів сервісу “same-day”; виконати розрахунок потреби в ресурсах (персонал дарксторів, кур’єри, транспортні засоби/засоби доставки, обладнання), визначити показники якості та ефективності (час циклу виконання замовлення, рівень сервісу, відсоток успішних вручень, продуктивність, собівартість, завантаження ресурсів) і провести їх аналітичне обґрунтування; запропонувати заходи з охорони праці та безпеки, а також порядок дій у надзвичайних ситуаціях, пов’язаних з операціями комплектування, переміщенням кур’єрів у місті та взаємодією з клієнтами.

Об’єктом дослідження є процеси організації міської доставки онлайн-замовлень продуктів у форматі “same-day”. Предметом дослідження є транспортна технологія “останньої милі” на базі мережі дарксторів, включно з параметрами мережі, потоками замовлень, організацією комплектування, диспетчеризацією та маршрутизацією кур’єрів, а також системою показників ефективності та якості сервісу.

Методологічну основу роботи становлять методи аналізу та синтезу для формування вимог і обмежень системи; методи порівняння та узагальнення для оцінювання практик ринку й вибору організаційних рішень; розрахункові методи для визначення потреби в ресурсах і показників ефективності; елементи моделювання процесів доставки, зокрема спрощені підходи до моделювання маршрутів і часових витрат, а також елементи моделей черг для оцінювання впливу нерівномірності надходження замовлень на завантаження дарксторів і кур’єрів.

Інформаційну базу дослідження складають нормативно-правові акти та вимоги з охорони праці й безпеки перевезень, наукові та навчально-методичні

джерела з міської логістики і “останньої милі”, статистичні та аналітичні матеріали щодо розвитку e-commerce і e-grocery, відкриті дані про транспортну мережу міста, а також узагальнені технологічні параметри роботи дарксторів і служб доставки (регламенти, типові SLA, операційні нормативи комплектування і вручення).

Практична цінність результатів полягає в можливості використання запропонованої транспортної технології як основи для проєктування та впровадження міської системи доставки “same-day” на базі дарксторів: для обґрунтування конфігурації мережі, планування ресурсів і змін, встановлення контрольних показників якості сервісу, а також для підготовки рекомендацій з охорони праці та дій у надзвичайних ситуаціях. Отримані результати можуть бути застосовані логістичними операторами, ритейлерами та сервісами доставки під час масштабування e-grocery у межах міста або оптимізації вже діючої мережі “останньої милі”, зокрема з урахуванням потреб літніх людей і зайнятих споживачів, для яких мінімізація відвідувань місць скупчення людей є важливою умовою отримання повсякденних товарів.

1 АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Сутність “quick commerce” і місце дарксторів у міській логістиці Тернополя

Поняття quick commerce (q-commerce) у сучасній логістиці використовують для позначення моделі електронної торгівлі з акцентом на надшвидке виконання замовлення, коли інтервал від моменту оформлення до отримання товару вимірюється переважно годиною або кількома годинами. У логістичному сенсі q-commerce зводиться не стільки до “ще швидшої доставки”, скільки до іншої архітектури ланцюга постачання: асортимент обмежується товарами повсякденного попиту, а забезпечення швидкості досягається за рахунок мережі децентралізованих міських пунктів виконання замовлень (dark stores / micro-fulfillment) і спеціалізованого міського флоту кур'єрів (двоколісний транспорт, малотоннажні авто тощо). Саме такий підхід описують як ключові ознаки q-commerce: доставка “в ідеалі менш ніж за годину”, робота від децентралізованих мікрофулфілмент-центрів (дарксторів), обмежений набір SKU і місько-адаптований транспорт. (DHL Freight Connections).

З позицій міської логістики q-commerce є “надбудовою” над класичним e-commerce і, водночас, максимальною концентрацією проблематики “останньої милі”. Остання миля - це фінальна ділянка руху товару від вузла виконання замовлення до дверей споживача, де витрати, ризики й варіативність часу є найбільшими через дрібнопартійність, територіальну розпорошеність попиту, обмеження доступу та вплив заторів. У моделі q-commerce час стає основним конкурентним параметром, а тому вся система проєктується “від часу назад”: спочатку фіксується цільовий SLA (наприклад, 60–120 хв), після чого під нього підбирається щільність мережі, процеси відбору, правила комплектування і маршрутизації.

Логіка “останньої милі” у q-commerce зручно описується через часовий бюджет виконання замовлення, де загальний цикл складається з операцій у дарксторі та транспортної компоненти:

$$T_{cycle} = t_{confirm} + t_{pick} + t_{pack} + t_{dispatch} + t_{travel} + t_{handover}. \quad (1.1)$$

У цій залежності t_{pick} і t_{pack} визначаються продуктивністю персоналу та організацією зон зберігання, тоді як t_{travel} визначається відстанню до клієнта, типом транспорту, умовами вулично-дорожньої мережі та стабільністю маршрутів. Саме тому в q-commerce ключовим “важелем” керування часом стає не лише оптимізація маршруту кур’єра, а й скорочення середньої транспортної відстані за рахунок наближення запасу до споживача.

Даркстор у цій системі виступає вузлом виконання замовлень, який функціонально наближений до міського мікрофулфілмент-центру або мікрохабу. Під мікрофулфілментом зазвичай розуміють компактні склади (часто з елементами автоматизації), розміщені близько до кінцевого клієнта, що принципово зменшує дистанцію доставки і, відповідно, час і витрати “останньої милі”. У міській логістиці споріднене поняття мікрохаб (microhub) тлумачать як невелику логістичну локацію в межах міста, яка обслуговує обмежений радіус і дозволяє консолідувати потоки та/або перейти на “легкі” способи доставки (піші, вантажні велосипеди, легкі електротранспортні засоби). (citylogistics.info) Відповідно, даркстор як мікрохаб є транспортно-технологічним “якорем” останньої милі: тут зосереджуються запаси швидкообертюваних позицій, тут формується замовлення, і звідси стартує кур’єрська доставка.

Для міста Тернополя доцільність такого вузла визначається поєднанням міського масштабу та наявністю попиту на швидку доставку. Тернопіль належить до компактних обласних центрів; у відкритих довідкових даних наводяться орієнтири населення близько 225 тис. осіб і площі близько 86 км². За таких параметрів мережа з кількох міських вузлів виконання замовлень потенційно може перекривати значну частину житлових зон, знижуючи середню

відстань доставки та підвищуючи стабільність SLA. Практична наявність міського попиту на доставку підтверджується роботою платформ, що пропонують доставку в Тернополі, зокрема категорії магазинів і продуктів у сервісах доставки. (Glovoapp).

Нижче подано узагальнену схему, яка ілюструє місце дарксторю в потоці “замовлення - виконання - доставка”.



Рисунок 1.1 – Логіка q-commerce як “мережа виконання замовлень” для останньої милі

У межах q-commerce використовуються кілька типових організаційних моделей дарксторів і міської мережі, які відрізняються ступенем децентралізації, способом формування запасу та інтеграцією з роздрібною торгівлею.

Модель “dark store як мікрохаб (pure dark store)” передбачає спеціалізоване приміщення без доступу для покупців, спроектоване під швидкий picking і пакування. Перевага полягає у керованості процесу та стандартизованих нормативних часах оброблення, що особливо важливо для SLA “в межах години”. Недолік полягає у витратах на окрему інфраструктуру та потребі точного прогнозування попиту, щоб уникати надлишкових запасів або дефіциту.

Гібридна модель “даркстор + супермаркет (in-store picking / store-based fulfillment)” використовує торгову точку або її частину як вузол комплектування онлайн-замовлень. Її логіка - мінімізувати капітальні витрати, “перетворивши” існуючу роздрібну мережу на мережу виконання замовлень. Перевагою є використання готових локацій і запасів, а також потенційно ширший асортимент. Обмеженням стає конфлікт потоків (покупці в залі та комплектувальники),

нестабільність швидкості відбору й чутливість до пікових навантажень у торгові години, що може погіршувати виконання жорсткого SLA.

Централізована схема виконання замовлень (один міський/передміський центр) робить ставку на економію масштабу в комплектації й управлінні запасами, проте програє в часі останньої милі через більші середні відстані доставки. Децентралізована схема (кілька дарксторів у різних частинах міста) підвищує швидкість і передбачуваність доставки, але потребує складнішого управління запасами між вузлами та чіткішого планування поповнень. Саме децентралізація вважається структурною умовою q-commerce, оскільки модель “швидко в межах години” економічно тримається лише за короткої доставки та близькості до клієнта. (DHL Freight Connections). Порівняння зазначених моделей доцільно подати у вигляді таблиці, що узгоджує їх із цілями міської логістики та SLA “швидкої доставки”.

Таблиця 1.1 - Порівняння організаційних моделей виконання замовлень у q-commerce

Ознака	Dark store як мікрохаб	Гібрид із супермаркетом	Централізована схема	Децентралізована схема
1	2	3	4	5
Мета процесу	Максимальна швидкість відбору й видачі	Використання наявної роздрібно-інфраструктури	Економія масштабу в комплектації	Мінімізація відстані “останньої милі”
Вплив на t_{pick} , t_{pack}	Найстабільніший і керований	Залежить від завантаження магазину	Зазвичай ефективний у центрі	Стабільний у кожному вузлі за стандартизації
Вплив на t_{travel}	Середній/низький (за правильного розміщення)	Середній (залежить від географії мережі магазинів)	Найвищий (дальша доставка)	Найнижчий (коротка доставка)

Закінчення таблиці 1.1

1	2	3	4	5
Управління запасами	Окремий міський запас під q-commerce	Спільний запас із роздробом (ризик конфліктів)	Найпростіше, один склад	Найскладніше, кілька складів
Придатність до “в межах години”	Висока за правильної щільності мережі	Помірна, чутлива до піків	Низька у щільному SLA	Висока, типова для q-commerce

У прикладному контексті Тернополя місце дарксторів у міській логістиці проявляється як інструмент “стиснення” останньої милі в часовому та просторовому вимірах. Для компактного міста критичними стають два параметри: фактичний радіус обслуговування вузла (який визначається не геометрією, а реальними маршрутами вуличної мережі) та внутрішній час виконання у дарксторі. Якщо прийняти, що для SLA на рівні 60 хвилин частина часу повинна бути зарезервована під підтвердження, відбір і пакування, то транспортна компонента отримує жорсткий ліміт; відповідно мережа дарксторів повинна “підтягувати” склад ближче до зон найбільшого попиту, щоб t_{travel} залишався в межах допустимого. Це пояснює, чому даркстор у q-commerce слід розглядати не як “ще один склад”, а як елемент міської транспортно-логістичної інфраструктури останньої милі, подібний за функцією до мікрохабу, що працює на обмеженій території та забезпечує короткі плечі доставки.

Таким чином, сутність q-commerce для міської логістики Тернополя полягає в організації надшвидкого сервісу за рахунок перенесення запасу та операцій виконання замовлення ближче до споживача, а даркстори виступають транспортно-технологічною основою такої системи як мікрОВузли (мікрохаби) останньої милі. Подальші підрозділи роботи мають деталізувати, яким чином вибір централізованої або децентралізованої схеми, а також вибір між pure dark

store і гібридною моделлю впливають на часовий цикл, потребу в ресурсах і показники ефективності доставки “same-day” у міських умовах.

1.2 Характеристика міста Тернопіль як середовища для “same-day”: просторові особливості, бар’єри мобільності, типові затримки, сезонні фактори, часові піки попиту

Тернопіль є типовим для західноукраїнського регіону середнім містом із компактною планувальною структурою та відносно короткими внутрішньоміськими плечима перевезень, що створює сприятливі передумови для впровадження доставки формату “same-day”. Місто сформоване на берегах річки Серет, а ключовою просторовою домінантою центральної частини є Тернопільський став, створений на Сереті та інтегрований у міське середовище як рекреаційний і водночас планувальний елемент. Така конфігурація означає, що транспортні потоки природно концентруються на обмеженій кількості перетинів водної перешкоди та на підходах до центральної зони, де зосереджені адміністративні, торгові й сервісні функції.

Просторова “компактність” Тернополя з позиції логістики “останньої милі” проявляється в тому, що значна частина житлових масивів і комерційних зон досяжні в межах одного міського циклу доставки без міжрайонних транзитів високої дальності. Водночас саме центральна частина міста формує найбільшу варіативність часу поїздки через щільність перехресть, активний пішохідний рух, часті маневри громадського транспорту та обмеження пропускної здатності вулично-дорожньої мережі. Для “same-day” це означає необхідність проєктування процесів із урахуванням не лише середнього часу доїзду, а й його дисперсії, оскільки вимоги SLA критично залежать від стабільності, а не тільки від швидкості доставки.

Бар’єри мобільності в Тернополі мають переважно природно-інфраструктурний характер. До природних належать річка Серет і водойма в центральній частині, які “розтинають” міську тканину та зменшують кількість

альтернативних маршрутів при поїздках між окремими зонами міста, особливо в пікові години. До інфраструктурних бар'єрів належить залізнична інфраструктура, яка формує коридори перетину (шляхопроводи, переїзди) та потенційні “вузькі місця” для потоків кур'єрського транспорту; міська влада, зокрема, фіксує значимість таких об'єктів на прикладі ремонтів шляхопроводу через залізничну колію, що впливають на безперервність і режими руху. Для логістичної системи “same-day” ці бар'єри є ключовими, оскільки саме вони задають критичні точки, де зростає ризик запізнення та порушення часових вікон доставки.

Типові затримки руху в місті концентруються в центральній частині та на підходах до неї, а також у місцях, де міські потоки “стискаються” геометрією вулиць, перехресть і мостових переходів. Практика організації дорожнього руху в Тернополі підтверджує наявність локальних проблемних вузлів: з метою зменшення заторів у центрі міста впроваджувалися зміни схеми руху на низці перехресть (зокрема, в зоні вулиць Глибока–Татарська, Татарська–проспект Степана Бандери–Фридерика Шопена, Фридерика Шопена–Паркова–Вояків Дивізії «Галичина»), що є індикатором їхньої високої транспортної напруженості. Окремі точкові зміни, як-от коригування руху на перехресті проспекту Степана Бандери та вулиці Глиняної, також вказують на необхідність управління потоками саме у центральному каркасі вуличної мережі. Додатковим джерелом затримок для “same-day” є дорожні роботи на мостах і прилеглих ділянках, оскільки вони не лише знижують пропускну здатність, а й різко скорочують кількість прийнятних альтернативних маршрутів; прикладом є тимчасові ускладнення та перекриття руху в зоні мосту через Серет на вулиці Андрея Шептицького під час відновлювальних робіт. Аналогічно, ремонтні обмеження на об'їзних і магістральних ділянках, що є частиною державних шляхів, призводять до перерозподілу трафіку на внутрішньоміську мережу, посилюючи затори на міських перетинах.

Сезонні фактори для Тернополя мають системний вплив на параметри “same-day”, оскільки прямо змінюють швидкість руху, надійність дотримання

часових вікон і ризику інцидентів. Клімат міста характеризується помірно континентальними умовами з м'якшою зимою та вологим теплим літом; середні температури коливаються орієнтовно від близько -5°C у січні до близько $+19^{\circ}\text{C}$ у липні, а річна кількість опадів становить порядку 520–600 мм. Для операцій “same-day” це означає, що в зимовий період зростає імовірність зниження швидкості через сніг, ожеледицю та раннє настання темної пори доби, а в періоди опадів - збільшується варіативність часу доїзду та сервісного часу на вручення (обхід калюж/слизьких зон, безпечне паркування, підхід до під'їздів). У міжсезоння характерними є коливання температур і стан покриття, що посилює чутливість “останньої милі” до локальних ремонтів і звужень проїзної частини, особливо на мостах і підходах до них, де роботи практично неминуче транслюються у затримки по всьому прилеглому району.

Часові піки попиту в “same-day” логічно формуються синхронно з повсякденними ритмами міста та поведінкою ключових клієнтських груп. Для зайнятих споживачів характерним є перенесення формування кошика і вибору часу доставки на проміжки між робочими активностями або після завершення робочого дня; наукові дослідження підтверджують, що “часово обмежені” споживачі демонструють підвищену цінність зручних сервісів продуктового обслуговування, що безпосередньо підтримує попит на швидку доставку. У поведінці онлайн-покупців загалом спостерігаються виражені добові “вікна” активності, зокрема в середині дня та у вечірні години (як типові пікові інтервали в літературі наводяться, наприклад, 11:00–12:00, 13:00–15:00, 18:00–20:00). Додатково важливим є відмінність будніх і вихідних днів для e-grocery: структура попиту та потреба в ресурсах змінюються залежно від того, чи замовлення формуються як “планові” (вихідні, більші кошики) чи “поточні” (будні, менші кошики, але жорсткіші часові вікна). У контексті Тернополя це означає, що система “same-day” має планувати пікові навантаження щонайменше на вечірні години будніх днів і денні години вихідних, а також передсвяткові періоди, коли зростає інтенсивність замовлень і паралельно погіршуються умови руху в центральній частині.

Отже, Тернопіль як середовище для “same-day” поєднує сприятливі умови компактного міста з низкою критичних обмежень, визначених природними бар’єрами (Серет і став), інфраструктурними вузлами перетину (мости, шляхопроводи), центральними перехрестями та сезонними коливаннями погодних умов. Практичне проектування “same-day” для Тернополя повинно спиратися на просторове зонування попиту та управління варіативністю часу доїзду, з особливим акцентом на центральні ділянки, мостові переходи й пікові години, оскільки саме в цих умовах формується основний ризик порушення SLA та зростання собівартості доставки.

1.3 Потенційні клієнтські сегменти та профіль попиту в Тернополі: структура, часові “вікна”, середній кошик, частота замовлень і чутливість до ціни доставки

Розроблення транспортної технології “same-day” на базі мережі дарксторів у м. Тернопіль потребує попереднього виділення клієнтських сегментів і опису їхнього попиту, оскільки саме попит визначає не тільки потрібну пропускну здатність об’єкта (швидкість комплектування та пакування), але й конфігурацію доставки (кількість кур’єрів, тип транспорту, партійність доставок і правила диспетчеризації). На відміну від класичного “магазинного” споживання, де клієнт самостійно забезпечує транспортування покупки, e-grocery трансформує попит у набір вимог до часу, надійності, сервісу та ціни доставки. Для Тернополя, як для компактного міста із вираженими піками трафіку в центральній частині, ключовим стає не стільки середній час доїзду, скільки його варіативність у різні години доби, а також здатність системи управляти нерівномірністю надходження замовлень протягом дня.

У межах цієї роботи попит доцільно поділити на чотири прикладні сегменти, які відрізняються мотивацією замовлення, структурою кошика, частотою та реакцією на тариф доставки. Домогосподарства формують основний базовий потік замовлень і задають вимогу до стабільного сервісу в вечірні

години, коли люди повертаються з роботи та прагнуть отримати доставку “до дверей” без відвідування місць скупчення людей. Для цього сегмента характерні відносно “повні” кошики з продуктами щоденного споживання, більша кількість позицій і помітна частка замовлень на вихідні або напередодні вихідних. Офіси, як сегмент із більш регулярною поведінкою, зазвичай замовляють воду, напої, снеки, канцелярію або “обідні” позиції й формують попит переважно в робочий час; вони чутливі до передбачуваності доставки та можливості отримати замовлення у визначений короткий інтервал без зриву робочого процесу. Заклади харчування у форматі B2B-мікросегмента формують замовлення, близькі до “операційного поповнення” запасів: це може бути швидке дозамовлення інгредієнтів, упаковки, одноразового посуду, напоїв; вони, як правило, мають найвищу ціну ризику зриву доставки, але потребують контролю якості та дотримання вимог до харчових продуктів. Окремо виділяється сегмент приватних термінових замовлень, для якого визначальними є швидкість і зручність: це “забули купити”, “потрібно зараз”, “немає часу зайти в магазин”, і саме цей сегмент формує попит у пізніші години та провокує пікові навантаження на кур’єрів.

Профіль попиту в часовому розрізі в “same-day” має хвилеподібний характер і визначається як поведінкою споживачів, так і організацією робочого дня. Для домогосподарств найбільш інтенсивним є вечірній інтервал, коли попит на доставку зростає разом із поверненням людей додому та бажанням отримати товари без додаткових переміщень містом. Офісний сегмент “підтягує” попит у першій половині дня та в обідній час, коли зручно прийняти доставку на рецепції або у внутрішній точці видачі. Для закладів харчування піки можуть формуватися вранці (перед стартом основного потоку гостей) і у денний період як швидке “доповнення” запасів. Для приватних термінових замовлень значущими стають вечір і пізній час, оскільки рішення про покупку часто виникає після завершення справ. На рис. 1.1 подано прикладну структуру попиту за часовими вікнами, сформовану як планові (прийняті) оцінки для подальших розрахунків і моделювання навантажень дарксторю та кур’єрів.

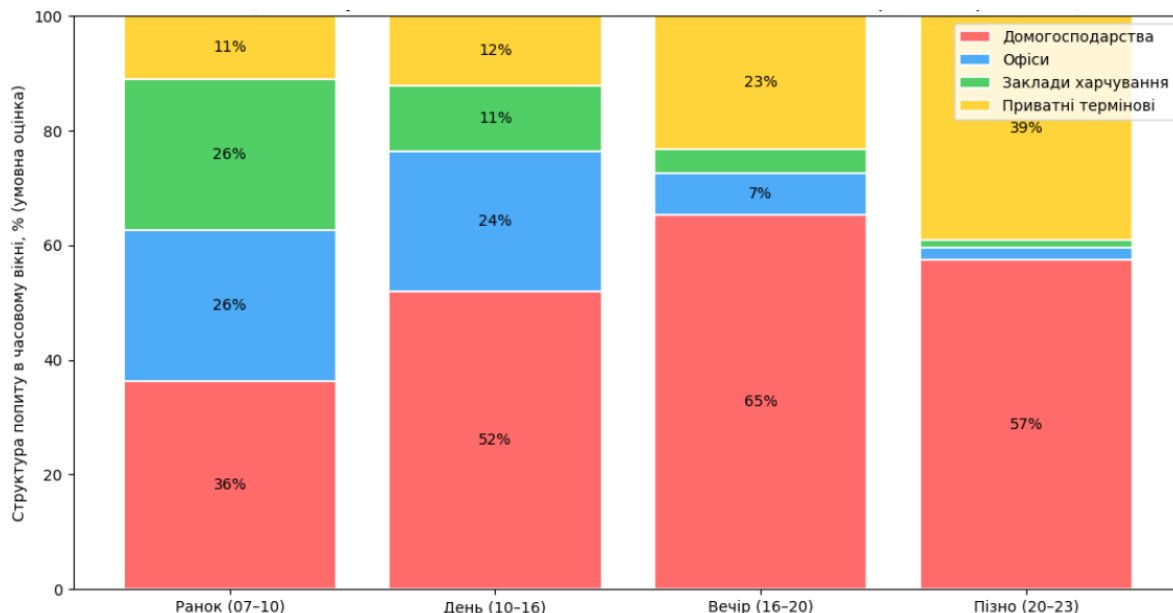


Рисунок 1.2 – Розподіл попиту за часовими вікнами та клієнтськими сегментами (Тернопіль, прийняті оцінки)

Середній розмір кошика та частота замовлень є критичними параметрами для економіки “same-day”, оскільки вони визначають частку логістичних витрат у вартості замовлення та, відповідно, межу прийняттого тарифу доставки. Загальна закономірність полягає в тому, що зі зростанням середнього кошика (вартість/маса/кількість позицій) відносна “вага” тарифу доставки зменшується, а попит стає менш чутливим до ціни доставки. Тому домогосподарства, попри значну частку замовлень, часто демонструють підвищену чутливість до тарифу, коли кошик невеликий, тоді як B2B-мікросегменти (офіси та заклади харчування) здатні приймати вищий тариф заради передбачуваності та уникнення зупинки процесів. У таблиці наведено узгоджений набір параметрів сегментів, який можна прийняти як базовий для первинного проєктування системи “same-day” у Тернополі з подальшим уточненням на основі фактичних даних оператора або пілотного періоду.

Прийняті (модельні) параметри сегментів попиту для проєктування “same-day” у м. Тернопіль наступні (значення наведені як планові оцінки для розрахунків; у практичному впровадженні підлягають калібруванню за статистикою замовлень):

- домогосподарства: частка потоку $\approx 55\%$; середня кількість позицій ≈ 18 ; середня маса ≈ 6 кг; середня вартість кошика ≈ 650 грн; середня частота $\approx 1,6$ зам./тижд.

- офіси: частка потоку $\approx 15\%$; середня кількість позицій ≈ 25 ; середня маса ≈ 8 кг; середня вартість кошика ≈ 900 грн; середня частота $\approx 2,0$ зам./тижд.

- заклади харчування (B2B-мікросегмент): частка потоку $\approx 10\%$; середня кількість позицій ≈ 30 ; середня маса ≈ 12 кг; середня вартість кошика ≈ 1300 грн; середня частота $\approx 3,0$ зам./тижд.

- приватні термінові: частка потоку $\approx 20\%$; середня кількість позицій ≈ 10 ; середня маса ≈ 3 кг; середня вартість кошика ≈ 350 грн; середня частота $\approx 0,8$ зам./тижд.

Чутливість до ціни доставки доцільно розглядати як еластичність попиту за тарифом доставки або як функцію “готовності платити”, що відрізняється між сегментами. Для домогосподарств тариф доставки часто сприймається як додаткова “надбавка” до товарів, тому при зростанні тарифу частина споживачів переходить на самовивіз або відтерміновує покупку до моменту, коли кошик стане більшим. Для офісів та закладів харчування важливішою є не мінімальна ціна доставки, а гарантованість отримання в потрібний час, оскільки зрив доставки може мати непрямі втрати (переривання роботи, незадоволеність клієнтів, необхідність термінових закупівель). Приватні термінові замовлення, з одного боку, мають високу цінність часу, але з іншого - зазвичай мають малий кошик, тому тариф доставки становить значну частку загальної суми, що формує відносно високу чутливість до ціни. На рис. 1.2 показано модельні криві реакції сегментів на зміну тарифу доставки; їхнє призначення в дипломному проектуванні полягає в обґрунтуванні допустимих тарифних коридорів і в поясненні, чому для різних груп клієнтів можуть бути потрібні різні SLA/тайм-слоти/умови доставки.

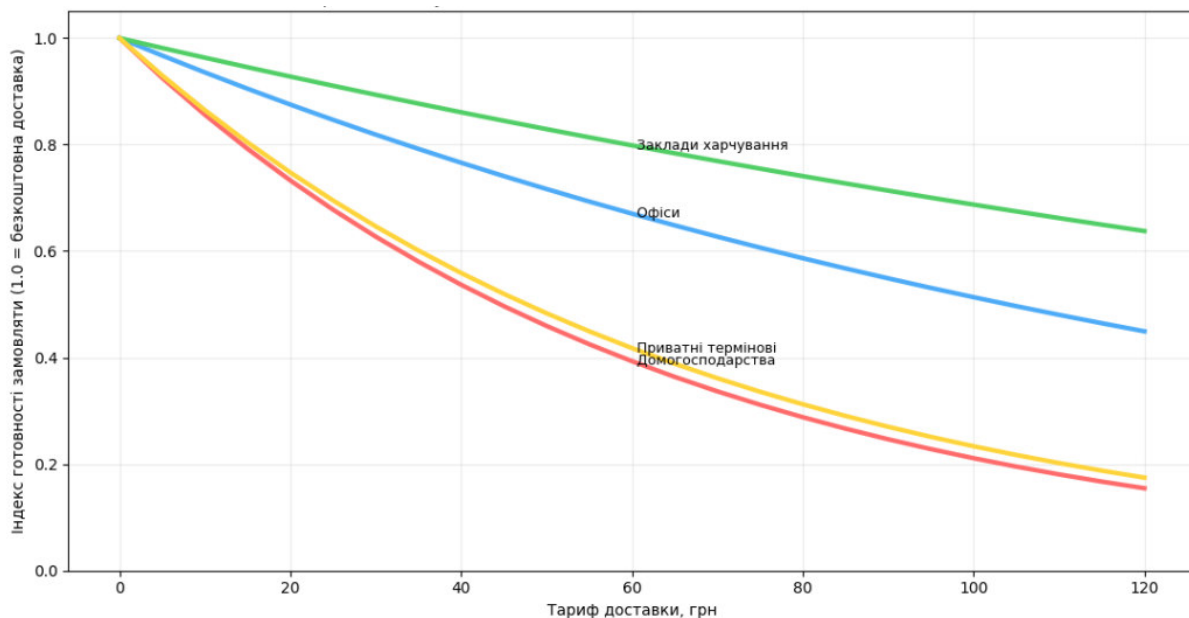


Рисунок 1.3 – Орієнтована чутливість сегментів до ціни доставки

Отже, сегментація попиту для Тернополя дозволяє сформувані практичні вимоги до системи “same-day” на базі дарксторів. Домогосподарства визначають основне навантаження в вечірні години та потребують балансу між тарифом і якістю сервісу; офісний сегмент формує денний попит і орієнтується на передбачуваність; заклади харчування як B2B-мікросегмент підвищують вимоги до надійності й швидкості в окремі “операційні” вікна; приватні термінові замовлення підсилюють піки у вечірній та пізній час і збільшують вимоги до гнучкості диспетчеризації. Ці висновки є базою для подальших розрахунків у проектному розділі: визначення пропускнуої здатності дарксторів, формування змін персоналу, необхідної кількості кур’єрів, вибору типу транспорту та параметрів SLA.

1.4 Аналіз конкурентного поля доставки продуктів у Тернополі клієнтом).

Конкурентне поле доставки продуктів у м. Тернопіль формується кількома паралельними форматами, які відрізняються джерелом комплектації замовлення, рівнем контролю над запасами та якістю виконання “останньої милі”. У

практичному вимірі це означає, що конкуренція відбувається не лише “між брендами”, а й між операційними моделями: маркетплейс-агрегатором з кур’єрською доставкою, власною доставкою ритейлера (або його онлайн-вітриною), сервісами “кур’єр викупить і привезе” та платформами планової доставки з гіпермаркетів. Для проєктування “same-day” на базі мережі дарксторів важливо оцінити, у чому саме сильні сторони кожного формату і які типові проблеми вони створюють з позиції SLA, втрат часу та задоволеності клієнта.

У Тернополі присутні щонайменше два сильні типи каналів: по-перше, агрегаторні платформи, які в одному застосунку поєднують ресторани, магазини та “супермаркетні” категорії (зокрема, Glovo, де прямо заявлено наявність сервісу в Тернополі та категорії магазинів, включно з супермаркетами на кшталт АТБ і “Рукавичка” у форматі замовлень через платформу). По-друге, ритейлери та спеціалізовані служби, які надають доставку як окремий продукт: прикладом є інтернет-магазин “Рукавичка”, де доставка для Тернополя описана як регулярна послуга з тарифом і порогом безкоштовної доставки, а також національні онлайн-канали ритейлерів і посередницькі сервіси (наприклад, iPOST у Тернополі декларує “турбо-доставку” від 60 хвилин, тариф від 95 грн та модель “кур’єр викупить товар у магазині і доставить”). Додатково на ринку існує формат планової доставки з великих торговельних об’єктів через сервіс Zakaz.ua (у Тернополі відображено доставку з METRO із зазначенням адреси магазину).

Для систематизації конкурентів доцільно зіставляти не лише “хто є на ринку”, а й “якою логікою вони виконують замовлення”, бо саме ця логіка визначає типові збої та їхню повторюваність.

Таблиця 1.2 – Аналіз систем доставки продуктів харчування в м. Тернопіль

Формат у Тернополі	Представники (приклади)	Як формується замовлення	Типові сильні сторони	Типові слабкі сторони/обмеження для “same-day”
1	2	3	4	5
Маркетплейс-агрегатор “магазини + кур’єри”	Glovo (категорії магазинів, супермаркети), у т.ч. АТБ, “Рукавичка” як партнери	Комплектація здійснюється в партнерському магазині (кур’єр/персонал), доставка - кур’єрська мережа платформи	Широке покриття категорій, швидкий старт, зручний застосунок і відстеження	Варіативність часу через черги/піки попиту; ризик розбіжності фактичних залишків і “онлайн-наявності”; обмежений контроль якості відбору та замін
Доставка ритейлера через власний онлайн-магазин	“Рукавичка” (інтернет-магазин, умови доставки для Тернополя)	Комплектація з власної мережі, доставка за правилами ритейлера/партнера	Краща інтеграція з асортиментом, потенціал стандартизації заміни і якості	Часто жорсткіші часові вікна; покриття та швидкість залежать від ресурсів ритейлера; складніше масштабувати “прямо зараз” у піки

Закінчення таблиці 1.2

1	2	3	4	5
Сервіс “кур’єр викупить у магазині”	iPOST у Тернополі (доставка продуктів, викуп товару кур’єром)	Кур’єр фізично купує в обраному магазині й доставляє	Гнучкість вибору магазинів і сценаріїв, можливість нестандартних доручень	Найвища залежність від людського фактора; складніше забезпечити стабільний SLA та єдину політику замін/помилки
Планова доставка з гіпермаркету/оптового формату	Zakaz.ua (METRO у Тернополі)	Професійна комплектація з великого магазину, доставка у визначені слоти	Підходить для великих кошиків, потенціал кращої якості відбору	Менше відповідає “миттєвому” попиту; відчутна залежність від часових слотів і віддаленості великого магазину

Наявність Bolt Food у Тернополі підтверджується повідомленнями про запуск сервісу в місті та сторінкою Bolt із переліком міських сервісів, однак у контексті доставки саме продуктів цей канал у Тернополі частіше конкурує як “on-demand доставка” загалом, а не як спеціалізований e-grocery-оператор із гарантованою політикою комплектації. У практичних моделях конкуренції це важливо, бо “same-day для продуктів” чутлива до якості picking’у й точності залишків не менше, ніж до швидкості кур’єра.

Порівняльний аналіз сильних і слабких сторін конкурентних форматів для Тернополя доцільно будувати через три критерії: керованість часу виконання, керованість якості комплектації та керованість комунікації з клієнтом. Агрегаторні платформи зазвичай виграють у швидкості старту та зручності інтерфейсу, однак програють у “контролі процесу” саме на етапі комплектації, якщо вона відбувається в торговельному залі, де онлайн-наявність може не відповідати фактичному залишку на полиці. Цей феномен в e-grocery описують як *postpurchase out-of-stock*: товар “ніби доступний” у момент замовлення, але стає відсутнім під час відбору, що спричиняє заміни або часткове невиконання замовлення. Ритейлерські онлайн-канали потенційно краще контролюють політику замін і стандарти відбору, але в середньому мають вищі вимоги до планування слотів і менш гнучкі до різких піків попиту, якщо ресурс кур’єрів і комплектувальників не масштабується оперативно. Посередницькі сервіси “викупить і привезе” забезпечують максимальну гнучкість для клієнта, однак їхній результат дуже залежить від конкретного кур’єра, а значить - складніше стабілізувати відсоток виконання вчасно та мінімізувати помилки комплектації.

Типові проблеми якості сервісу в конкурентному середовищі Тернополя проявляються в п’яти повторюваних групах збоїв, які безпосередньо впливають на NPS, повторні замовлення та навантаження на підтримку. Затримки доставки формуються як на “транспортному плечі” (затори, обмеження, пікові години), так і на “внутрішньому плечі” (очікування кур’єра, черги в магазині, час пакування). У літературі з останньої милі підкреслюється, що трафік, часові вікна та непередбачувані зміни в замовленнях є одними з основних причин зривів плану доставки й росту витрат, а в on-demand моделях ця проблема посилюється нерівномірністю попиту. Для Тернополя це означає, що навіть за коротких відстаней міський центр і “вузькі місця” транспортної мережі можуть перетворювати доставку на стохастичний процес, де важливі не середні значення, а наявність буферів часу та адаптивної диспетчеризації.

Недовручення та скасування замовлень здебільшого мають дві першопричини: або замовлення не може бути зібране в повному обсязі через

відсутність товарів, або кур'єр не може завершити вручення через проблеми контакту/адреси/часового вікна. У “магазинному” picking’у проблема фактичної відсутності товару на полиці неминує породжує політику замін або часткового виконання, а дослідження substitution policy в онлайн-продуктах показують, що саме характер заміни та її відповідність очікуванням визначають реакцію споживача і ризик відтоку. У міському середовищі до цього додається “невдала доставка” як операційний збій останньої милі, коли споживач недоступний або вручення ускладнюється, що прямо збільшує собівартість рейсу та навантаження на підтримку.

Заміни товарів є найбільш “чутливою” проблемою для e-grocery, оскільки торкаються не тільки економіки замовлення, а й довіри клієнта до якості вибору. Для Тернополя, де частина попиту орієнтується на “точно привезіть те, що замовив”, невдала заміна (або заміна без погодження) збільшує ймовірність відмови від замовлення, претензій і негативного досвіду. Саме тому у більш зрілих e-grocery-моделях політика замін перетворюється на керований процес із пріоритетом “домінантних атрибутів” товару та урахуванням історії покупок, що знижує негативну реакцію споживача.

Комунікація з клієнтом у конкурентних моделях часто стає “вузьким місцем” не меншим, ніж транспорт. Нестача прозорості статусу, несвоєчасні повідомлення про заміни, відсутність зрозумілого механізму погодження змін і слабка підтримка під час затримок формують додаткові звернення та знижують лояльність. У роботах і практичних оглядах із e-grocery підкреслюється, що навіть одиничний збій - запізнення, заміна або відсутність прозорого статусу - може призводити до втрати клієнта та зростання витрат на контакт-центр. Для Тернополя, як для міста з високою часткою “вечірніх” замовлень домогосподарств, саме якісна комунікація в пікові години є критичною, оскільки запізнення у вечірньому слоті часто сприймається як “зрив планів” домогосподарства.

Узагальнюючи, конкурентне поле доставки продуктів у Тернополі вже містить основні формати, характерні для українського ринку: агрегаторні

платформи з кур'єрською мережею, онлайн-канали ритейлерів, посередницькі сервіси викупу та планову доставку з великого магазину. Їхні сильні сторони зосереджені в швидкому доступі до послуги та ширині пропозиції, а слабкі - у нестабільності часу виконання в піки, ризиках фактичної відсутності товару та якості замін, а також у комунікаційних розривах під час збоїв. Саме ці “прогалини керованості” створюють простір для моделі мережі дарксторів, де процес комплектації, контроль запасів і правила замін можуть бути стандартизовані, а SLA - підтриманий через прогнозування піків, буфери часу та адаптивну диспетчеризацію кур'єрів у межах міста.

1.5 Нормативно-організаційні умови роботи доставки та кур'єрів у місті

Функціонування міської доставки продуктів у форматі “same-day” нормативно визначається поєднанням вимог до безпечності харчових продуктів (гігієна, простежуваність, недопущення порушення “холодового ланцюга”), вимог до інформації/маркування для споживача (у т.ч. умови зберігання та терміни придатності), а також правил дорожнього руху і локальних рішень органів місцевого самоврядування щодо організації руху й паркування. Для мережі дарксторів це означає, що технологічні параметри комплектування і доставки мають узгоджуватися не лише з цільовими SLA, а й з обов'язковими регламентами щодо температурних режимів та законних місць короткочасної зупинки/вивантаження в зоні щільної міської забудови. Загальні обов'язки операторів ринку харчових продуктів щодо гігієнічності, запобігання забрудненню та забезпечення належних умов на етапах обігу (включно з транспортуванням) закріплюються у профільному законодавстві.

У частині перевезення харчових продуктів ключовою вимогою є підтримання таких умов транспортування, які відповідають властивостям конкретного продукту, його терміну придатності й рекомендованій температурі транспортування. Це прямо відображено у державних санітарних нормах, де

підкреслюється необхідність врахування зовнішньої температури, часу перевезення і рекомендованого температурного режиму під час вибору транспортного засобу та його оснащення. Для міської доставки “same-day” це практично означає, що система має опиратися на керування “холодовим ланцюгом” у межах коротких, але частих логістичних циклів: від моменту вилучення товару з холодильного обладнання дарксторю до передачі клієнту, з обмеженням часу перебування в умовах, які можуть спричинити прискорене мікробіологічне псування або втрату споживчих властивостей.

Оскільки точні температурні межі залежать від категорії товару та вимог стандартів/виробника, у практичній організації доставки використовується поєднання двох підходів. Перший підхід спирається на маркування конкретного товару, де мають бути зазначені умови зберігання та строк придатності, що формує для кур’єрської технології “обов’язкову рамку” виконання. Другий підхід спирається на галузеві нормативи й стандарти, які для типових швидкопсувних категорій задають референтні температурні коридори. У таблиці наведено приклад узагальнених режимів, які можуть використовуватися як базові проектні орієнтири для формування технології “same-day” на базі дарксторю в Тернополі, з опорою на стандарти для окремих груп продукції (молоко, риба, м’ясо) та принцип “не гірше, ніж зазначено виробником у маркуванні”.

Таблиця 1.3 – Узагальнені режими, що використовуються як базові проектні орієнтири для формування технології “same-day” на базі дарксторю в Тернополі

Категорія продуктів (приклади)	Орієнтовний температурний режим у доставці	Нормативна/стандартна опора для проектного обґрунтування
1	2	3
Молоко питне пастеризоване, частина молочної групи (йогурт, кисломолочні)	близько +2...+6 °C (практично часто 4±2 °C)	ДСТУ 2661:2010 для молока встановлює зберігання за (4±2) °C, що доцільно приймати як орієнтир для “холодної” доставки
М’ясо охолоджене (у т.ч. напівфабрикати з охолодженого м’яса)	0...+4 °C	В інструкції щодо обігу м’яса зазначено температурний інтервал 0–4 °C для охолодженого м’яса (як характеристика режиму зберігання), що використовується як референс для доставки
Риба заморожена, швидкозаморожені продукти	не вище –18 °C	ДСТУ 4868:2007 для замороженої риби передбачає транспортування за температури не вище –18 °C, що є типовим нормативним орієнтиром для frozen-категорій

1	2	3
Усі категорії, що мають специфічні режими (дитяче харчування, кулінарія, гастрономія тощо)	згідно з умовами зберігання/використання, визначеними виробником і відображеними в обов'язковій інформації	Законодавство про інформацію для споживачів вимагає надання істотної інформації, включно з умовами зберігання та строками придатності; це робить маркування “первинним джерелом” режиму для кур'єра

Упакування і маркування в системі доставки “same-day” виконують подвійне завдання: з одного боку, вони забезпечують гігієнічний бар'єр і збереження якості (захист від механічних пошкоджень, протікань, перехресного забруднення), з іншого - забезпечують коректність інформації для споживача й керованість операцій (ідентифікація замовлення, партії, умов зберігання). Нормативна логіка тут полягає в тому, що споживач має отримувати харчовий продукт з належною інформацією, зокрема щодо терміну придатності (“вжити до/придатний до”) та умов зберігання, а також з позначенням алергенів у спосіб, що дозволяє їх однозначно ідентифікувати. В організаційному вимірі для дарксторю це трансформується у регламентацію пакування за температурними групами (щонайменше розділення “ambient/chilled/frozen”), застосування герметичних пакетів для сирих продуктів із ризиком протікання, а також закриття замовлення пломбою/стікером із ідентифікатором (штрихкод/QR) як елементом простежуваності внутрішнього обігу.

Правила безпеки дорожнього руху є універсальним нормативним каркасом для діяльності кур'єрів незалежно від того, чи виконується доставка пішки, велосипедом, мопедом або автомобілем. Дотримання ПДР є не тільки юридично обов'язковим, але й технологічно критичним, оскільки безпека маневрування, вибір місць короткочасної зупинки та дисципліна паркування прямо впливають на стабільність часу вручення та ризику ДТП. Нормативною основою

виступають Правила дорожнього руху, затверджені постановою КМУ №1306, які визначають загальні обов'язки учасників руху, вимоги до зупинки/стоянки, пріоритетів, руху в житлових/пішохідних зонах тощо. Для “same-day” важливо, що модель доставки має бути побудована так, аби кур'єр не був поставлений у ситуацію “конфлікту” між SLA і законністю маневрування (наприклад, спокуса зупинки в забороненій зоні, рух тротуарами на транспорті, що не допускається, або небезпечні маневри для економії хвилин).

Локальні обмеження руху й паркування в Тернополі формують практичні рамки доступу до центральної частини міста та визначають “вартість” останніх 50–150 метрів маршруту. У місті діє система платних майданчиків для паркування з встановленими тарифами (зокрема повідомлялося про 15 грн/год і оновлення режимів роботи, включно з особливостями для центральної частини). Окремі ділянки центральної зони мають фізичні обмежувачі в'їзду (боларди) з метою недопущення заїзду транспорту на пішохідні території, що прямо впливає на можливість “доставки до під'їзду” та змушує планувати піші ділянки. Місто також впроваджує зміни організації руху на окремих вулицях та може забороняти зупинку і стоянку на визначених ділянках для підвищення пропускної здатності, що важливо враховувати при виборі точок “короткої стоянки” для вручення і при налаштуванні навігаційних підказок кур'єрам. Додатковим фактором є тимчасові перекриття/обмеження руху та паркування під час масових заходів у центрі, про що публікуються окремі повідомлення; для “same-day” це означає потребу в оперативному інформуванні кур'єрів і динамічній маршрутизації.

У підсумку нормативно-організаційні умови для доставки продуктів у Тернополі задають дві ключові проектні вимоги до технології “same-day” на базі дарксторю. Перша вимога полягає в інституціалізації контролю якості харчового ланцюга через температурні групи, пакування та опору на маркування/стандарти, що дозволяє забезпечити безпечність і зменшити частку рекламаций. Друга вимога полягає в “узгодженні” сервісного часу вручення з

правилами дорожнього руху та локальною політикою організації руху й паркування, що знижує ризики ДТП, штрафів і зривів SLA в центрі міста.

1.6 Показники ефективності та якості сервісу “same-day” для Тернополя: вибір KPI/SLA, інтерпретація, нормативні та гранично допустимі значення

Оцінювання результативності доставки “same-day” у м. Тернопіль доцільно здійснювати через узгоджену систему *KPI/SLA*, яка одночасно відображає часову дисципліну виконання замовлень, надійність вручення, операційну продуктивність даркстору та економічну ефективність. Для міста з компактними відстанями, але з локальними затримками в центральній частині та піковими хвилями попиту, принципово важливо контролювати не лише середній час, а й “хвіст” розподілу часу доставки, тобто перцентилі P_{90} та P_{95} . Саме вони характеризують стабільність сервісу й ризик порушення *SLA*.

Повний час циклу виконання замовлення доцільно задавати як суму технологічних складових. Для i -го замовлення:

$$T_{\text{ц}}^{(i)} = T_{\text{прийм}}^{(i)} + T_{\text{комп}}^{(i)} + T_{\text{пак}}^{(i)} + T_{\text{призн}}^{(i)} + T_{\text{перем}}^{(i)} + T_{\text{вруч}}^{(i)}, \quad (1.2)$$

де $T_{\text{ц}}$ - час циклу виконання замовлення, хв;

$T_{\text{прийм}}$ - час приймання/валідації, хв;

$T_{\text{комп}}$ - час комплектування замовлення, хв;

$T_{\text{пак}}$ - час пакування та маркування, хв;

$T_{\text{призн}}$ - час призначення кур'єра і передавання замовлення, хв;

$T_{\text{перем}}$ - час переміщення до адреси клієнта, хв;

$T_{\text{вруч}}$ - сервісний час вручення (паркування/піший підхід/контакт/підтвердження), хв.

SLA для “same-day” задається пороговим часом T_{SLA} (наприклад, “до 90 хв” або “до 120 хв”) і рівнем виконання (SL), який інтерпретується як ймовірність вкладання у поріг:

$$SL = \mathbb{P}(T_{\Pi} \leq T_{SLA}), \quad \widehat{SL} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I_{SLA}^{(i)}, \quad I_{SLA}^{(i)} = \begin{cases} 1, & T_{\Pi}^{(i)} \leq T_{SLA}, \\ 0, & \text{інакше.} \end{cases} \quad (1.3)$$

Показник “відсоток вчасних доставок” (пунктуальність) доцільно рахувати відносно обіцяного часу $T_{обіц}$ (або меж тайм-слоту). Введемо індикатор вчасності $I_{вч}^{(i)}$:

$$I_{вч}^{(i)} = \begin{cases} 1, & T_{\Pi}^{(i)} \leq T_{обіц}^{(i)}, \\ 0, & \text{інакше,} \end{cases} \quad P_{вч} = \frac{\sum_{i=1}^N I_{вч}^{(i)}}{N} \cdot 100\%. \quad (1.4)$$

Надійність виконання доставки відображається успішністю вручення. Для цього використовують частку доставлених замовлень $P_{дост}$ і частку вручення з першої спроби $P_{1спр}$. Нехай $I_{дост}^{(i)}=1$, якщо замовлення вручено, та $I_{1спр}^{(i)}=1$, якщо вручено з першої спроби:

$$P_{дост} = \frac{\sum_{i=1}^N I_{дост}^{(i)}}{N} \cdot 100\%, \quad P_{1спр} = \frac{\sum_{i=1}^N I_{1спр}^{(i)}}{N} \cdot 100\%. \quad (1.5)$$

Частка скасування характеризує втрати попиту та непродуктивні витрати. Доцільно розділяти скасування до старту комплектування та після старту комплектування. Якщо $N_{ск}$ - кількість скасованих замовлень, $N_{ск,до}$ - скасування до комплектування, $N_{ск,піс}$ - після старту комплектування, тоді:

$$P_{ск} = \frac{N_{ск}}{N} \cdot 100\%, \quad P_{ск,до} = \frac{N_{ск,до}}{N} \cdot 100\%, \quad P_{ск,піс} = \frac{N_{ск,піс}}{N} \cdot 100\%. \quad (1.6)$$

Операційна якість “вчасно та повністю” доцільно відображається показником ОТІФ, який поєднує вчасність і повноту (без нестач або з погодженими замінами). Нехай $I_{повн}^{(i)}=1$, якщо замовлення зібране без дефіциту (або заміни погоджені згідно з політикою), тоді:

$$P_{OTIF} = \frac{\sum_{i=1}^N \left(I_{вч}^{(i)} \cdot I_{повн}^{(i)} \right)}{N} \cdot 100\%. \quad (1.7)$$

Продуктивність комплектування - базовий *KPI* даркстору, який визначає пропускну здатність у пікові години. Вимірюється “замовленнями на людино-годину” та “позиціями на людино-годину”. Якщо $N_{комп}$ - кількість скомплектованих замовлень за період, L - загальна кількість позицій (рядків) у цих замовленнях, $H_{комп}$ - витрачені людино-години комплектувальників, тоді:

$$P_{комп} = \frac{N_{комп}}{H_{комп}} \quad [\text{замовл./люд.-год}], \quad L_{комп} = \frac{L}{H_{комп}} \quad [\text{позицій/люд.-год}].$$

Економічний інтегральний показник - собівартість одного замовлення (без вартості товару), яку доцільно декомпонувати на складові даркстору й доставки:

$$C_{зам} = C_{ДС} + C_{дост} + C_{уп} + C_{накл}, \quad (1.8)$$

де $C_{зам}$ - собівартість виконання замовлення, $C_{ДС}$ - витрати даркстору на комплектування й пакування (праця та операції), $C_{дост}$ - витрати доставки (праця кур'єра та змінні транспортні витрати), $C_{уп}$ - пакувальні матеріали, $C_{накл}$ - розподілені накладні витрати (оренда, енергія, ІТ, адміністрування).

У наближеній розрахунковій формі витрати праці для даркстору і доставки можна оцінити через нормативи часу та погодинні ставки. Якщо $w_{комп}$ - вартість

1 люд.-год комплектувальника, $t_{комп}$, $t_{пак}$ - середні тривалості операцій на замовлення в годинах, тоді:

$$C_{ДС} \approx w_{комп} \cdot (t_{комп} + t_{пак}). \quad (1.9)$$

Якщо $w_{кур}$ - вартість 1 люд.-год кур'єра, $t_{дост}$ - час кур'єрського циклу на одне замовлення (включно з під'їздом і врученням) в годинах, тоді:

$$C_{праця,дост} \approx w_{кур} \cdot t_{дост}. \quad (1.10)$$

Змінні транспортні витрати можна пов'язати з пробігом d і питомою вартістю кілометра $k_{км}$:

$$C_{тр} \approx k_{км} \cdot d, \quad C_{дост} \approx C_{праця,дост} + C_{тр}. \quad (1.11)$$

Оцінки клієнтів і NPS фіксують сприйняту якість сервісу. Якщо оцінка R задається у шкалі 1–5, то контролюється середнє значення \bar{R} . NPS визначається через частки промоутерів (9–10) і детракторів (0–6) у шкалі 0–10. Якщо $N_{пр}$ - кількість промоутерів, $N_{д}$ - кількість детракторів, $N_{відп}$ - загальна кількість відповідей, тоді:

$$NPS = \left(\frac{N_{пр}}{N_{відп}} - \frac{N_{д}}{N_{відп}} \right) \cdot 100. \quad (1.12)$$

Нижче наведено рекомендовані цільові (“норма”) та гранично допустимі значення KPI/SLA для Тернополя як для середнього за розмірами міста з типовими піками у вечірній час і з локальними затримками в центральній частині. “Норма” трактується як рівень, який забезпечує конкурентний сервіс і стійкість до піків. “Гранично допустиме” - рівень, нижче/вище якого сервіс

вважається таким, що потребує негайних коригувальних дій (ресурси, маршрутизація, слоти, політика заміни, комунікація).

Таблиця 1.4 – Рекомендовані цільові (норма) та гранично допустимі значення KPI/SLA для Тернополя

Показник	Позначення	Норма для Тернополя	Гранично допустиме	Інтерпретація для управління
1	2	3	4	5
Час циклу (медіана)	$P_{50}(T_u)$	50–70 хв	80 хв	Стабільний “типовий” час для більшості замовлень
Час циклу (90-й перцентиль)	$P_{90}(T_u)$	≤ 90 хв	≤ 110 хв	Контроль варіативності в піки; чутливий до заторів і черг у дарксторі
Час циклу (95-й перцентиль)	$P_{95}(T_u)$	≤ 105 хв	≤ 120 хв	Критичний показник ризику зриву SLA “same-day”
SLA-виконання для порогу 120 хв	\widehat{SL} при $(T_{SLA}=120)$ хв	$\geq 97\%$	$\geq 95\%$	Мінімальний “санітарний” стандарт для сервісу “same-day”
Вчасні доставки (відносно $(T_{обіц})$)	$P_{вч}$	$\geq 95\%$	$\geq 90\%$	Показник пунктуальності тайм-слотів/обіцяного часу
Успішність вручення	$P_{дост}$	$\geq 99\%$	$\geq 97\%$	Характеризує надійність доведення замовлення до клієнта
Вручення з першої спроби	$P_{1спр}$	$\geq 98\%$	$\geq 95\%$	Відображає якість адреси/контакту, комунікації та вибору слоту

1	2	3	4	5
Скасування загалом	$P_{ск}$	$\leq 2.5\%$	$\leq 5\%$	Інтегрує проблеми SLA, наявності товарів, комунікації
Скасування після старту комплектування	$P_{ск,ніс}$	$\leq 0.5\%$	$\leq 1.5\%$	Найдорожчі скасування; мають бути мінімізовані політикою підтвердження та замін
ОТІФ (вчасно та повністю)	P_{OTIF}	$\geq 92\%$	$\geq 88\%$	Комплексний індикатор “якість + пунктуальність”
Продуктивність комплектування (замовл./люд.-год)	$P_{комп}$	4.5–6.0	≥ 3.5	Визначає пропускну здатність даркстору в пікові години
Продуктивність комплектування (позицій/люд.-год)	$L_{комп}$	70–110	≥ 55	Чутлива до планограми, маршруту комплектувальника, “гарячих” позицій
Собівартість виконання замовлення (без товару)	$C_{зам}$	60–90 грн	≤ 120 грн	Перевищення ліміту з’їдає маржу та унеможливорює конкурентний тариф
Середня оцінка сервісу (1–5)	\bar{R}	≥ 4.7	≥ 4.4	Швидко реагує на запізнення, помилки комплектації та погану комунікацію
NPS (0–100)	NPS	≥ 50	≥ 30	Інтегральний показник лояльності; падіння вказує на системні збої

Для практичного керування процесом у Тернополі доцільно додатково “прив’язати” до норми й гранично допустимих значень окремі складові часу циклу, оскільки саме вони підказують, де знаходиться вузьке місце. Рекомендовані орієнтири для компонент $T_{ц}$ (у середньому на замовлення за нормальних умов) такі: $T_{прийм}$ як норма до 2 хв і гранично до 5 хв, $T_{комп}$ як норма 10–14 хв і гранично до 18 хв, $T_{нак}$ як норма 3–5 хв і гранично до 8 хв, $T_{призн}$ як норма до 5 хв і гранично до 12 хв, $T_{перем}$ як норма 15–25 хв і гранично до 35 хв, $T_{вруч}$ як норма 3–5 хв і гранично до 8 хв. Така деталізація дозволяє відрізнити

“проблему дарксторю” (ріст $T_{комп}$, $T_{пак}$, $T_{призн}$) від “проблеми міста” (ріст $T_{перем}$, $T_{вруч}$ у центральній зоні через паркування і піші ділянки).

Узагальнюючи, система *KPI/SLA* для “same-day” у Тернополі має працювати як єдиний контур управління: часові показники T_u , $P_{вч}$, SL задають дисципліну сервісу, $P_{дост}$ і $P_{1спр}$ відображають надійність вручення, $P_{ск}$ і $P_{ск,ніс}$ показують втрати попиту та непродуктивні витрати, $P_{комп}$ і $L_{комп}$ визначають пропускну здатність дарксторю, $C_{зам}$ характеризує економічну життєздатність моделі, а \bar{R} і NPS фіксують кінцеву якість сервісу з точки зору клієнта. Саме така постановка дозволяє надалі в проєктному розділі обґрунтовано вибирати кількість дарксторів, графіки змін, правила батчингу та маршрутизації так, щоб досягти “швидко, стабільно, з прогнозованою собівартістю” у реальних умовах Тернополя.

1.7 Висновки та постановка задач на кваліфікаційну роботу бакалавра

Проведений аналіз показує, що “quick commerce” у форматі дарксторів є технічно та організаційно придатною моделлю для Тернополя, оскільки дозволяє скоротити “останню милю” за рахунок наближення запасів до споживача, стандартизації операцій комплектування та керованого розподілу кур’єрів у пікові години. Для міста з неоднорідною вулично-дорожньою мережею та вираженими “вузькими місцями” (центральна частина, мости/перетини, перехрестя з періодичними затримками) критичною стає не стільки максимальна швидкість, скільки стабільність часу виконання замовлення та здатність системи працювати без різких провалів у піках попиту.

Характеристика Тернополя як середовища “same-day” вказує на ключове обмеження проєктування: часова мінливість пропускнуї здатності маршрутів упродовж дня. Отже, сервіс має бути спроектований з урахуванням часових “вікон” попиту і заторів, а також сезонності (погіршення погодних умов, скорочення світлового дня, слизькі покриття), що безпосередньо впливають на швидкість кур’єра, ризики ДТП та стабільність доставки. Для зниження впливу

цих факторів мережа дарксторів повинна формуватися так, щоб мінімізувати довгі плечі доставки та зменшити залежність від проходження через центральні перевантажені ділянки.

Сегментація попиту у Тернополі дає підстави розглядати домогосподарства як базовий попитуотворювальний сегмент, офіси та приватні “термінові” замовлення як стабілізатор денного попиту, а заклади харчування як B2B-мікросегмент із підвищеними вимогами до швидкості та регулярності. Чутливість клієнтів до тарифу доставки та якості комунікації означає, що конкурентоспроможність визначатиметься балансом між ціною сервісу й гарантованими параметрами часу та надійності.

Аналіз конкурентного поля показує типові проблеми, на яких слід “закрити” проєктні рішення: зриви часу через неузгодженість комплектування і виїзду кур’єра, недовручення через помилки адреси/контакту, скасування через відсутність товару або заміни, а також недостатня прозорість для клієнта щодо статусу замовлення. Це означає, що технологія процесу має включати контрольні точки якості та чіткі нормативи часу на ключові операції, а також правила роботи із замінами і поверненнями.

Нормативно-організаційні вимоги (температурні режими для окремих категорій, маркування й упакування, правила дорожнього руху та локальні обмеження паркування/зупинки) формують обов’язкові рамки проєкту. Особливо важливим є забезпечення “холодового ланцюга” для чутливих продуктів та уніфіковані правила комплектації/пакування, які зменшують ризики псування та претензій. У частині БДР для кур’єрів необхідно закласти заходи, що знижують аварійність і забезпечують прогнозованість часу, навіть якщо це потребує консервативніших швидкісних припущень.

Визначені KPI/SLA для “same-day” у Тернополі мають відображати не тільки середній час, а й гарантовану надійність. Як проєктні орієнтири доцільно прийняти такі цілі сервісу: досягнення доставки в межах 60 хв для пріоритетної зони або виконання тайм-слотів 1–2 години для решти міста; частка вчасних доставок не нижче 90–95%; успішність вручення не нижче 97–99%; частка

скасувань на боці сервісу не вище 2–4%; продуктивність комплектування на рівні, що забезпечує обробку піків без накопичення черги; собівартість замовлення як керована величина, що залежить від конфігурації мережі та частки батчингу; NPS/оцінки як інтегральний індикатор якості комунікації, точності комплектування і фактичного часу.

Метою дипломного проєкту є спроектувати мережу дарксторів і технологію доставки “same-day” у м. Тернопіль, які забезпечують задані рівні швидкості та надійності сервісу за умов міських обмежень, нормативних вимог до перевезення харчових продуктів і економічної доцільності впровадження.

Об’єктом проєктування є операційна система “dark store → кур’єрська доставка → клієнт” у межах міста Тернопіль, а предметом - параметри мережі дарксторів, зонування, технологічні нормативи операцій, склад і чисельність ресурсів (персонал та кур’єрський парк), правила маршрутизації/тайм-слотів, а також система контролю KPI/SLA.

Проєктна задача формулюється як вибір такої конфігурації (кількість і розміщення дарксторів, поділ на зони, типи кур’єрського транспорту, регламенти процесів і диспетчеризації), яка мінімізує сумарні витрати на виконання замовлень при забезпеченні встановлених KPI/SLA та виконанні обмежень міського середовища і вимог безпеки.

У межах дипломного проєктування необхідно виконати прогнозування та опис попиту у розрізі доби/годин для цільових сегментів, щоб отримати розрахункові навантаження на даркстори та доставку. На основі цих даних слід обґрунтувати варіанти мережі з однією, двома або трьома точками, визначити критерії їх розміщення та порівняти варіанти за часом доступу, стійкістю до піків і витратами.

Далі потрібно розробити зонування міста між дарксторами з оцінкою часу поїздки та “перекриттів” зон для балансування попиту, а також сформулювати технологічну схему виконання замовлення з нормативами часу на приймання/підтвердження, комплектування, пакування, передачу кур’єру, переміщення, вручення та закриття замовлення. На цій основі визначається

пропускна здатність дарксторів, необхідна чисельність персоналу у змінах і резерви на форс-мажори.

Окремою задачею є формування кур'єрського парку під умови Тернополя: вибір типів засобів доставки (пішохідні, велосипедні, електроскутери, легкові авто) та їх зон застосування з урахуванням маси/об'єму кошика, температурних вимог і стабільності часу. Після цього слід виконати розрахунок кількості кур'єрів і транспортних одиниць у пікові години на підставі циклу доставки та можливого батчингу, а також розробити принципи маршрутизації й тайм-слотів, включно з правилами групування, обмеженнями за “холодовим ланцюгом” та механізмами динамічного перепризначення.

Проект має завершуватися побудовою системи KPI/SLA з методиками розрахунку, цільовими рівнями та процедурою реагування на відхилення, а також економічним обґрунтуванням, у якому визначається структура витрат, собівартість доставки/замовлення, порівняння сценаріїв мережі та чутливість до попиту й тарифу. Необхідно довести доцільність впровадження обраної конфігурації або сформулювати умови, за яких проект стає економічно виправданим.

2 ЗАХОДИ ІЗ УДОСКОНАЛЕННЯ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ

2.1 Вихідні дані та припущення для розрахунків системи “same-day” на базі даркстору (м. Тернопіль)

Прийняті значення мають характер обґрунтованого базового сценарію для міського середовища Тернополя й можуть уточнюватися в межах калібрування моделі за фактичними даними оператора.

Нижче наведено узагальнення ключових припущень, а деталізацію подано в наступних підпунктах.

Таблиця 2.1 – Узагальнення ключових припущень запропонованої моделі

Параметр	Прийняте припущення	Числове значення / інтерпретація
1	2	3
Зона покриття (експрес)	Обмежується ізохроною часу переміщення кур'єра	$T_{пер} \leq 20$ хв; за $v_{ef}=0,22$ км/хв \rightarrow $R_{екв} \approx 4,4$ км; $A_{екв} \approx 60,8$ км ²
Зона покриття (тайм-слот)	Дозволяє більший радіус за рахунок ширшого вікна	$T_{пер} \leq 35$ хв; $R_{екв} \approx 7,7$ км (на практиці обмежується межами міста/попитом)
Цільовий рівень сервісу (SLA)	Експрес до 60 хв або тайм-слоти 1–2 години	Експрес: $P_{85}(T_{цикл} \leq 60)$ хв; Тайм-слот: P_{95} доставок у межах вікна ($W=120$) хв
Прогноз попиту	Типовий будній день	$N_{доб}=550$ замовл./добу; розподіл λ_h за годинами 08:00–22:00

1	2	3
Середня маса кошика	Сумарна маса товарів у замовленні	$m_{сер}=3,4$ кг; $m_{p90} \approx 8,8$ кг
Середній об'єм кошика	Еквівалентний об'єм (літри)	$V_{сер}=8,5$ л; $V_{p90} \approx 22$ л
Робочий графік	Операційні “вікна” даркстору та доставки	Комплектування/склад: 07:00–23:00; доставка: 08:00–22:00; cut-off експрес: 21:00

Зона покриття та транспортні припущення

Під зоною покриття розуміється територія, в межах якої система здатна забезпечити заданий *SLA* з урахуванням бюджетування часу на внутрішньоскладські операції та “останню милю”. Для міської кур'єрської доставки критичним є не геометричний радіус, а час переміщення. Тому зона покриття в розрахунках задається через ізохрони часу переміщення $T_{пер}$.

Для базового сценарію приймається ефективна швидкість кур'єра $v_{еф}=0,22$ км/хв ($\approx 13,2$ км/год), що агрегує вплив перехресть, світлофорів, коротких зупинок, маневрування у дворах і під'їздах. Тоді еквівалентний радіус зони за заданим бюджетом часу переміщення визначається як

$$R_{екв} = v_{еф} \cdot T_{пер}. \quad (2.1)$$

Для експрес-режиму з бюджетом $T_{пер}=20$ хв маємо $R_{екв}=0,22 \cdot 20=4,4$ км, а еквівалентна площа покриття (за круговим наближенням) становить

$$A_{екв} = \pi R_{екв}^2 \approx \pi \cdot 4,4^2 \approx 60,8 \text{ км}^2.$$

Для тайм-слотів допускається більший бюджет переміщення $T_{пер}=35$ хв, що дає $R_{екв} \approx 7,7$ км. На практиці така зона коригується міськими межами та економічною доцільністю (щільність попиту на периферії), але в моделі це значення корисне як верхня межа досяжності.

Нижче наведено схематичну карту-ізохрону, яка демонструє, що “зона 20 хв” у реальному місті не є ідеальним колом через бар’єри мобільності та неоднорідність швидкостей.

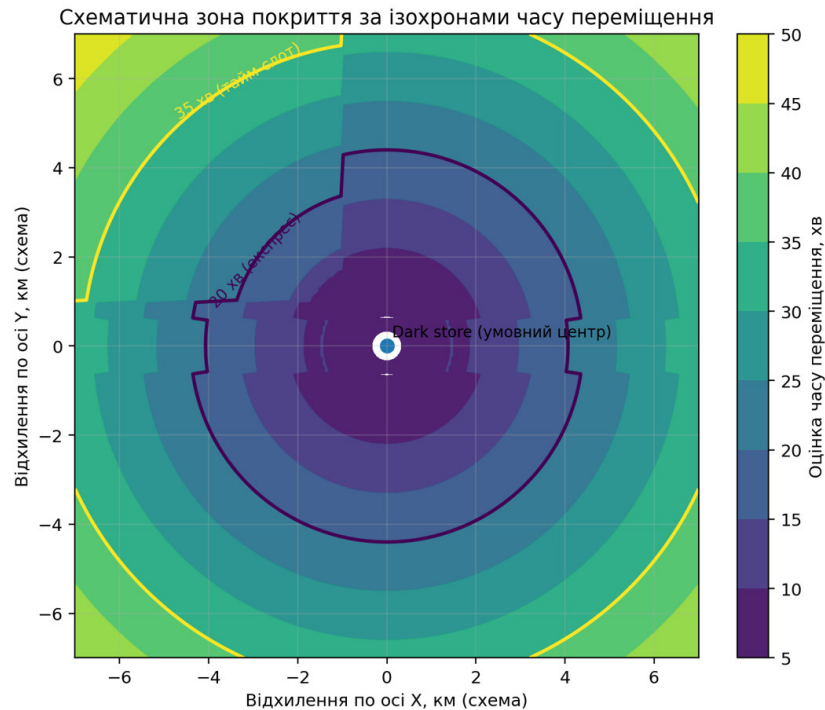


Рисунок 2.1. Схематична зона покриття за ізохронами часу переміщення

Цільовий рівень сервісу задається як вимога до тривалості повного циклу замовлення $T_{цикл}$ від моменту підтвердження до вручення. Для порівняння двох режимів вводяться два типи SLA: експрес “до 60 хв” та доставка у вікні (тайм-слот) шириною 1–2 години.

Повний цикл у хвилинах подається сумою операцій:

$$T_{цикл} = T_{прий} + T_{text.вали} + T_{омпл} + T_{нак} + T_{очк} + T_{пер} + T_{вруч} + T_{буф}, \quad (2.2)$$

де $T_{прий}$ — приймання/підтвердження, $T_{вали}$ — валідація адреси/контакту, $T_{text.компл}$ — комплектування, $T_{нак}$ — пакування, $T_{очк}$ — очікування кур’єра/підготовка

до видачі, $T_{пер}$ – переміщення “останньої милі”, $T_{вруч}$ – сервісний час вручення, $T_{буф}$ – резерв на варіативність.

Для експрес-сервісу приймається розрахунковий бюджет (хв):

$$T_{приїї}=1, T_{валі}=1, T_{компл}=10, T_{нак}=4, T_{очк}=5, T_{пер}=20, T_{вруч}=3, T_{буф}=16.$$

Сума становить рівно 60 хв:

$$T_{цикл} = 1+1+10+4+5+20+3+16 = 60 \text{ хв.}$$

У такому формулюванні “60 хв” трактується як ціль на надійність, тобто не лише середнє, а квантиль: у базовому сценарії приймається $P_{85}(T_{цикл}) \leq 60$ хв (не менше 85% доставок укладаються у 60 хв), тоді як 95-й перцентиль допускається на рівні до 90 хв для пікових ситуацій, що типово для міських систем із суттєвою варіативністю попиту.

Для тайм-слотів із шириною вікна ($W=120$) хв ціль ставиться як (P_{95}) доставок у межах вікна. Це дозволяє більшу свободу маршрутизації та консолідації (без зниження сприйманої якості), але підвищує вимоги до диспетчеризації й прогнозу попиту, оскільки запізнення виходить за межі “вікна” і сприймається клієнтом як порушення обіцянки.

Прогноз замовлень за добу та погодинний розподіл.

Обсяг попиту задається середньодобовим прогнозом $N_{доб}$ та його погодинною структурою. Для розрахункового прикладу приймається $N_{доб}=550$ замовл./добу у будній день. Погодинний попит моделюється інтенсивністю надходження λ_h (замовлень за годину) у дискретних інтервалах часу, що відповідають робочому вікну доставки 08:00–22:00. У найпростішій постановці припускається пуассонівська природа надходження:

$$N_h \sim \text{Poisson}(\lambda_h), \quad \lambda_h = N_{доб} \cdot p_h, \quad (2.3)$$

де p_h – частка добового попиту в годині h , $\sum p_h = 1$.

Для базового профілю прийнято, що піки припадають на обідній та вечірній періоди, а мінімум – на ранні години. Узгоджений погодинний розподіл наведено в таблиці.

Таблиця 2.3 – Узгоджений погодинний розподіл обсягів попиту

Година	Частка, %	λ_h , замовл./год
08:00–09:00	3,0	16,5
09:00–10:00	4,0	22,0
10:00–11:00	5,0	27,5
11:00–12:00	6,0	33,0
12:00–13:00	8,0	44,0
13:00–14:00	9,0	49,5
14:00–15:00	8,0	44,0
15:00–16:00	6,0	33,0
16:00–17:00	6,0	33,0
17:00–18:00	8,0	44,0
18:00–19:00	10,0	55,0
19:00–20:00	11,0	60,5
20:00–21:00	9,0	49,5
21:00–22:00	7,0	38,5

Візуалізація погодинного профілю подана на графіку; вона буде використана далі для оцінювання пікових навантажень, потрібної пропускної здатності комплектування та мінімально необхідної кількості кур'єрів у години максимуму.



Рисунок 2.2. Прогнозований годинний профіль попиту

Середня маса та об’єм кошика. Частка “важких” замовлень

Параметри кошика впливають на тривалість операцій у дарксторі (комплектування й пакування), вибір тари, а також на продуктивність “останньої милі” (швидкість руху, можливість одночасного перевезення кількох замовлень, ергономіку вручення). У моделі використовуються два ключові агрегати: маса замовлення (m) та еквівалентний об’єм (V).

Для базового сценарію приймаються значення $m_{сер}=3,4$ кг та $V_{сер}=8,5$ л, а для високих перцентилів $mP90 \approx 8,8$ кг і $VP90 \approx 22$ л. Це означає, що більшість замовлень є “легкими” й добре придатними для доставки кур’єрами на легкому транспорті, однак у хвостах розподілу присутні замовлення, які суттєво збільшують сервісний час і обмежують консолідацію.

Частка “важких” замовлень вводиться як

$$\alpha_{важ} = \frac{N_{важ}}{N_{заг}}, \quad (2.4)$$

де “важкими” вважаються замовлення з $m > 10$ кг та/або $V > 25$ л. У розрахунковому прикладі приймається $\alpha_{важ} = 0,12$ (12%). Для таких замовлень доцільно передбачати коригувальні надбавки до часу операцій, зокрема $\Delta T_{компл} \approx 2$ хв (повільніший відбір і переміщення) та $\Delta T_{вруч} \approx 1$ хв (маневрування з габаритною тарою, підйом на поверх/до під’їзду), що напряду “з’їдає” резерв $T_{буф}$ експрес-режиму.

Нижче наведено прийнятну структуру замовлень за масою та об’ємом, яка застосовується для оцінювання навантаження на кур’єрів і для відокремлення потоку “важких” замовлень у подальших розрахунках.

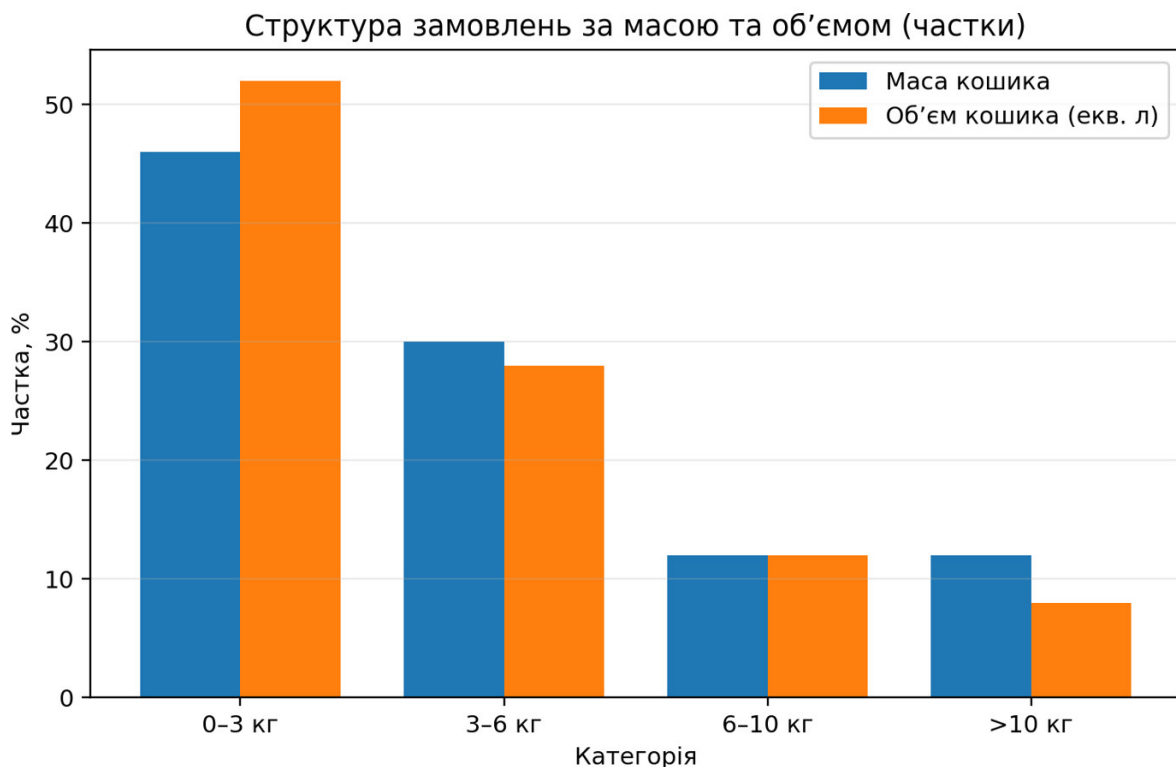


Рисунок 2.3. Структура замовлень за масою та об’ємом

Робочий графік та операційні “вікна”

Для узгодження попиту, внутрішньоскладських операцій і доставки в моделі фіксується робочий графік системи. Приймається, що складські операції даркстору (приймання, поповнення, комплектування, пакування) функціонують у розширеному вікні 07:00–23:00, що дозволяє виконувати підготовчі та завершальні операції поза піком клієнтських доставок. Вікно доставки для клієнтів приймається 08:00–22:00, а відсічення (cut-off) для експрес-замовлень –

21:00, щоб зберегти реалістичність дотримання $T_{цикл} \leq 60$ хв наприкінці дня за зростання часу вручення та накопичення операційних “хвостів”.

У контексті подальших розрахунків важливо, що саме межі робочого вікна задають часову область, на якій формується профіль λ_h , і визначають, чи є попит “розтягнутим” (легше тримати SLA) або концентрованим (потрібні пікові ресурси). Окремо зазначається, що робочий графік має враховувати мінливість попиту за днями тижня; однак у цьому підрозділі фіксується базовий будній сценарій як “нульова” гіпотеза для подальшого аналізу чутливості.

Підсумкова інтерпретація прийнятих даних для наступних етапів моделювання

Зафіксовані припущення перетворюють постановку задачі з описової на розрахункову: задано попит у вигляді $N_{доб}$ та λ_h , визначено SLA через бюджет часу $T_{цикл}$ у хвиликах і встановлено частину цього бюджету для переміщення $T_{пер}$, що формує зону покриття через ізохрони. Додатково параметризовано “кошик” замовлення (маса/об’єм) та виділено частку “важких” замовлень, яка в подальшому має бути відображена або окремим потоком, або надбавками до часових норм.

2.2 Обґрунтування конфігурації мережі дарксторів у м. Тернопіль і транспортні розрахунки

Конфігурація мережі дарксторів у міському quick commerce визначається компромісом між швидкістю «останньої милі» та витратами на утримання запасів і персоналу в кожній точці. Зі збільшенням кількості дарксторів середня відстань до клієнта зменшується, зростає ймовірність виконання SLA у пікові години та зменшується кур’єрський пробіг. Водночас надмірна «дрібність» мережі погіршує ефект масштабу: потрібні дублікати товарного запасу, окремі зони приймання/зберігання/комплектування, складніша система поповнення і балансування асортименту.

Для Тернополя доцільно спиратися на три групи критеріїв розміщення дарксторів: близькість до осередків попиту (житлова щільність і частка «щоденних» покупок), транспортна доступність (вихід на магістральні вулиці та об'їзні траси, мінімізація бар'єрів перетину міста), а також операційні обмеження (можливість організувати приймання/крос-док, паркування кур'єрів, пожежні та санітарні вимоги, низька конфліктність із житловою забудовою).

Як опорні міські «якорі» для конфігурацій 1–3 точки обрано такі райони (координати наведено так, щоб їх можна було прямо відкрити у Google Maps або імпортувати як шар у My Maps):

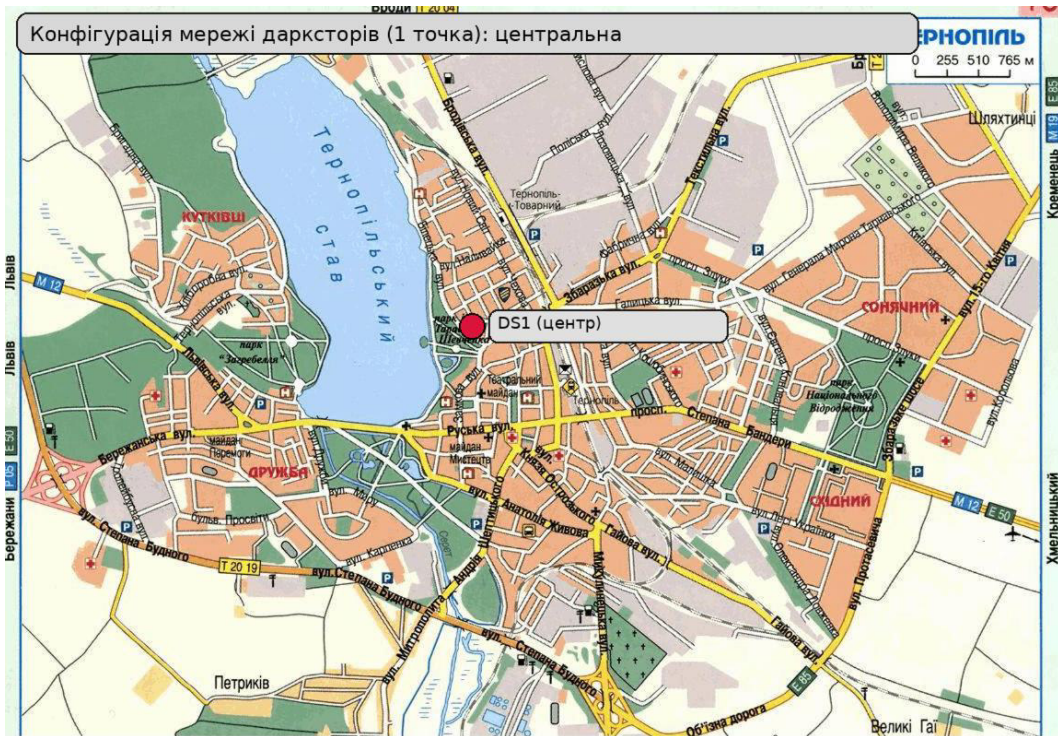
Точку DS1 доцільно ставити в центральній частині, в зоні найбільшої концентрації активностей, де формується значна частина «термінового» попиту; як репер використано район Театрального майдану (49.553569, 25.594388) (рис. 2.4 а).

Точку DS2 логічно прив'язати до східного житлового масиву та коридору інтенсивного руху; як репер використано район вул. 15 Квітня (49.558224, 25.642998) (рис. 2.4 б), яка належить до траси М19 (частина європейського маршруту Е85), тобто забезпечує добру «підхватність» потоків і стабільний під'їзд.

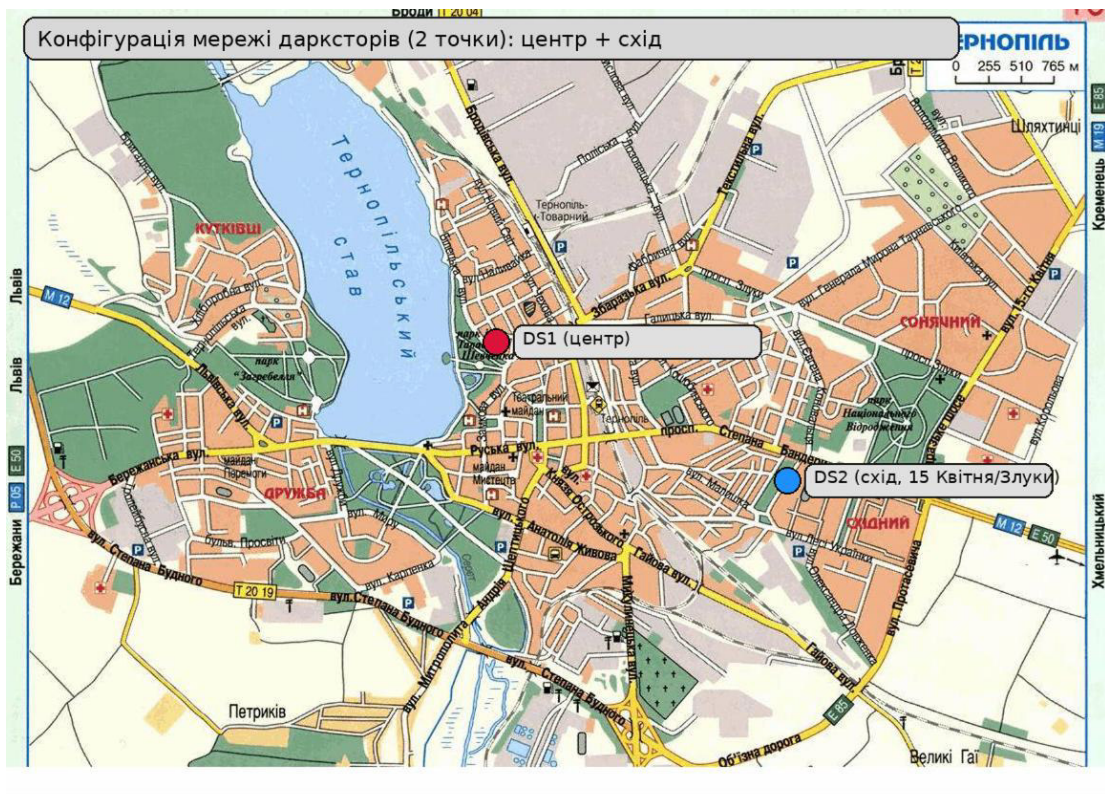
Точку DS3 доцільно розмістити у південно-західному секторі (масив «Дружба») (рис. 2.4 в), який є суттєвим кластером попиту та при цьому відділений від східних районів «геометрією» перетинів і дамби; як репер використано район вул. Миру (49.546369, 25.576974).

Додатково в місті важливий магістральний коридор М19 загалом, бо він формує «каркас» під'їздів і транзитних зв'язків.

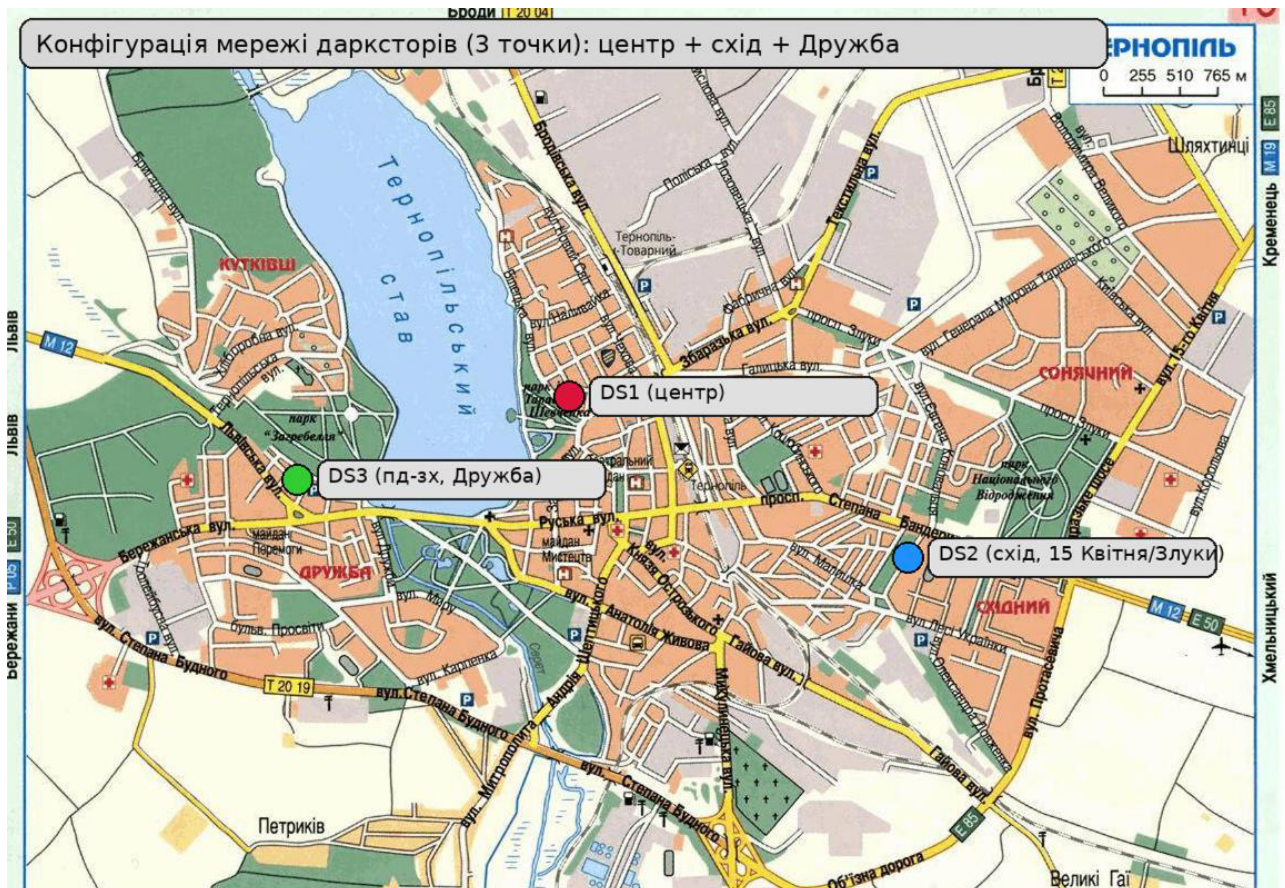
Карта розміщення точок на картографічній підкладці та відтворення в Google Maps (рис. 2.4)



а)



б)



в)

Рисунок 2.4. Розміщення центрів в м. Тернопіль:

а) одного; б) двох; в) трьох

Посилання для швидкої перевірки в Google Maps (координати ті самі, що й у KML):

DS1 (центр): <https://www.google.com/maps?q=49.553569,25.594388>

DS2 (схід): <https://www.google.com/maps?q=49.558224,25.642998>

DS3 (Дружба): <https://www.google.com/maps?q=49.546369,25.576974>

Для порівняння варіантів 1–3 точки прийнято цільовий сервіс «до 60 хв» (express same-day). Працює даркстор у режимі 08:00–22:00 (14 год/добу). Добовий попит прийнято на рівні 550 замовлень/добу, а пікове годинне навантаження - 60 замовлень/год (характерний вечірній пік для продуктового commerce).

У розрахунках «останньої милі» використано ефективну швидкість руху кур'єра в міському середовищі з урахуванням світлофорів і локальних затримок $v_{ef}=0.22$ км/хв ≈ 13.2 км/год, а також додано малу фіксовану затримку на один виїзд $T_{zam}=1$ хв (паркування/підхід/домофон).

Часовий бюджет 60 хв подано через складові:

$$T_{дост}=T_{обр}+T_{комп}+T_{ніде}+T_{виїзд}+T_{пер}+T_{вруч}+T_{рез}, \quad (2.5)$$

де прийнято $T_{обр}=2$ хв (прийом/валідація), $T_{комп}+T_{пак}=12.36$ хв у середньому (з урахуванням частки «важких» замовлень), $T_{ніде}=3$ хв (стейджинг), $T_{виїзд}=2$ хв (передача кур'єру), $T_{вруч}=3$ хв, $T_{рез}=5$ хв як резерв на коливання попиту й локальні затримки. Переміщення оцінено як

$$T_{пер} = \frac{d}{v_{ef}} + T_{зат}, \quad (2.6)$$

де d - відстань від найближчого даркстора до клієнта.

Для оцінки потреби в кур'єрах використано цикл кур'єра (одне замовлення) в хвиликах:

$$T_{ц} = T_{фікс} + (1 + k_{пов}) \cdot \frac{d}{v_{ef}}, \quad (2.7)$$

де $T_{фікс}=8$ хв (завантаження, комунікації, короткі операційні втрати), $k_{пов}=0.75$ - коефіцієнт «повернення/перепозиціонування» між замовленнями. Тоді пропускна здатність одного кур'єра $\mu=60/T_{ц}$ (зам/год), а потрібна кількість кур'єрів у пік за цільової завантаженості $\rho=0.85$:

$$m = \left\lceil \frac{\lambda_{пік}}{\mu \cdot \rho} \right\rceil. \quad (2.8)$$

Порівняння сценаріїв 1–3 точки за транспортними показниками

Оскільки для дипломного проектування важливі саме порівняльні висновки, просторовий розподіл попиту змодельовано як сукупність кластерів

(центр, східний сектор, південно-західний сектор, північний сектор) із віднесенням кожного «клієнта» до найближчого даркстора. Це дає стійкі оцінки середніх і 90-перцентильних відстаней та, відповідно, часу переміщення. У реальному проєкті цей блок уточнюється дорожніми ізохронами (OSRM/Google Routes), але для обґрунтування конфігурації мережі така постановка є коректною.

Таблиця 2.4 – Узагальнені результати за варіантами.

Сценарій	К-ть дарксторів	Сер. відстань до клієнта, км	P_{90} відстані, км	$T_{дост\ сер}$, хв	$T_{дост\ P_{90}}$, хв	Кур'єрів у пік, осіб	Орієнт. пробіг/добу, км
1 точка (центр)	1	2.38	4.16	38.8	46.9	32	2287.7
2 точки (центр+ схід)	2	1.63	2.79	35.4	40.7	26	1572.0
3 точки (центр+ схід+ Дружба)	3	1.41	2.50	34.4	39.4	25	1354.2

Перехід від 1 до 2 точок дає найбільший структурний ефект: P_{90} відстані зменшується приблизно з 4.16 км до 2.79 км, що напряду знижує ризик «вилітати» за SLA при заторах і пікових хвилях. Паралельно зменшується потреба в кур'єрах у пікову годину з 32 до 26 осіб і скорочується добовий пробіг приблизно на третину. Додавання третьої точки (пд-зх сектор «Дружба») дає вже менший, але все ще корисний приріст: P_{90} часу доставки зменшується ще приблизно на 1.3 хв, кур'єрський пробіг падає до ~1354 км/добу, а потреба в кур'єрах у пік знижується ще на 1 особу.

Важливо, що транспортний вигравш від 3-ї точки супроводжується організаційними втратами масштабу. У дво- і три-точковій мережі попит

розподіляється між дарксторами, а отже потрібні окремі мікрокоманди комплектування та пакування в кожній локації; при фіксованому SLA це підвищує ризик локальних «перепіків», якщо персонал не є взаємозамінним і не застосовується міжточкове балансування запасів. У термінах операційної стійкості дві точки зазвичай є «солодкою серединою» для міста масштабу Тернополя, тоді як третя точка стає виправданою, коли частка попиту в пд-зх секторі стабільно висока та/або коли є додаткові стратегічні мотиви (наприклад, розвантажити центр у вечірній пік, дати окремий контур обслуговування для студентських/рекреаційних зон, або зменшити перетини міста кур'єрами).

З транспортної точки зору мінімально достатньою для стабільного SLA «до 60 хв» у Тернополі є конфігурація з 2 дарксторами «центр + схід», оскільки саме вона різко зменшує «довгі хвости» відстаней і знижує потребу в кур'єрах у пік при суттєвому падінні кур'єрського пробігу. Третя точка в секторі «Дружба» є технічно доцільною як сценарій масштабування, що дає додаткове зменшення пробігу і підвищує надійність виконання SLA у вечірні піки, але потребує сильнішої системи управління запасами й персоналом, щоб не втратити ефект від зростання операційної складності.

2.3 Зонування міста під мережу дарксторів і оцінка часу доступу кур'єрами.

Ефективність системи “quick commerce” в умовах середнього міста, яким є Тернопіль визначається здатністю забезпечувати короткий та стабільний час доставки впродовж добового циклу попиту. Для цього територію міста доцільно розглядати як множину просторових точок попиту $x \subset \Omega$, для кожної з яких встановлюється мінімальний очікуваний час доступу $\tau(x)$ від найближчого (або найдоцільнішого з погляду завантаження) даркстору. Зонування у цьому контексті не зводиться до геометричного “поділу площі”, а є інструментом керування двома взаємопов’язаними процесами: забезпечення SLA за часом та балансування потоку замовлень між дарксторами.

Модель часу доступу та складові циклу доставки

У практиці операційного планування даркстору час доставки до клієнта є лише частиною повного циклу виконання замовлення. Для коректного визначення радіуса обслуговування спочатку фіксується цільовий рівень сервісу (наприклад, доставка “до 60 хв”) і декомпонується на керовані компоненти. Уведемо позначення: T_{SLA} - граничний час виконання замовлення; $t_{компл}$ - час комплектування; $t_{пак}$ - пакування та видача кур’єру; $t_{оч}$ - очікування призначення кур’єра/під’їзду до видачі; $t_{рез}$ - резерв на стохастичні коливання (погода, затори); $t_{шл}(x)$ - час переміщення за вуличною мережею до точки x ; $t_{вруч}$ - сервісний час вручення. Тоді умова виконання SLA для точки попиту має вигляд

$$t_{компл} + t_{пак} + t_{оч} + t_{шл}(x) + t_{вруч} + t_{рез} \leq T_{SLA}. \quad (2.9)$$

Звідси впливає допустимий “транспортний бюджет” на переміщення:

$$t_{шл}^{max} = T_{SLA} - (t_{компл} + t_{пак} + t_{оч} + t_{вруч} + t_{рез}). \quad (2.10)$$

Саме $t_{шл}^{max}$ визначає радіус (точніше, ізохрону) обслуговування: множину точок Ω , для яких $\tau(x)=t_{шл}(x) \leq t_{шл}^{max}$. Практично важливо, що $t_{шл}^{max}$ є змінним у часі, оскільки $t_{оч}$ та ефективна швидкість руху залежать від піків попиту і трафіку; отже, радіус обслуговування - не константа, а функція доби та дня тижня.

Для первинної інженерної оцінки радіус обслуговування можна пов’язати із середньою ефективною швидкістю кур’єра $v_{ef}(t)$ та коефіцієнтом мережевої непрямолінійності $k_M \geq 1$, що відображає відхилення маршруту від прямої лінії через квартальну структуру, бар’єри та односторонні ділянки. Якщо r - геометричний радіус зони, а $L_{мер}$ - середня довжина шляху мережею, тоді типово $L_{мер} \approx k_M \cdot r$,

$$t_{шл} \approx \frac{L_{мер}}{v_{ef}} = \frac{k_M r}{v_{ef}}. \quad (2.11)$$

Звідси одержуємо оцінку радіуса:

$$r \approx \frac{v_{\text{ef}} t_{\text{шл}}^{\text{max}}}{k_M}. \quad (2.12)$$

Якщо прийняти $T_{\text{SLA}}=60$ хв, а на нетранспортні операції закласти $t_{\text{компл}}=10$ хв, $t_{\text{нак}}=5$ хв, $t_{\text{оч}}=5$ хв, $t_{\text{вруч}}=3$ хв, $t_{\text{рез}}=7$ хв, то $t_{\text{шл}}^{\text{max}}=30$ хв. Для кур'єрів на авто/скутері в міських умовах ефективна швидкість часто лежить у межах $v_{\text{ef}}=18\dots 25$ км/год залежно від часу доби, а коефіцієнт мережевої непрямолінійності для міста з водними перешкодами та концентрацією транспорту на дамбі може бути $k_M=1.25\dots 1.50$. За $v_{\text{ef}}=20$ км/год та $k_M=1.35$ маємо $r=(20 \cdot 0.5)/1.35= 7.4$ км, що означає не “коло радіусом в 7.4 км”, а середню характерну дальність у плані, яку фактично коригують бар'єри (ізохрони стають асиметричними).

Для операційної точності замість оцінки радіуса r застосовується мережевий підхід: для кожного даркстору s_i будується поверхня часу доступу $\tau_i(x)$ за найкоротшим шляхом у графі доріг з вагами “час проїзду” (які враховують тип дороги, перехрестя, світлофори, обмеження швидкості). Межі зон тоді визначаються не евклідовими колами, а ізохронами $\tau_i(x)=\text{const}$, що більш адекватно відображає реальні траєкторії руху.

Формування меж зон: від “найближчого” до “найдоцільнішого” даркстору

Базова логіка зонування полягає у присвоєнні кожній точці попиту x того даркстору s_i , для якого очікуваний час доступу мінімальний:

$$Z_i = \{x \in \Omega : \tau_i(x) \leq \tau_j(x) \forall j \neq i\}. \quad (2.13)$$

У випадку евклідової метрики це відповідає діаграмі Вороного, проте для міста коректніше застосовувати мережевий (network) Voronoi-поділ, де відстань визначається часом руху по графу. Такий підхід автоматично враховує

географічні бар'єри та “реальні” траєкторії, і саме він дає межі зон, найближчі до операційної реальності.

Однак мінімізація часу доступу не гарантує збалансованості навантаження. Якщо один даркстор розташований ближче до територій з високим попитом, він може бути перевантажений, а інший - недовантажений, що погіршить $t_{оч}$ і, як наслідок, зменшить $t_{шл}^{max}$ для цього даркстору. Для балансування вводять “вагові” коригування, які можна інтерпретувати як штраф за завантаження або як обмеження потужності C_i (максимальна кількість замовлень за годину, яку даркстор здатен обробити з урахуванням складу кур'єрів та швидкості комплектування). Практично це формалізується правилом вибору “найдоцільнішого” даркстору:

$$i^*(x) = \arg \min_i (\tau_i(x) + \phi_i), \quad (2.14)$$

де ϕ_i - керований штраф, що зростає зі ступенем завантаження $\rho_i = \lambda_i / C_i$. За такого підходу межі зон зміщуються доти, доки система не досягне прийняттого компромісу між часом доступу та рівномірністю завантаження.

Проектування зон, як механізму керування піками попиту

Жорстке зонування “без перекриття” часто призводить до локальних провалів SLA під час піків: на межі зон один даркстор може мати чергу кур'єрів, тоді як сусідній має резерв. Тому на практиці формують буферну смугу перекриття - територію, де дозволено динамічно перепризначати замовлення між двома сусідніми дарксторами за правилом “хто швидше й вільніше”.

Нехай $\Delta\tau(x) = |\tau_1(x) - \tau_2(x)|$ - різниця часу доступу між двома найближчими дарксторами. Тоді зона перекриття може визначатися умовою близькості часу:

$$O_{12} = \{x : \Delta\tau(x) \leq \delta_\tau\}, \quad (2.15)$$

де δ_τ - допустимий поріг, наприклад 3–5 хв, при якому перепризначення не погіршує ймовірність виконання SLA. У цій смузі рішення приймається з

урахуванням поточного завантаження: якщо $\rho_1 > \rho_2$, частина замовлень перекидається на s_2 . Таке правило безпосередньо зменшує t_{oc} у перевантаженому дарксторі та стабілізує розподіл часу виконання замовлень.

Перекриття доцільно проектувати саме там, де географія створює високі варіації часу: на підходах до дамби, у зоні центральних затримок, на межі “швидкісних коридорів”, де одна й та сама відстань може давати різний час залежно від маршруту. Таким чином перекриття стає не абстрактною “превагою”, а керованим елементом надійності системи в умовах невизначеності.

Оцінка часу доступу як показник якості зонування

Якість зонування доцільно оцінювати не лише середнім часом доступу, а й показниками варіативності та ризику невиконання SLA. Для множини точок попиту (або дискретизованих транспортних зон) визначаються середні значення параметрів, а також квантілі (наприклад, $(P90)$ чи $(P95)$) як більш операційно значущі метрики. У міській доставці важливо, щоб “хвіст” розподілу часу був контрольованим: навіть якщо середній час прийнятний, перевищення $(P95)$ може означати системні зриви SLA в певних локаціях.

У цьому сенсі межі зон слід розглядати як результат оптимізації з обмеженням на ризик: зона є прийнятною, якщо для більшості точок у ній виконується $\tau_1(x) \leq t_{шл}^{max}$ з заданою ймовірністю. Якщо виявляються “кишені” перевищення часу, це сигнал до локальної корекції меж зони, введення перекриття або зміни операційних налаштувань (перерозподіл кур’єрів, зміщення графіка комплектування, використання інших транспортних засобів у піки).

Для подальших оцінок приймається, що мережа складається з трьох дарксторів: DS-1 (західна частина міста), DS-2 (центральна зона), DS-3 (східна частина). Цільовий рівень сервісу задається як доставка “до 60 хв”, тобто $T_{SLA}=60$ хв. Повний цикл виконання замовлення декомпонується на нетранспортні та транспортні складові. Для Тернополя як типового міського середовища

приймаються такі нормативно-розрахункові значення (відповідають практиці Q-commerce і забезпечують наявність резерву на випадкові коливання).

Таблиця 2.5 – Тривалість основних операцій по доставці замовлення

Компонента часу	Позначення	Прийняте значення
Комплектування замовлення	$t_{компл}$	12 хв
Пакування/видача кур'єру	$t_{нак}$	4 хв
Очікування призначення/під'їзду до видачі	$t_{оч}$	6 хв
Сервісний час вручення (контакт/підпис/фото)	$t_{вруч}$	4 хв
Резерв на стохастичні впливи (погода/локальні затори)	$t_{рез}$	9 хв

Тоді транспортний бюджет часу на переміщення (в межах SLA) визначається як

$$t_{шл}^{max} = T_{SLA} - (t_{компл} + t_{нак} + t_{оч} + t_{вруч} + t_{рез}) \quad (2.16)$$

Після підстановки прийнятих значень отримуємо

$$t_{шл}^{max} = 60 - (12 + 4 + 6 + 4 + 9) = 25 \text{ хв.}$$

Це означає, що зона обслуговування кожного даркстору повинна формуватися так, щоб для переважної більшості точок попиту виконувалось $\tau_i(x) \leq 25$ хв, де $\tau_i(x)$ – найменший час руху по мережі від даркстору i до точки x .

Для швидкої інженерної оцінки “характерного радіуса” зони вводяться ефективна швидкість кур'єра $v_{ef}(t)$ та коефіцієнт мережевої непрямої лінійності k_m , який відображає відхилення реальної траєкторії по мережі від прямої лінії (квартальна структура, односторонні вулиці, бар'єри, під'їзди до дамби). Для умов Тернополя приймається $k_m = 1.35$ як помірно підвищене значення для міста

з озером та концентрацією потоків у центральній частині. Зв'язок між часом та радіусом задається апроксимацією

$$t_{\text{шл}} \approx \frac{k_M r}{v_{\text{еф}}}, \quad r \approx \frac{v_{\text{еф}} t_{\text{шл}}^{\text{max}}}{k_M}. \quad (2.17)$$

Оскільки $v_{\text{еф}}$ залежить від часу доби, для розрахунків приймаються два режими: позапіковий $v_{\text{еф}}^{\text{off}} = 22$ км/год і піковий $v_{\text{еф}}^{\text{peak}} = 17$ км/год (з урахуванням заторів, перехресть і паркування). Тоді при $t_{\text{шл}}^{\text{max}} = 25$ хв $= 0.4167$ год маємо:

$$r^{\text{off}} \approx \frac{22 \cdot 0.4167}{1.35} = \frac{9.167}{1.35} \approx 6.79 \text{ км},$$

$$r^{\text{peak}} \approx \frac{17 \cdot 0.4167}{1.35} = \frac{7.083}{1.35} \approx 5.25 \text{ км}.$$

Отримані значення слід трактувати не як “коло”, а як типову дальність покриття: фактична зона в плані задається ізохроною $\tau_i(x) = 25$ хв і буде помітно деформована в бік магістральних коридорів та “стиснута” в районі центральних затримок і підходів до дамби. Практичний висновок для Тернополя полягає в тому, що навіть за однакового SLA геометричний радіус зони в пікові години зменшується орієнтовно на 20–25%, що потрібно враховувати при плануванні перекриття зон та резерву кур’єрів.

2.4 Порівняльний аналіз використання транспортних засобів, що використовуються у доставці

Для визначення ефективності застосування транспортних засобів використовувались актуальні ціни на пальне та електроенергію станом на 23.03.2026р.

Станом на 23.03.2026 базовий тариф для побутових споживачів становить 4,32 грн/кВт·год, а для двозонного обліку нічний тариф з 23:00 до 07:00 становить 2,16 грн/кВт·год. Для дизельного пального беру середню ціну 84,22 грн/л на 23.03.2026.

Для збереження порівнянності залишаю ті самі вихідні припущення, що й раніше:

- середня довжина однієї доставки - 6 км;
- витрата Renault Megane 1.6 diesel - 5,0 л/100 км;
- споживання Nissan Leaf - 18 кВт·год/100 км;
- споживання електромотоцикла - 6 кВт·год/100 км.

Для Renault Megane дизель нічний тариф не впливає, тому:

$$C_{\text{пал,1км}} = 0,05 \cdot 84,22 = 4,211 \text{ грн/км}$$

Повні витрати на 1 км з урахуванням експлуатаційних витрат 3,0 грн/км:

$$C_{1\text{км}} = 4,211 + 3,0 = 7,211 \text{ грн/км}$$

Собівартість однієї доставки на 6 км:

$$C_{\text{зам}} = 7,211 \cdot 6 = 43,27 \text{ грн}$$

Для Nissan Leaf за нічного тарифу:

$$C_{\text{ел,1км}} = 0,18 \cdot 2,16 = 0,389 \text{ грн/км}$$

Повні витрати на 1 км з урахуванням експлуатаційних витрат 2,5 грн/км:

$$C_{1\text{км}} = 0,389 + 2,5 = 2,889 \text{ грн/км}$$

Собівартість однієї доставки:

$$C_{\text{зам}} = 2,889 \cdot 6 = 17,33 \text{ грн}$$

Для електромотоцикла:

$$C_{\text{ел.1км}} = 0,06 \cdot 2,16 = 0,130 \text{ грн/км}$$

Повні витрати на 1 км з урахуванням експлуатаційних витрат 1,5 грн/км:

$$C_{1\text{км}} = 0,130 + 1,5 = 1,630 \text{ грн/км}$$

Собівартість однієї доставки:

$$C_{\text{зам}} = 1,630 \cdot 6 = 9,78 \text{ грн}$$

Таблиця 2.6 – Порівняння собівартості доставки за умови нічного тарифу на електроенергію (станом на 23.03.2026)

Показник	Renault Megane (дизель)	Nissan Leaf (електромобіль)	Електромотоцикл
Витрата енергії	5,0 л/100 км	18 кВт·год/100 км	6 кВт·год/100 км
Ціна енергоносія	84,22 грн/л	2,16 грн/кВт·год	2,16 грн/кВт·год
Витрати на 1 км, лише енергія	4,21 грн/км	0,39 грн/км	0,13 грн/км
Експлуатаційні витрати	3,00 грн/км	2,50 грн/км	1,50 грн/км
Повні витрати на 1 км	7,21 грн/км	2,89 грн/км	1,63 грн/км
Середня довжина доставки	6 км	6 км	6 км
Вартість доставки, лише енергія	25,27 грн	2,33 грн	0,78 грн
Повна собівартість доставки	43,27 грн	17,33 грн	9,78 грн

За результатами перерахунку з урахуванням нічного тарифу на електроенергію встановлено, що найбільшою собівартістю доставки характеризується дизельний автомобіль Renault Megane - 43,27 грн на одне замовлення. Для електромобіля Nissan Leaf цей показник зменшується до 17,33 грн, а для електромотоцикла - до 9,78 грн. Отже, використання нічного тарифу додатково підвищує економічну доцільність електротранспорту в системі міської доставки same-day, особливо для електромотоцикла як засобу виконання термінових малогабаритних замовлень, тоді як Nissan Leaf доцільно розглядати як основний транспорт для базового потоку доставок. Дизельний автомобіль

зберігає доцільність переважно для перевезення більших за масою або об'ємом партій замовлень.

2.5 Розрахунок потреби в транспортних засобах з урахуванням вантажопідйомності та часових обмежень

Для визначення потреби в транспортних засобах при організації доставки харчових продуктів у форматі *same-day* приймаємо такі вихідні дані. Добова кількість замовлень становить 120 од., середня маса одного замовлення – 8 кг.

Добовий обсяг перевезень визначається за формулою

$$Q_{\text{доб}} = N \cdot m, \quad (2.18)$$

де N – кількість замовлень за добу, од.;

m – середня маса одного замовлення, кг.

Підставивши значення, отримаємо

$$Q_{\text{доб}} = 120 \cdot 8 = 960 \text{ кг} = 0,96 \text{ т.}$$

Для доставки використовуються електромобілі Nissan Leaf та електромопеди. Приймаємо корисне завантаження за рейс для електромобіля $q_{\text{Leaf}}=0,1$ т, для електромопеда $q_{\text{мон}}=0,035$ т. Коефіцієнт використання вантажопідйомності становить

$$\gamma = 0,8$$

Кількість рейсів за добу для електромобіля приймається $n_{\text{Leaf}}=10$, для електромопеда $n_{\text{мон}}=8$.

Розрахунок за вантажопідйомністю

Добова провізна спроможність одного електромобіля визначається за формулою

$$Q_{\text{Leaf}} = q_{\text{Leaf}} \cdot \gamma \cdot n_{\text{Leaf}}, \quad (2.19)$$

$$Q_{Leaf} = 0,1 \cdot 0,8 \cdot 10 = 0,8 \text{ т/добу.}$$

Для електромопеда

$$Q_{моп} = q_{моп} \cdot \gamma \cdot n_{моп}, \quad (2.20)$$

$$Q_{моп} = 0,035 \cdot 0,8 \cdot 8 = 0,224 \text{ т/добу.}$$

Кількість транспортних засобів визначається за формулою

$$A = \frac{Q_{доб}}{Q_1}, \quad (2.21)$$

де Q_1 – добова продуктивність одного транспортного засобу.

Для електромобіля

$$A_{Leaf}^{(в)} = \frac{0,96}{0,8} = 1,2 \approx 2.$$

Для електромопедів

$$A_{моп}^{(в)} = \frac{0,96}{0,224} = 4,29 \approx 5.$$

Таким чином, за вантажопідйомністю необхідно 2 електромобілі або 5 електромопедів.

Розрахунок з урахуванням часових обмежень

Оскільки система same-day є чутливою до часу доставки, необхідно врахувати тривалість одного рейсу. Середня кількість замовлень на один рейс становить

$$n_{з/р} = \frac{N}{n_{Leaf}}, \quad (2.22)$$

$$n_{з/р} = \frac{120}{10} = 12 \text{ замовлень.}$$

Тривалість рейсу визначається як

$$t_{\text{рейс}} = t_{\text{рух}} + t_{\text{обсл}}, \quad (2.23)$$

де $t_{\text{рух}}$ – час руху;

$t_{\text{обсл}}$ – час обслуговування клієнтів.

Час обслуговування визначається за формулою

$$t_{\text{обсл}} = n_{з/р} \cdot t_1, \quad (2.24)$$

де t_1 – час обслуговування одного клієнта.

$$t_{\text{обсл}} = 12 \cdot 6 = 72 \text{ хв.}$$

Приймаючи час руху ($t_{\text{рух}} \approx 50$) хв, отримаємо

$$t_{\text{рейс}} = 50 + 72 = 122 \text{ хв} \approx 2 \text{ год.}$$

Тоді загальний час для виконання 10 рейсів

$$T = n_{\text{Leaf}} \cdot t_{\text{рейс}}, \quad (2.25)$$

$$T = 10 \cdot 2 = 20 \text{ год.}$$

що перевищує допустиму тривалість роботи.

Максимальна кількість рейсів за зміну (10 год) становить

$$n_{\text{Leaf}}^{(t)} = \frac{T_{\text{зм}}}{t_{\text{рейс}}} = \frac{10}{2} = 5. \quad (2.26)$$

Тоді фактична продуктивність електромобіля

$$Q_{\text{Leaf}}^{(t)} = 0,1 \cdot 0,8 \cdot 5 = 0,4 \text{ т/добу.}$$

Кількість транспортних засобів

$$A_{\text{Leaf}}^{(t)} = \frac{Q_{\text{доб}}}{Q_{\text{Leaf}}^{(t)}}, \quad (2.27)$$

$$A_{Leaf}^{(t)} = \frac{0,96}{0,4} = 2,4 \approx 3.$$

Таблиця 2.7 – Порівняння результатів розрахунку

Показник	Nissan Leaf	Електромопед
Добова продуктивність (за вантажопідйомністю), т/добу	0,80	0,224
Кількість ТЗ (за вантажопідйомністю), од.	2	5
Реальна кількість рейсів, од.	5	8
Добова продуктивність (з урахуванням часу), т/добу	0,40	0,224
Кількість ТЗ (з урахуванням часу), од.	3	5

Проведений розрахунок показав, що визначення потреби в транспортних засобах лише за вантажопідйомністю призводить до заниження їх кількості. У реальних умовах міської доставки визначальним фактором є час обслуговування замовлень і тривалість рейсу. З урахуванням часових обмежень необхідна кількість електромобілів зростає з 2 до 3 одиниць, що підтверджує необхідність комплексного підходу до розрахунку транспортного забезпечення системи доставки *same-day*.

3. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

3.1 Умови праці в дарксторі та на доставці: робочі місця, режими праці/відпочинку, типові небезпеки для комплектувальників, пакувальників, диспетчерів і кур'єрів

Даркстор як елемент міської логістики “останньої милі” поєднує складські та сервісні операції з високою інтенсивністю і жорсткими часовими вимогами. Технологічний цикл “same-day” формує підвищене навантаження на персонал у пікові години, коли одночасно зростає потік замовлень, темп комплектування, щільність внутрішніх переміщень та частота відвантажень на доставку. Умови праці в дарксторі визначаються плануванням приміщення, наявністю зон з різними мікрокліматичними параметрами (сухий склад, холодильні/морозильні камери), організацією внутрішнього руху, ергономікою робочих місць, рівнем механізації, а також якістю управління змінами, навчанням і контролем безпеки.

Робоче місце комплектувальника (picker) зазвичай є мобільним, оскільки основний час витрачається на відбір позицій зі стелажів за маршрутом у межах складу. Працівник використовує візок або контейнерну тару, термінал збору даних/сканер, інколи голосові системи підбору. Критичними з позиції безпеки є параметри проходів і роз'їздів, висота полиць, наявність підйомних пристроїв або драбин-стрем'янок, відповідність підлоги протиковзним вимогам, а також правило “важке - вниз”, що зменшує ризики падіння вантажів і травмування стоп. Типові небезпеки для комплектувальника пов'язані з надмірними фізичними навантаженнями (повторювані нахили, підйоми, перенесення, робота з руками вище рівня плечей), ризиком падіння предметів зі стелажів, ударами об елементи обладнання, ковзанням у зонах можливого зволоження, а також перетином траєкторій з ручними візками чи електровізками/роклами. Додатковим чинником ризику є психологічний тиск темпу виконання (КРІ на швидкість відбору), що може провокувати порушення безпечних прийомів праці.

Робоче місце пакувальника (racker) частіше стаціонарне та організовується як пакувальна станція з робочим столом, вагами, диспенсерами для стрічки та етикеток, витратними матеріалами, інколи термопакуванням або стрейчуванням. Основні ризики формуються використанням ріжучого інструменту (ножі, різці для коробів), контактом з клейкими матеріалами, повторюваними дрібними рухами кистей і передпліч, можливістю порізів, проколів, подразнення шкіри, а також незручними робочими позами при невідповідній висоті столу. Для пакувальника характерні також ризики спіткання через накопичення тари на підлозі, перевантаженість робочої зони, недотримання принципів 5S (сортування, упорядкування, чистота, стандартизація, дисципліна).

Робоче місце диспетчера/оператора доставки є інформаційно-координаційним: робота за комп'ютером з кількома моніторами, телефонним/радіозв'язком, системою керування замовленнями та маршрутизацією. Домінують небезпеки іншої природи: статичне навантаження та гіподинамія, перенапруження зору, стрес через багатозадачність і відповідальність за SLA, конфліктні комунікації з клієнтами, кур'єрами та персоналом дарксторю. Для цієї категорії важливими стають ергономіка робочого місця (крісло, висота столу, положення монітора), регламентовані перерви для зору та зміна діяльності, а також стандарти комунікацій, що зменшують психоемоційне виснаження.

Умови праці кур'єра залежать від обраного способу доставки (піший, велосипед/електровелосипед, мото/скутер, легковий або малотоннажний автомобіль) і міського середовища. Основні ризики виникають поза межами дарксторю та пов'язані з дорожньо-транспортними подіями, взаємодією з іншими учасниками руху, погодними факторами (ожеледиця, дощ, сильний вітер, спека), ковзанням на сходах і під'їздах, підніманням вантажу на поверхи, укусами тварин, ризиком конфліктів чи агресії, а також можливими криміногенними загрозами (крадіжки, напади). Додатково впливають часові обмеження "same-day", що стимулюють поспіх і підвищують імовірність порушення правил дорожнього руху та безпечних прийомів перенесення вантажів. Особливого

значення набувають інструктажі з безпеки дорожнього руху, застосування світлоповертальних елементів, справність транспорту, навігація, а також політика “без штрафів за безпеку”, коли працівник не мотивується ризикувати заради швидкості.

Режими праці та відпочинку в дарксторі, як правило, змінні та залежать від профілю попиту. Для складу характерні 8–12-годинні зміни з піковими хвилями навантаження, тому критичним є поєднання регламентованих перерв із короткими мікропаузами, що зменшують втому м’язів і знижують ризик помилок. Для робіт, пов’язаних з підбором і ручним переміщенням вантажів, доцільним є чергування операцій різного типу (відбір - поповнення - сортування - допоміжні дії), що зменшує монотонність і навантаження на одні й ті самі групи м’язів. Для зон з пониженими температурами необхідним є обмеження тривалості безперервного перебування, організація “теплих” перерв і ротація персоналу між холодними та нейтральними ділянками. Для диспетчерів ключовими є регулярні перерви для очей і коротка активність для профілактики статичного перенавантаження. Для кур’єрів режим праці повинен забезпечувати достатній відпочинок між змінами, запобігати роботі в стані втоми, а також враховувати часові “вікна” доставки, щоб планування маршрутів не провокувало перевищення безпечних швидкостей чи небезпечні маневри.

Для систематизації умов праці та ризиків у дарксторі й на доставці доцільно використовувати узагальнювальну характеристику робочих місць, яка може застосовуватися як основа для інструктажів, оцінювання ризиків і розроблення профілактичних заходів.

Таблиця 3.1 – Систематизація умов праці та ризиків у дарксторі

Категорія персоналу	Домінуючі умови праці	Типові небезпеки	Орієнтир профілактики
Комплектувальник	Інтенсивні переміщення, відбір зі стелажів, робота з тарою/візком, інколи холодіві зони	Перевтома опорно-рухового апарату, ковзання, падіння предметів, удари, перетин потоків із технікою	Ергономіка, механізація, розмітка проходів, протиковзні рішення, ротація операцій
Пакувальник	Стаціонарна станція, коробоутворення, маркування, використання ножів/диспенсерів	Порізи, проколи, перенапруження кистей, спотикання через безлад, контактні подразнення	Безпечний інструмент, організація 5S, правильна висота столу, порядок зберігання тари
Диспетчер	Робота за ПК, зв'язок, контроль SLA, багатозадачність	Перенапруження зору, стрес, статичне навантаження, помилки через перевтому	Ергономіка робочого місця, перерви, стандарти комунікацій, розподіл навантаження
Кур'єр	Міське середовище, сходи/під'їзди, погодні фактори, транспорт/велосипед	ДТП, падіння, травми при перенесенні,	Безпека руху, світловідбивачі та спецодяг, коректне

Категорія персоналу	Домінуючі умови праці	Типові небезпеки	Орієнтир профілактики
		конфлікти, погодні ризики	планування маршрутів, правила ручного перенесення

З позиції охорони праці управління ризиками в дарксторі та доставці має будуватися на принципі пріоритетності колективних і організаційних заходів над індивідуальними, коли безпечне планування приміщення, регламенти руху й робочих процедур зменшують ризики ще до застосування засобів індивідуального захисту.

3.2 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори в дарксторі: ручне переміщення вантажів, стелажі, ріжучий інструмент, слизькі поверхні, холодні камери, електрообладнання; профілактика травматизму та вимоги до організації робочого простору

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори в дарксторі мають змішаний характер: поєднуються фізичні навантаження, ризики механічного травмування, мікрокліматичні впливи, електротехнічні небезпеки, а також організаційні чинники, що підсилюють імовірність помилок. Оскільки даркстор працює в режимі високої динаміки, ключовим завданням є перетворення технологічного процесу на “вбудовано безпечний”, коли планування простору, норми виконання операцій, правила зберігання і переміщення мінімізують небезпеку незалежно від людського фактору.

Ручне переміщення вантажів у дарксторі є одним із провідних джерел травматизму та професійних перевантажень. Ризики виникають не лише від маси одиниці вантажу, а й через частоту піднімань, незручні пози, обертання корпусу,

перенесення на відстань, роботу на різних висотах полиць. Профілактика передбачає раціональне “зонування ваги” в системі зберігання, коли важчі позиції розміщуються на ергономічних рівнях і ближче до зон відбору, використання візків, контейнерів, роликкових доріжок, підймальних столів або інших простих механізмів, а також навчання безпечним прийомам піднімання та перенесення. Важливо, щоб управління продуктивністю не спонукало до небезпечних практик, а контроль якості праці включав дотримання безпечної техніки рухів і перенесення.

Стелажні системи є джерелом механічних небезпек, пов’язаних із падінням вантажів, деформацією конструкцій, порушенням стійкості, а також травмами при зіткненнях у вузьких проходах. Ризик зростає при перевищенні допустимого навантаження, неправильному розміщенні товарів, використанні імпровізованих засобів доступу до верхніх рівнів та при наїздах візків/рокл на стійки. Профілактика травматизму вимагає чіткої стандартизації зберігання з візуальним маркуванням вантажопідйомності секцій, застосування захисних елементів у нижній частині стелажів, забезпечення достатньої ширини проходів і зон розвороту, регулярних оглядів кріплень і вертикальності, а також заборони піднімання на стелажі як способу доступу. Організаційно важливим є порядок поповнення запасів, коли операції поповнення не накладаються хаотично на інтенсивний відбір у тій самій зоні без розведення потоків у часі або просторі.

Ріжучий інструмент у пакуванні (ножі для картону, різці, леза) формує ризику порізів, проколів та пошкодження сухожилів, особливо при поспіху або відсутності належного інструменту. Безпечна організація передбачає застосування спеціалізованих “безпечних ножів” з обмеженим виходом леза або автоматичним поверненням, зберігання інструменту у визначених місцях, використання рукавиць із захисними властивостями там, де це виправдано характером операцій, а також навчання техніці різання з напрямком руху леза від тіла і без підтримування матеріалу в зоні можливого контакту. Важливо також забезпечити достатнє освітлення пакувальних станцій, щоб зменшити помилки, та швидкий доступ до аптечки і регламенту дій при порізах.

Слизькі поверхні й небезпека падінь характерні для дарксторів через регулярне прибирання, можливі розливи рідин, занесення вологи ззовні, а також через перепади температур на межі холодних камер, де конденсат може утворювати слизькі ділянки. Ефективна профілактика включає вибір протиковзних покриттів, використання килимків або решіток у критичних зонах, оперативне усунення розливів за принципом “побачив - прибрав або позначив”, чітке маркування небезпечних ділянок, правильну організацію кабелів і дротів без перетину проходів, а також вимоги до взуття з неслизькою підошвою. Висока якість “housekeeping” у дарксторі є не естетичною, а безпековою вимогою, оскільки навіть дрібні порушення порядку в пікові години різко підвищують ризик травм.

Холодові камери створюють специфічні шкідливі фактори, пов’язані з переохолодженням, зниженням чутливості пальців, погіршенням координації та, як наслідок, ростом імовірності травм при захваті та перенесенні. Додатковими небезпеками є слизька підлога, обмежена видимість через запотівання, а також потреба швидкого переміщення між зонами з різною температурою. Організаційні рішення мають передбачати ротацію персоналу, нормування часу перебування в холодних зонах, наявність теплового приміщення для відновлення, забезпечення утепленим спецодягом і рукавицями, що дозволяють зберігати хват, а також підтримання належного стану дверей, завіс і ущільнювачів, щоб мінімізувати конденсат і обмерзання. Раціональним є також попереднє групування відбору “холодних” позицій, щоб зменшити кількість входів/виходів та загальну експозицію холоду.

Електрообладнання дарксторів включає освітлення, пакувальні пристрої, зарядні станції для акумуляторів, інколи електровізки або інше складське обладнання. Небезпека проявляється через ризик ураження електричним струмом, короткі замикання, пожежі, а також через неправильну експлуатацію подовжувачів, перевантаження мережі чи пошкодження ізоляції. Профілактика базується на справній електромережі з захисними пристроями, регламентованому технічному обслуговуванні, заземленні, використанні

справних розеток і кабелів, винесенні зарядних зон у визначені місця з обмеженим доступом сторонніх предметів, забороні саморемонту неуповноваженим персоналом та негайному виведенні з експлуатації несправних пристроїв. Важливо, щоб електробезпека була не формальністю інструктажу, а частиною культури виробництва, підкріпленою видимими правилами, контролем і відповідальністю.

Вимоги до організації робочого простору в дарксторі мають забезпечити безпечну взаємодію людей, вантажів і обладнання. Планування повинно формувати логічні потоки без “вузьких місць”, де перетинаються маршрути комплектувальників, поповнення запасів і підготовки відвантажень. Проходи мають бути достатньої ширини, з чіткою підлоговою розміткою та візуальними орієнтирами, небезпечні зони позначаються, а місця тимчасового накопичення замовлень не повинні блокувати евакуаційні виходи й шляхи руху. Освітлення має забезпечувати впевнене зчитування маркувань і роботу з інструментом без напруження зору, вентиляція та мікроклімат - підтримувати працездатність і не створювати додаткових ризиків. Ергономіка стаціонарних робочих місць пакування та диспетчеризації повинна зменшувати статичні навантаження і дозволяти працювати в нейтральних позах без тривалих нахилів чи надмірного підйому рук. Організаційно важливими є стандарти чистоти та порядку, порядок інформування про небезпеку, наявність аптечок і первинних засобів пожежогасіння у доступних точках, а також відпрацьований алгоритм зупинки робіт при виявленні загрози.

Таким чином, ключові небезпечні й шкідливі фактори в дарксторі є керованими за умови поєднання технічних рішень, продуманого планування простору, стандартизованих процедур і систематичного навчання персоналу. Для моделі доставки “same-day” це має подвійний ефект: зниження травматизму одночасно підвищує стабільність виконання SLA, оскільки безпечний процес є більш прогнозованим, менше залежить від випадкових відхилень і забезпечує сталі показники продуктивності та якості.

3.3 Пожежна безпека й електробезпека на об'єкті даркстору

Пожежна безпека й електробезпека на об'єкті даркстору в м. Тернопіль розглядаються як взаємопов'язані елементи загальної системи безпечної експлуатації об'єкта, оскільки основні джерела ризику займання у таких приміщеннях прямо або опосередковано пов'язані з електрообладнанням, зарядною інфраструктурою, холодильними установками, пакувальними ділянками, а також з людським фактором під час інтенсивної операційної роботи. Даркстор як «магазин-склад» відрізняється високою щільністю матеріалів на стелажах, наявністю великої кількості пакувальної тари (картон, плівка, стрічки), інколи - горючих рідин господарського призначення (засоби для прибирання), і значним навантаженням на електромережі через освітлення, IT-інфраструктуру, холодильне обладнання, конвеєри, сканери, принтери етикеток, компресори, вентиляцію та зарядні пристрої. Це зумовлює необхідність формування чітких регламентів пожежної профілактики, організації евакуації, комплектації первинними засобами пожежогасіння і впровадження системи електробезпеки з відповідальними особами та регулярними інструктажами.

Пожежна безпека на об'єкті даркстору починається з правильного підходу до планування приміщення і експлуатації обладнання. У зоні зберігання та комплектування основним фактором небезпеки є наявність значної маси горючих матеріалів у вигляді картонної тари, пакувальних матеріалів, полімерної плівки, а також пластикових елементів товарної упаковки. На практиці це означає, що на стелажах повинні бути забезпечені технологічні проходи, які не зменшуються тимчасовими піддонами чи коробами, а складування має бути організоване без перекриття шляхів евакуації. Особливу увагу приділяють зонам пакування, де накопичується найбільша кількість відходів тари та обрізків плівки, а також зонам приймання/відвантаження, де може накопичуватися тара, палети і стрейч-плівка. Організаційно доцільно передбачити окреме місце для тимчасового зберігання відходів упаковки з

регулярним вивезенням або пресуванням, що знижує пожежне навантаження в робочій зоні.

До пожежонебезпечного обладнання на об'єкті даркстору зазвичай відносять електрощити, кабельні лінії, розетки з високим навантаженням, зарядні пристрої для акумуляторів (електровізки, електроскутери/велосипеди кур'єрів за наявності внутрішньої зарядної зони), холодильні агрегати та компресорне обладнання. Небезпека полягає у можливості перегріву контактів через поганий контакт або перевантаження, пошкодження ізоляції кабелю, утворення короткого замикання, а також у людському факторі - використанні «тримників», несертифікованих подовжувачів, підключенні кількох потужних споживачів до однієї лінії. Тому базовою вимогою є експлуатація електроустановок лише у справному стані за паспортними режимами, із заборонаю самовільного внесення змін у схеми підключення та виконання робіт неуповноваженими особами. Для зниження ризику займання необхідно забезпечити систематичний огляд електрощитового обладнання, контроль нагріву контактних з'єднань, наявність і справність автоматичних вимикачів, пристроїв захисного відключення та належний стан заземлення.

Організація евакуації в дарксторі повинна враховувати високу інтенсивність переміщень персоналу та наявність стелажних рядів, які можуть ускладнювати орієнтування. Евакуаційні шляхи мають бути чітко визначені і постійно вільні, а двері на шляхах евакуації - відчинятися у напрямку виходу та не блокуватися. Практично це означає, що зона приймання/відвантаження не повинна перетворюватися на «накопичувач» палет і тари, а тимчасові розміщення замовлень і контейнерів повинні бути організовані так, щоб не звужувати проходи. На об'єкті має бути розміщений план евакуації з позначенням основних і запасних виходів, місць розташування вогнегасників та електрощита, а також визначено місце збору персоналу після евакуації для перевірки наявності всіх працівників. В умовах реальної операційної роботи важливо забезпечити, щоб кожен працівник знав найближчий до свого робочого

місця вихід, а також альтернативний маршрут у разі задимлення основного проходу.

Первинні засоби пожежогасіння на об'єкті дарксторю мають підбиратися з урахуванням типових класів пожеж, які тут можливі. Основними сценаріями є загоряння твердих горючих матеріалів (картон, папір, деревина палет), а також пожежі, пов'язані з електрообладнанням під напругою. Тому вогнегасники повинні бути такими, щоб забезпечувати гасіння відповідних класів пожеж і бути придатними для застосування поблизу електроустановок. На практиці найчастіше використовують порошкові або вуглекислотні вогнегасники: порошкові універсальніші для твердих матеріалів і ряду інших сценаріїв, а вуглекислотні зручні для електрообладнання та не залишають абразивного пилу на техніці, хоча мають свої обмеження. У зоні пакування, у стелажних рядах, біля електрощита, у зоні приймання/відвантаження та у місцях підвищеного електронавантаження повинні бути встановлені первинні засоби пожежогасіння так, щоб час доступу до них був мінімальним, а місця їх розташування позначені стандартними знаками. Важливо, щоб вогнегасники не «ховалися» за палетами чи коробами, а регулярна перевірка пломб, строків придатності та тиску (за конструкцією) проводилась відповідальною особою з фіксацією в журналі обліку.

Окрім вогнегасників, доцільно передбачати пожежний інвентар, який використовується на початковій стадії загоряння, а також засоби обмеження поширення пожежі шляхом прибирання горючого навантаження. Оскільки в дарксторі значна частина пожежного ризику пов'язана з накопиченням упаковки, регламент має включати обов'язкове прибирання робочих місць наприкінці зміни, заборону складування упаковки біля електрощитів і обмеження обсягу тимчасового накопичення відходів у зоні пакування. Для холодильних камер і зон з компресорним обладнанням важливими є вимоги щодо вентиляції та недопущення захаращення простору біля агрегатів, що впливає на відведення тепла та зменшує ризику перегріву.

Електробезпека в дарксторі забезпечується поєднанням технічних і організаційних заходів. Технічно ключовими є справність електромереж, наявність захисного заземлення, правильний підбір автоматичних вимикачів за струмами навантаження, використання пристроїв захисного відключення на групах розеток у вологих або потенційно небезпечних зонах, а також застосування промислових розеток і подовжувачів належної якості у випадках, коли тимчасові підключення необхідні. Організаційно важливо встановити порядок допуску до робіт в електроустановках: будь-які роботи з електрощитами, заміною автоматів, ремонтом розеток чи прокладанням кабельних ліній має виконувати лише кваліфікований електротехнічний персонал або підрядна організація, а працівники складу повинні бути проінструктовані про заборону самостійного втручання. У повсякденній роботі електробезпека також означає контроль стану кабелів сканерів, принтерів, термопакувальних пристроїв, холодильних камер і зарядних пристроїв, щоб уникати пошкоджень ізоляції та роботи з оголеними провідниками.

Окремим ризиком є заряджання акумуляторів та експлуатація зарядних пристроїв. Якщо на об'єкті передбачено заряджання акумуляторів електроскутерів, електровелосипедів або складської техніки, зарядна зона має бути виділеною, провітрюваною, без накопичення горючих матеріалів і з чітким дотриманням порядку підключення. Неприпустимим є заряджання акумуляторів у проходах, біля стелажів із картоном, а також підключення зарядних пристроїв через пошкоджені подовжувачі. Для мінімізації ризику персонал повинен бути навчений базовим ознакам небезпечної роботи акумуляторів і зарядних пристроїв, зокрема перегріву корпусу, появи запаху горілого, іскріння в розетці, а також мати алгоритм дій: негайне відключення від мережі (за можливості без ризику), повідомлення відповідальної особи, ізоляція зони та виклик відповідних служб згідно з інструкцією.

Порядок інструктажів з пожежної безпеки та електробезпеки є основою системного управління ризиками, оскільки об'єкт дарксторю зазвичай має змінний персонал, сезонні піки, а також може залучати тимчасових працівників.

Інструктажі повинні включати вступний інструктаж при прийнятті на роботу, первинний інструктаж на робочому місці, повторний інструктаж із визначеною періодичністю, а також позаплановий інструктаж при зміні технології, обладнання, планування приміщення або після інцидентів і порушень. Важливо, щоб інструктажі не були формальні: працівникам необхідно показати реальні маршрути евакуації, місця встановлення вогнегасників, порядок відключення електроживлення у разі пожежі (через відповідальну особу), типові помилки при використанні подовжувачів, правила роботи з обладнанням, а також провести коротке відпрацювання дій при виявленні задимлення чи займання. Факт проведення інструктажу фіксується у відповідних журналах із підписами інструктуючого та працівника, а також із зазначенням дати, теми й підстави інструктажу.

Система відповідальних осіб на об'єкті дарксторю має забезпечувати як профілактику, так і керованість у разі надзвичайної ситуації. Доцільно призначати відповідального за пожежну безпеку об'єкта, відповідального за електрогосподарство, а також відповідальних у зміні, які координують евакуацію та первинні дії при пожежі. Відповідальний за пожежну безпеку організовує контроль стану шляхів евакуації, наявність і справність вогнегасників, дотримання правил складування та прибирання горючих матеріалів, забезпечує проведення інструктажів і взаємодіє з орендодавцем/експлуатаційною службою будівлі щодо систем оповіщення й технічних засобів пожежного захисту. Відповідальний за електрогосподарство контролює технічний стан електромереж, облік і усунення дефектів, своєчасність перевірок, організовує допуск до електроустановок, веде відповідні журнали та забезпечує дотримання режимів навантаження. Відповідальні у зміні мають знати порядок виклику аварійних служб, комунікацію з диспетчером/керівником об'єкта, процедуру зупинки операцій і організований вихід персоналу до місця збору.

Узагальнюючи, пожежна безпека та електробезпека на об'єкті дарксторю в м. Тернопіль повинні будуватися на принципі запобігання займанням через

контроль пожежного навантаження (упаковка, тара), підтримання вільних шляхів евакуації, правильну комплектацію і доступність первинних засобів пожежогасіння, а також на технічно справній і правильно захищеній електромережі без перевантажень та самовільних підключень. Підкріпленням цих заходів є регулярні інструктажі, ведення журналів, призначення відповідальних осіб і чіткі алгоритми дій на випадок пожежі або аварійних режимів роботи електрообладнання, що в сукупності забезпечує прийнятний рівень ризику для персоналу, майна і безперервності роботи логістичного об'єкта.

3.4 Дії персоналу при надзвичайних ситуаціях

Під надзвичайними ситуаціями в діяльності даркстору та міської доставки “same-day” у м. Тернопіль у межах цієї роботи розуміють події, що раптово порушують нормальний технологічний процес, створюють загрозу життю і здоров'ю персоналу, безпеці клієнтів або збереженню товару, а також можуть призвести до значних матеріальних втрат і зупинки операцій. Особливість даркстору полягає в поєднанні складських процесів із підвищеною щільністю зберігання, використанням електрообладнання та холодильних камер, а також у наявності кур'єрської складової, де ризики переходять у площину безпеки дорожнього руху та комунікації з клієнтом. Тому система реагування має бути уніфікованою, простою для виконання в стресовій ситуації і водночас достатньо деталізованою, щоб уникнути хаотичних дій. У цьому підрозділі встановлюються типові сценарії НС і порядок дій персоналу: від моменту виявлення інциденту до оповіщення відповідальних осіб, локалізації наслідків, евакуації (за потреби), фіксації події та відновлення роботи.

Алгоритм оповіщення та реагування доцільно будувати за принципом “побачив - повідомив - убезпечив - локалізував - евакуював - зафіксував”. Виявивши інцидент, працівник насамперед має негайно повідомити керівника зміни або відповідальну особу по об'єкту, а в ситуаціях, що несуть безпосередню

загрозу життю (пожежа, важка травма, ДТП з потерпілими), - одночасно ініціювати виклик екстрених служб за встановленим переліком номерів і каналів зв'язку. Внутрішнє оповіщення має здійснюватися найпростішими каналами, які не залежать від одного пристрою: голосове оповіщення в зоні інциденту, груповий чат зміни, дзвінок керівнику зміни, а також резервний канал на випадок відмови мобільного зв'язку (стаціонарний телефон, рація або внутрішній інтерком - якщо передбачено). Усі працівники повинні знати, хто приймає рішення про евакуацію, хто відповідає за відключення електроживлення (за потреби), хто веде облік присутніх і хто координує взаємодію з екстреними службами. Окремо встановлюється правило: у випадках загрози життю жодні матеріальні цінності або “незакриті” операції не можуть бути підставою для затримки евакуації чи нараження людей на ризик.

Дії персоналу при пожежі мають бути максимально стандартизованими, оскільки кожна секунда впливає на масштаб наслідків. При виявленні диму, полум'я або запаху горілого працівник зобов'язаний негайно повідомити керівника зміни та інших працівників у зоні небезпеки і, не втрачаючи часу, ініціювати виклик пожежно-рятувальної служби. Якщо загоряння на початковій стадії і немає загрози задимлення, допускається застосування первинних засобів пожежогасіння найближчим навченим працівником, але лише за умови, що шлях відступу залишається вільним, а ризик для людини є мінімальним. Водночас пріоритетом лишається евакуація: керівник зміни організовує вихід персоналу за маршрутами евакуації, контролює, щоб ніхто не повертався в небезпечну зону, забезпечує перевірку наявності працівників на місці збору, а також перекриває доступ сторонніх осіб. За потреби здійснюється відключення електроживлення відповідальною особою або працівником, уповноваженим на такі дії, щоб зменшити ризик поширення пожежі та ураження електричним струмом. Після прибуття рятувальників відповідальна особа надає інформацію про місце загоряння, наявність холодильних камер/електрощитів, можливі джерела небезпеки, а також перелік людей, які були в зміні. Після ліквідації пожежі та

дозволу відповідних служб відновлення роботи можливе лише після огляду приміщень, перевірки електромереж і документальної фіксації події.

Відключення електроенергії для дарксторю є критичною подією не лише через зупинку ІТ-систем і освітлення, а й через ризики псування продуктів у холодильних камерах, зупинку систем контролю доступу, неможливість друку етикеток, роботи сканерів та зв'язку з кур'єрами. У разі повного знеструмлення керівник зміни оголошує режим “припинення операцій” і забезпечує безпечну зупинку технологічних процесів: припиняються роботи з електроінструментом і механізмами, блокується використання ліфтів/підйомних механізмів (якщо такі є), організовується контроль переміщення у темних зонах, забороняється самостійне відкриття електрощитів. Паралельно відповідальна особа уточнює причину відключення у постачальника електроенергії або експлуатаційної служби будівлі та оцінює прогнозований час відновлення. Якщо доступне резервне освітлення або аварійні світильники, здійснюється організований перехід працівників у безпечні зони. Особлива увага приділяється холодильним камерам: їх не відкривають без крайньої потреби, щоб зберегти холод, а товари, що потребують жорсткого температурного режиму, беруться під контроль за принципом пріоритетності. Якщо відключення триває довше за допустимий технологічний інтервал, приймається рішення про тимчасове припинення приймання нових замовлень, перенаправлення частини попиту на інші точки (за наявності) або про скасування/перепланування доставок з інформуванням клієнтів. Після відновлення електроживлення проводиться контроль запуску обладнання, перевірка працездатності холодильних установок, відновлення ІТ-систем і лише після цього - поетапне повернення до штатної роботи з фіксацією інциденту.

Аварії з холодильним обладнанням можуть проявлятися як різке підвищення температури в камері, відмова компресора, помилка автоматики, витік холодоагенту або обмерзання, що унеможливорює нормальну експлуатацію. У таких ситуаціях основним завданням є безпека людей і збереження якості харчових продуктів. Працівник, який виявив несправність, повідомляє керівника

зміни та відповідального за технічний стан обладнання. Якщо є ознаки витoku холодоагенту (різкий нетиповий запах, туман/аерозоль, подразнення дихальних шляхів, підозрілі шуми або вібрації), доступ у приміщення обмежується, забезпечується провітрювання (якщо це безпечно), а ремонт здійснюється лише спеціалістами. Товар із проблемної камери береться на облік і, за можливості, переміщується в резервну холодильну ємність або іншу камеру з підтвердженим режимом, але тільки за умови збереження “холодового ланцюга”. Якщо резервних потужностей недостатньо, керівник зміни приймає рішення про обмеження асортименту в застосунку/системі продажу та про коригування замовлень, щоб не відправляти клієнту товар із невизначеним температурним статусом. Після усунення несправності здійснюється контроль температури, санітарна обробка (за потреби) та документування події, включно з переліком товарних позицій, що підлягають списанню або додатковій перевірці.

Травмування працівника в дарксторі найчастіше пов’язане з падіннями на слизькій поверхні, порізами під час пакування, ударами при переміщенні вантажів або інцидентами зі стелажми. Алгоритм реагування має починатися з негайної зупинки небезпечної дії та забезпечення безпеки місця події: прибираються предмети, що можуть спричинити повторну травму, ізолюється зона, припиняється рух в проході. Керівник зміни або призначений працівник надає домедичну допомогу в межах підготовки та наявних засобів аптечки, після чого оцінюється необхідність виклику швидкої допомоги. При будь-яких ознаках серйозної травми, втрати свідомості, сильного болю або підозри на перелом виклик екстреної медичної допомоги є обов’язковим, а транспортування потерпілого “своїми силами” не допускається, якщо це може погіршити стан. Після надання допомоги керівник зміни інформує відповідальну особу за охорону праці, забезпечує фіксацію обставин події, збереження місця інциденту (якщо це не суперечить безпеці), організовує заміну працівника для підтримання мінімальної операційної діяльності або тимчасово зупиняє процес, якщо ризики не усунуті.

ДТП кур'єра є найбільш критичним сценарієм для “польової” частини системи доставки, оскільки поєднує ризики для життя кур'єра, інших учасників руху і репутаційні наслідки для сервісу. При ДТП першочерговою дією кур'єра є оцінка власного стану та стану інших, забезпечення безпеки місця події й виклик екстрених служб у разі потреби. Паралельно кур'єр або диспетчер має повідомити керівника зміни/диспетчера доставки за встановленим каналом. З боку дарксторю диспетчер фіксує інцидент у системі, визначає статус замовлення і негайно запускає процедуру “перепризначення”: якщо товар у кур'єра і може бути безпечно переданий іншому кур'єру, організовується перехоплення; якщо це неможливо, клієнту повідомляють про затримку або скасування з прозорим поясненням без надмірних деталей. Якщо є потерпілі, пріоритетом є взаємодія з поліцією та медиками, а не “порятунок” замовлення. Додатково оцінюється ризик псування товару (особливо охолоджених позицій): за потреби такі замовлення знімаються з доставки як такі, що можуть порушити якість. Після завершення первинних дій керівник зміни забезпечує внутрішнє розслідування причин ДТП, аналіз маршруту, часу, погодних умов, навантаження, а також коригування інструкцій і графіків, якщо виявляється фактор перевтоми або небезпечного планування.

Різке зростання попиту, що перевантажує систему доставки, є особливим видом “операційної надзвичайної ситуації”, яка не завжди створює фізичну небезпеку, але здатна спричинити каскадні відмови: зриви тайм-слотів, хаос у зоні пакування, неконтрольовані черги кур'єрів, помилки комплектації, падіння якості сервісу, підвищення травматизму через поспіх. Для Тернополя такі піки можливі у святкові дні, під час різких погодних змін, маркетингових акцій або при тимчасовій недоступності конкурентів. У цьому випадку алгоритм реагування має бути превентивним і диспетчерським: при досягненні порогових значень (наприклад, перевищення допустимої кількості активних замовлень у годину відносно пропускну здатності комплектування чи доставки) керівник зміни вводить режим “керування навантаженням”. Це означає тимчасове обмеження приймання замовлень або збільшення мінімального тайм-слоту,

введення пріоритетів (наприклад, товари першої необхідності, замовлення з дитячим харчуванням, замовлення з коротким дедлайном), тимчасове вимкнення окремих “важких” категорій, що уповільнюють комплектування, а також перерозподіл персоналу в пакувальну/комплектувальну зону. Для кур’єрів активується режим батчингу там, де це не шкодить якості, перегляд зон обслуговування, залучення резервних кур’єрів або партнерських ресурсів. Важливо, що в режимі перевантаження формально дозволяється “зниження сервісу” в контрольованих межах, але без погіршення безпеки: забороняються ризиковані скорочення маршруту, порушення ПДР, робота без перерв, перевищення допустимих мас для перенесення. Після стабілізації попиту проводиться аналіз пікової події: які вузькі місця спрацювали, чи достатній був резерв, і які порогові значення слід встановити для наступних піків.

Для всіх розглянутих сценаріїв обов’язковою є процедура завершальної фази реагування, яка включає документальну фіксацію інциденту, оцінку наслідків, відновлення операцій у безпечному режимі та коригування інструкцій. Фіксація має містити дату й час, місце, короткий опис, перелік залучених осіб, первинні причини (за наявності), виконані дії, контакти екстрених служб (якщо залучались), а також рішення щодо профілактичних заходів. Такий підхід дозволяє не лише “закрити” інцидент, а й накопичувати практичний досвід, що підвищує стійкість системи доставки в Тернополі до як фізичних, так і операційних надзвичайних ситуацій.

У підсумку, ефективність реагування персоналу дарксторю та служби доставки при надзвичайних ситуаціях визначається готовністю діяти за задалегідь відпрацьованими алгоритмами оповіщення та реагування, наявністю чітко визначених відповідальних осіб, дисципліною виконання регламентів і здатністю оперативно переводити систему в безпечний режим із пріоритетом збереження життя, здоров’я та якості харчових продуктів навіть за умови тимчасового зниження рівня сервісу.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі вирішено завдання обґрунтування транспортної технології доставки харчових продуктів у форматі «same-day» в умовах міста на основі мережі дарксторів .

У ході дослідження встановлено, що ефективність системи «останньої милі» визначається, насамперед, часом доставки, стабільністю виконання замовлень та рівнем сервісу. Для міста Тернопіль показано доцільність впровадження моделі quick commerce, враховуючи компактність міської структури та наявність сформованого попиту на швидку доставку.

Обґрунтовано використання дарксторів як ключових логістичних вузлів, що забезпечують скорочення часу оброблення замовлень і зменшення транспортних витрат. Встановлено, що децентралізована мережа дарксторів є найбільш ефективною для забезпечення нормативного рівня сервісу «same-day».

У роботі визначено основні клієнтські сегменти та часову структуру попиту, що дозволило сформулювати вимоги до організації доставки та планування ресурсів. Доведено, що пікові навантаження припадають на вечірні години, що потребує адаптивної диспетчеризації та гнучкого управління транспортом.

На основі розрахунків встановлено, що застосування електротранспорту суттєво знижує собівартість доставки. Найбільш економічним є електромотоцикл ($\approx 9,78$ грн/замовлення), тоді як електромобіль забезпечує баланс між економічністю та універсальністю ($\approx 17,33$ грн/замовлення). Дизельний транспорт має найвищу собівартість, але доцільний для перевезення великих партій.

Запропоновано комбіновану модель використання транспортних засобів, що дозволяє підвищити ефективність функціонування системи доставки та знизити витрати.

Отримані результати можуть бути використані при проектуванні систем міської доставки «same-day», оптимізації мережі дарксторів та підвищенні якості логістичних послуг.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Крикавський Є. В. Логістика : підручник. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2018. – 312 с.
2. Бауерсокс Д. Дж., Клосс Д. Дж. Логістика: інтегрований ланцюг постачання / пер. з англ. – К. : Олімп-Бізнес, 2008. – 640 с.
3. Сергеев В. І. Логістика в бізнесі : підручник. – М. : ІНФРА-М, 2016. – 608 с.
4. Гаджинський А. М. Логістика : навч. посіб. – 21-ше вид. – М. : Дашков і К, 2017. – 420 с.
5. Нагорний Є. В., Доля В. К. Організація вантажних перевезень автомобільним транспортом : підручник. – Харків : ХНАДУ, 2014. – 412 с.
6. Бутко М. П., Пащенко Ю. Є. Транспортна логістика : навч. посіб. – К. : Центр учбової літератури, 2016. – 312 с.
7. Кузьмін О. Є., Тарасюк Г. М. Логістика : теорія та практика : навч. посіб. – К. : Каравела, 2015. – 360 с.
8. Rodrigue J.-P. The Geography of Transport Systems. – New York : Routledge, 2020. – 456 p.
9. McKinnon A. C. Green Logistics: Improving the Environmental Sustainability of Logistics. – London : Kogan Page, 2018. – 392 p.
10. Rushton A., Croucher P., Baker P. The Handbook of Logistics and Distribution Management. – 6th ed. – London : Kogan Page, 2017. – 720 p.