

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

Навчально-науковий інститут енергетичної, інформаційної та транспортної
інфраструктури

Кафедра транспортних систем і логістики

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи
бакалавра

на тему **Проектування технології перевезень вантажів**
добовим обсягом 8,2 тонни

Виконала: студентка 4 курсу, групи ТТ 2022-1
спеціальності 175 «Транспортні технології»,

освітньої програми «Транспортні технології
(міський транспорт)»

Харсіко Н. Д.

Керівник Пруненко Д. О.

Рецензент Копитков Д. М.

Харків - 2026 року

**Харківський національний університет міського господарства
імені О.М. Бекетова**

ІНП Інженерично-інформаційної та транспортної інфраструктури
Кафедра Транспортних систем і логістики

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр

Спеціальність 275 «Транспортні технології (за видами)»

інженерства

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

проф. Куш Є. І.

20 26 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТЦІ**

Маріско Поліна Леонівна

прізвище, ім'я по батькові

1. Тема проекту (роботи) Проєктування технології перевезень вантажів
добовим обсягом 8,2 тонни

керівник проекту (роботи) Прувелько Дмитро Олександрович

прізвище, ім'я по батькові, п'ять цифровий ідентифікаційний номер (значення)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "22" травня 2026 р.
№ 440-03.

Строк подання студентом проекту (роботи) 15 червня 2026 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) координати пунктів заванезення вантажів,
марки транспортних засобів та їх вантажність, теоретичний матеріал для
аналізу методів підвищення ефективності перевезень вантажів в міському
сполученні

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
розробити) Вступ. Аналіз сучасного стану перевезень вантажів у містах.

Проектування технології перевезень вантажів на міських маршрутах.
Організація дорожнього руху на перехресті маршруту. Висновки

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

Основні положення і результати роботи представлені у електронному вигляді
з використанням офісного пакету PowerPoint

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання вклад	завдання прийняв
Додатковий	Ім'я: координатор ТСО / Інженер І. О.		

01_05_2026 p

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз сучасного стану перевезень вантажів у містах	01.05 – 14.05.26	Вик.
2	Проектування технології перевезень вантажів на міських маршрутах	15.05 – 27.05.26	Вик.
3	Організація дорожнього руху на перехресті маршруту	28.05 – 07.06.26	Вик.
4	Оформлення пояснювальної записки	08.06 – 15.06.26	Вик.

Керівник роботи

יְהוָה יִשְׁמַר אֶת צְדָקָתְךָ יְהוָה

מחיר: 100 ₪

Додаток
до завдання на кваліфікаційну роботу студенту

Таблиця 1 – Перелік пунктів завезення вантажу

№	Пункти	Довжина	Широта	Обсяг заванозу, кг
1	Склад	49,98535892583357	36,1749970245769	-
2	EVA	49,94733729116856	36,26205914749933	250
3	EVA	49,98584685388709	36,25906508224778	350
4	EVA	49,96128282405335	36,3207905258708	300
5	EVA	49,995164592365015	36,29165875799949	150
6	EVA	49,950509979953836	36,261798562968295	280
7	EVA	49,95975197535544	36,35066003097608	280
8	EVA	49,96986543632055	36,32121274756011	240
9	EVA	50,020160673323446	36,32814152012856	280
10	EVA	50,03813626288898	36,33564769041107	310
11	EVA	49,98508947208649	36,25279111793405	270
12	EVA	49,98787383660724	36,24210925902316	290
13	EVA	49,98249058754078	36,24441884987931	280
14	EVA	50,00513329155039	36,26780345729787	260
15	EVA	49,99351798263609	36,23468824991926	280
16	EVA	49,990733945944534	36,23295605677714	280
17	EVA	49,99574509594557	36,23497694877628	300
18	EVA	49,99500273630342	36,23122386363502	250
19	EVA	50,00196190802202	36,243349215629834	260
20	EVA	50,00483807145062	36,24652490305705	270
21	EVA	50,00734297702611	36,23714218859438	290
22	EVA	50,01578447443699	36,22575818374212	280
23	EVA	50,06773397305464	36,20950888465814	260
24	EVA	50,063281306436686	36,204824388659574	260
25	EVA	50,057339485675236	36,204490585557075	280
26	EVA	50,05178662723022	36,205218883252535	300
27	EVA	50,049292502834	36,20737343002889	250

Продовження табл. 1

28	EVA	50,04938993205497	36,20761619577697	290
29	EVA	50,03593527645064	36,225638461014434	250
30	EVA	50,01640678375213	36,21313498552532	260
31	EVA	49,957749704861605	36,36061372853353	280
-	Сума	-	-	8200

Таблиця 2 - Характеристики транспортних засобів

Вантажність, т	Марка ТЗ
1,5	Renault Master
2,5	Mercedes-Benz Sprinter
3,5	IVECO Daily
4,5	MAN TGL 8.180
5,5	MAN TGL 12.250

Таблиця 3 – Зміна обсягів перевезень вантажів

Місяць	2023 рік	2024 рік	2025 рік
Січень	185,0	196,0	201,6
Лютий	185,2	195,6	201,8
Березень	197,7	197,6	191,7
Квітень	188,7	188,2	202,3
Травень	199,7	185,6	191,7
Червень	197,0	195,9	186,0
Липень	191,3	191,4	185,7
Серпень	202,3	194,9	197,9
Вересень	191,9	192,8	194,7
Жовтень	186,6	195,3	194,5
Листопад	193,8	197,0	199,5
Грудень	199,1	198,6	194,7
Середнє	193,2	194,1	195,2

Студентка

Харченко Л. Д.

Керівник роботи

Прунський Д. О.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота: сторінок 51, рисунків 24, таблиць 8, джерел

11.

Об'єкт дослідження: процес перевезень вантажів.

Мета роботи: проектування технології перевезень вантажів доbowим обсягом 8,2 тонн.

Методи дослідження: аналітичні, прогнозування, моделювання, розрахункові, табличні.

Отримані результати: проаналізовані методи підвищення ефективності перевезень вантажів у міському сполученні; спрогнозовано обсяги перевезень вантажів на 2026 рік з оптимістичним та песимістичним сценарієм; спроектовані розвізні маршрути доставки товарів мережі EVA за кожною тонажністю та розраховані параметри цих маршрутів; проведено вибір транспортного засобу за вантажопідйомністю; визначені змінні, постійні та загальні витрати на перевезення вантажів за кожною маркою автомобіля; визначено кількість поїздок розвізів, тривалість проміжних таксів для фаз, цикл світлофорного регулювання, тривалість основного такту, побудована на основі розрахунків циклограма, визначено показник складності перехрестя.

Рекомендації з впровадження: процес моделювання може бути застосований на реальних об'єктах перевезень тарно-штучних та наливних вантажів на розвізних маршрутах.

ВАНТАЖ, ПРОГНОЗУВАННЯ, МАРШРУТ, МОДЕЛЮВАННЯ,
ВИТРАТИ, ПЕРЕХРЕСТЯ

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАНТАЖІВ У МІСТАХ.....	10
1.1. Проблематика перевезень.....	10
1.2. Методи удосконалення перевезень вантажів у містах.....	15
1.3. Висновки по розділу.....	22
РОЗДІЛ 2 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАНТАЖІВ НА МІСЬКИХ МАРШРУТАХ.....	23
2.1. Прогнозування обсягів перевезень вантажів.....	23
2.2. Характеристика об'єкта дослідження та пунктів завантаження.....	24
2.3. Висновки по розділу.....	36
РОЗДІЛ 3 ОРГАНІЗАЦІЯ ДОРОЖНЬОГО РУХУ НА ПЕРЕХРЕСТІ МАРШРУТУ.....	37
3.1. Вибір кількості смуг руху на підходах до перехрестя.....	37
3.2. Організація дорожнього руху на перехресті.....	39
3.3. Розрахунок параметрів світлофорного регулювання.....	40
3.4. Оцінка якості схеми організації дорожнього руху.....	43
3.5 Висновки по розділу.....	46
ВИСНОВКИ.....	48
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	50

ПРИЙНЯТО 17.07.2022-І ТТ XXX...XX ПЗ

Випр.	Ірк.	Затверд.	Підпис	Дата
Рядовий		Морозов П.І.		
Перевір.		Прутенко Л.О.		
П. контр.		Бірюк Л.І.		
Поміч.		Курчак Т.		

Потверджувальна записка

Вітерн	Архив	Договір
к	р	б
	7	51
ХНУМГ ім. О.М. Бекетова		

ВСТУП

Ефективна організація вантажних перевезень є одним із ключових чинників конкурентоспроможності торговельних мереж в умовах сучасного міського середовища. Зростання обсягів роздрібної торгівлі, розширення географії постачань та підвищення вимог до термінів доставки зумовлюють необхідність наукового підходу до проєктування логістичних процесів.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи зумовлена тим, що організація розвізних маршрутів для торговельної мережі Г.У.А. у місті Харкові потребує комплексного підходу, який поєднує прогнозування вантажопотоку, оптимізацію маршрутів та обґрунтований вибір рухомого складу з урахуванням мінімізації транспортних витрат.

Метою роботи є проєктування технології перевезень вантажів мережі Г.У.А. добовим обсягом 8,2 тис. на розвізних маршрутах міста Харкова з визначенням оптимального рухомого складу та організацією дорожнього руху на перехресті маршруту.

Для досягнення мети поставлено такі завдання:

- проаналізувати сучасні методи підвищення ефективності вантажних перевезень у міському сполученні;
- епрогнозувати обсяги вантажопотоку на 2026 рік на основі даних за 2023–2025 роки;
- спроєктувати розвізні маршрути доставки товарів мережі Г.У.А. для п'яти варіантів рухомого складу методом оптимізації VRP;
- здійснити вибір оптимальної марки транспортного засобу за критерієм мінімізації добових транспортних витрат;
- виконати організацію дорожнього руху на Т-подібному перехресті маршруту з розрахунком параметрів світлофорного регулювання.

Об'єктом дослідження є процес перевезень вантажів на розвізних маршрутах у міському сполученні.

Предметом дослідження є методи проєктування технології перевезень вантажів, оптимізації розвізних маршрутів та організації дорожнього руху

Методи дослідження: аналітичні, прогнозування (метод експоненційного знаходження), математичне моделювання (задача маршрутизації транспортних засобів VRP), розрахункові та табличні методи.

Практичне значення отриманих результатів полягає у тому, що розроблені маршрути та методика вибору рухомого складу можуть бути застосовані для реальної оптимізації логістичних процесів торговельної мережі ЄУА та інших підприємств, що здійснюють розвізні перевезення у містах.

РОЗДІЛ I

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАНТАЖІВ У МІСТАХ

1.1. Проблематика перевезень

Міська вантажна логістика є невід'ємною складовою економічного життя будь-якого сучасного міста. Щодня сотні тон товарів переміщуються між складами, розподільчими центрами, магазинами та кінцевими споживачами. Від того, наскільки злагоджено організований цей процес, залежить не лише комерційний результат окремих підприємств, а й загальна транспортна ситуація у місті, рівень викидів шкідливих речовин та якість міського середовища.

Транспортна логістика як науково-прикладна дисципліна вивчає закономірності організації та управління переміщенням матеріальних потоків. Її центральне завдання – забезпечити доставку потрібного товару в потрібне місце, у потрібний час та з мінімально можливими витратами ресурсів. При цьому ресурси розуміються широко: йдеться не лише про гроші та паливо, а й про час персоналу, ресурс транспортних засобів, навантаження на дорожню мережу та вплив на навколишнє середовище [1].

Узагальнений перелік проблематичних аспектів міських вантажних перевезень зображено на рис. 1.1.

Специфіка міських умов суттєво ускладнює реалізацію цього завдання порівняно з міжміськими чи регіональними перевезеннями. Якщо на трасі вантажівка рухається відносно рівномірно, то в місті вона змушена постійно зупинятись на світлофорах, шукати місце для стоянки біля точки розвантаження, перебудовуватись у потоці, а в години пік – стояти у заторах.

Усе це разом призводить до того, що реальна швидкість руху вантажного

автомобіля у центрі великого міста рідко перевищує 15–18 км/год., а в годину пік може опускатись до 8–10 км/год. [3].



Рисунок 1.1 Класифікація проблематичних аспектів міських вантажних перевезень

Окремою проблемою є організація самого процесу розвантаження.

Більшість міських магазинів не мають спеціально облаштованих вантажних майданчиків. Водії змушені зупинятись прямо на проїзній частині або тротуарі, що порушує правила дорожнього руху і створює додаткові незручності для інших учасників руху. При цьому кожна зупинка займає від 10 до 40 хвилин залежно від обсягу поставки та наявності вантажників на місці. Якщо на маршруті налічується 25-30 точок доставки, сумарні витрати часу на стоянки можуть складати половину тривалості робочої зміни водія [3].

Важливим чинником, що визначає ефективність міської доставки, є відповідність між вантажопідйомністю транспортного засобу та фактичним обсягом перевезеного вантажу. Якщо автомобіль регулярно їздить напівпорожнім – підприємство несе необґрунтовані витрати на паливо та амортизацію. Якщо ж транспортний засіб перевантажений – це загрожує

прискоренням зносом ходової частини, підвищенням ризику аварії та порушенням технічних регламентів [5].

Особливе місце серед проблем міських вантажних перевезень займає питання дотримання часових вікон. Сучасні роздрібно-торговельні мережі, зокрема супермаркети та дискаунтери, як правило, регламентують час прийому товарів. Поставка поза встановленим часовим вікном може спричинити відмову у прийнятті вантажу, штрафні санкції або позапланове повернення товару на склад. З огляду на це, планування маршруту має враховувати не тільки географію точок, а й часові обмеження кожної з них, що суттєво ускладнює задачу маршрутизації.

Серйозним викликом для вітчизняних перевізників є поточна воєнна ситуація в Україні. Збройний конфлікт спричинив цілу низку негативних наслідків для транспортної галузі. По-перше, частина доріг та інфраструктурних об'єктів зазнала пошкоджень, що призвело до зміни звичних маршрутів та збільшення пробігу. По-друге, мобілізаційні заходи суттєво скоротили пропозицію кваліфікованих водіїв на ринку праці. За оцінками галузевих асоціацій, дефіцит водіїв категорії С та СЕ у 2023-2024 роках сягав 30-40% від потреби, що неминуче відобразилось на вартості послуг і надійності виконання замовлень [5].

По-третє, воєнний стан призвів до впровадження нових адміністративних обмежень на пересування, зокрема комендантської години, заборони на рух певних категорій транспорту вночі та обов'язкових зупинок на блокпостах. Усі ці чинники збільшують тривалість рейсів і злижують передбачуваність виконання графіків. Нарешті, повітряні тривоги, що у деяких містах оголошуються по кілька разів на добу, змушують водіїв зупинятись і ховатись в укриттях, що повністю дезорієнтує виконання маршруту.

Розглянемо детальніше основні групи проблем, з якими стикаються організатори міських вантажних перевезень.

Перевантаженість дорожньої мережі. Протягом останніх десятиліть кількість транспортних засобів у великих українських містах зростає значно швидше, ніж пропускна спроможність доріг. Будівництво нових доріг та розширення існуючих у міській забудові є вкрай дорогим і складним завданням, тому пропускна спроможність вулично-дорожньої мережі залишається майже незмінною, тоді як інтенсивність руху постійно зростає.

Для вантажного автомобіля, що виконує міські розвезення, затори означають не просто затримку часу, вони призводять до суттєвого перевитрати пального через режим «стоп-старт», підвищеного теплового навантаження на двигун та збільшення часу роботи водія понад норму [3].

Регуляторні обмеження для вантажного транспорту. Більшість великих міст України ввела зони та часові обмеження для вантажних автомобілів. Зазвичай в'їзд у центральну частину міста для вантажівок масою понад 3,5 тонн дозволений лише у певний час або заборонений цілодобово. Це означає, що для доставки товарів у центральні торговельні точки необхідно або використовувати малотоннажні фуртони, або організовувати нічні рейси, що суттєво впливає на організацію праці водіїв та вимоги до рухомого складу [4].

Нестабільність часу виконання рейсу. На відміну від міжміських перевезень, де час у дорозі можна досить точно розрахувати, міські рейси характеризуються високою варіативністю. Один і той самий маршрут у понеділок вранці та у середу після обіду може відрізнятись за тривалістю на 40-60%. Дорожні роботи, аварії, стихійні заходи та вже згадані повільні тривоти додатково збільшують цю невизначеність. Для підприємства, що зобов'язується дотримуватись часових вікон поставок, така нестабільність є серйозним організаційним ризиком.

Зростання операційних витрат. Протягом 2022-2024 років вартість дизельного пального в Україні зросла більш ніж удвічі. Одночасно підвищились ціни на запасні частини, мастила та шини. Вартість обслуговування та ремонту транспортних засобів також зросла через

подорожчання імпортованих комплектуючих та дефіцит кваліфікованих механіків. На тлі цього зростання витрат тиск на скорочення власних витрат на перевезення став для торговельних підприємств пріоритетним завданням [5].

Незадовільний стан дорожнього покриття. Значна частина вулиць українських міст має пошкоджене або зношене покриття. Для вантажного автомобіля їзда по вибоїнах та нерівностях означає підвищені навантаження на підвіску, раму та вузли. Це призводить до прискореного зносу вузлів і агрегатів, збільшення витрат на технічне обслуговування та підвищення ризику пошкодження вантажу, особливо якщо йдеться про крихкі або чутливі до вібрації товари [4].

Низький рівень автоматизації управлінських процесів. Більшість малих і середніх транспортних підприємств в Україні досі керують маршрутами «вручну» диспетчер на підставі власного досвіду та інтуїції призначає послідовність об'їзду точок, не використовуючи жодних програмних інструментів оптимізації. Облік паливних витрат ведеться у паперових журналах або найпростіших електронних таблицях. Контроль за місцезнаходженням автомобілів здійснюється телефонними дзвінками водіям. Така організація управління є архаїчною і не дозволяє виявляти приховані резерви ефективності [6].

Дефіцит кваліфікованих кадрів. Водій вантажного автомобіля для міських розвозень - це не просто людина, яка вміє керувати транспортним засобом. Це фахівець, який повинен добре орієнтуватись у місті, вміти організувати процес розвантаження, правильно оформити документи на кожній точці та підтримувати позитивні стосунки з персоналом магазинів. Підготовка таких фахівців вимагає часу, а їх відтік через мобілізацію або еміграцію призводить до реальних операційних труднощів, які неможливо подолати лише організаційними заходами [5].

Для конкретного маршруту з добовим вантажопотоком близько 8,2 тону та кількістю точок доставки 31 адресів – поглядання перелічених проблем створює комплексний виклик. Вирішення кожної проблеми окремо є недостатнім – потрібен системний підхід, що враховує взаємозв'язки між усіма факторами.

1.2. Методи удосконалення перевезень вантажів у містах

Сучасна теорія і практика логістики пропонує широкий арсенал інструментів підвищення ефективності міських вантажних перевезень. Розглянемо найбільш значущі з них, акцентуючи увагу на тих, що мають безпосереднє відношення до завдань, розв'язуваних у цій роботі.

Незалежно від масштабу та складності, ефективна організація перевезення передбачає такі етапи [6]:

- аналіз вантажу та потреб замовника: визначення фізичних характеристик товарів, їх обсягу та масу, вимог до температурного режиму або особливих умов перевезення, встановлення часових вікон доставки для кожного отримувача;
- вибір виду транспортного засобу та типу рухомого складу: обґрунтування доцільності використання автомобільного, залізничного чи іншого виду транспорту, підбір конкретної моделі транспортного засобу за критеріями вантажопідйомності, габаритів кузова та економічності;
- розроблення маршруту: визначення оптимальної послідовності об'їзду точок доставки з урахуванням географії, часових вікон, обмежень для вантажного транспорту та прогнозуванням дорожньої ситуації;
- підготовка документації: оформлення товарно-транспортних накладних, довіреностей, сертифікатів якості та інших документів, необхідних для виконання конкретних поставок;

– виконання рейсу: безпосереднє переміщення вантажу із дотриманням маршруту, часових обмежень та вимог щодо збереженості товару;

завершення операцій та аналіз результатів: підписання документів на кожній точці, фіксація відхилень від плану, збір даних для подальшого аналізу ефективності.

Загальну послідовність організації вантажного перевезення зображено на рис 1.2.



Рисунок 1.2 – Загальна послідовність організації вантажного перевезення

Дотримання цієї послідовності є необхідною умовою контролюваного та керованого логістичного процесу. Розглянемо основні методи, що дозволяють підвищити ефективність кожного з етапів.

Проблематику міської вантажної логістики та методи її вирішення зображено на рис. 1.3.



Рисунок 1.3 – Методи вирішення проблем міської вантажної логістики

Задача визначення оптимального маршруту для вантажного автомобіля, що обслуговує множину точок доставки, відноситься до класу задач комбінаторної оптимізації. Найбільш повною постановкою є задача маршрутизації транспортних засобів з часовими вікнами (Vehicle Routing Problem with Time Windows, VRPTW). Вона враховує одночасно кілька обмежень: вантажопідйомність транспортного засобу, часові вікна кожної точки, тривалість обслуговування та обмеження на загальний час роботи водія.

Критерієм оптимізації зазвичай є мінімізація загального пробігу або загальних витрат [6].

Для розв'язання задач VRPTW розроблені різноманітні алгоритми: точні методи (гілок і меж, динамічного програмування), евристичні алгоритми (найближчого сусіда, пошукки) та метаевристики (генетичні алгоритми,

імітація відпалу, мурашині алгоритми). На практиці для реальних завдань з кількістю точок понад 20-30 зазвичай застосовують метаевристики або спеціалізоване програмне забезпечення.

Для розв'язання задач VRPTW застосовують різноманітні алгоритми: точні методи (глобальне динамічне програмування), евристичні алгоритми (найближчого сусіда, вставки) та метаевристики (генетичні алгоритми, імітація відпалу, мурашині алгоритми). На практиці для реальних завдань з кількістю точок понад 20-30 зазвичай застосовують метаевристики або спеціалізоване програмне забезпечення для оптимізації маршрутів.

Вибір типу та моделі транспортного засобу для конкретного маршруту є одним із ключових рішень у логістиці. Неправильний вибір призводить або до систематичного недовантаження (якщо вантажопідйомність надмірна), або до неможливості виконати весь добовий обсяг за один рейс (якщо вантажопідйомність недостатня). Перший варіант означає перевитрату пального та надмірну амортизацію, другий – необхідність здійснювати кілька рейсів, що збільшує загальні витрати та пробіг [5].

Для міської дрібно партійної доставки із середнім обсягом поставки на одну точку від 150 до 500 кг оптимальним, як правило, є використання малотоннажних фургонів вантажопідйомністю 1,5-3,5 тонни. Такі автомобілі мають ряд переваг порівняно з більшими вантажівками: вони вільно в'їжджають у заборонені для великовагового транспорту зони, займають менше місця при паркуванні, споживають менше пального та мають нижчі витрати на технічне обслуговування. Серед конкретних моделей, що широко застосовуються в Україні, можна виділити Renault Master, Mercedes-Benz Sprinter, Ford Transit та Volkswagen Crafter.

При виборі транспортного засобу необхідно враховувати не лише паспортну вантажопідйомність, а й реальний корисний об'єм кузова, оскільки для легковагових об'єктів обмежуючим чинником може виявитись саме об'єм, а не маса. Для маршруту, що розглядається у цій роботі, з добовим

вантажопотоком 8,2 тис. тонн та можливістю виконати рейс за одну зміну, вибір транспортного засобу вантажопідйомністю 9-10 тис. або двох фургонів по 4-5 тис. з питанням економічного обґрунтування [3].

Традиційний підхід до управління рухомим складом, при якому диспетчер спілкується з водієм виключно по телефону, має очевидні обмеження: диспетчер не знає точного місцезнаходження автомобіля, не може відстежити реальний час прибуття на кожну точку та не має об'єктивних даних про причини затримок. Сучасні системи GPS-моніторингу кардинально змінюють ситуацію [6].

Система GPS-моніторингу в базовій конфігурації включає бортовий пристрій, встановлений на транспортному засобі, що передає координати, швидкість та інші параметри на сервер кожні 10-60 секунд. Диспетчер бачить на екрані реальне положення всіх автомобілів парку на карті міста. Сучасні платформи, такі як Wialon або TruckTrans, дозволяють не лише відстежувати місцезнаходження, а й аналізувати тривалість зупинок на кожній точці, будувати детальні звіти по виконаних рейсах, налаштовувати сповіщення про відхилення від маршруту або порушення графіку.

Для підприємства, що виконує маршрутні перевезення з фіксованими часовими вікнами, впровадження GPS-моніторингу дозволяє своєчасно виявляти затримки та інформувати отримувачів про перенесення часу доставки; об'єктивно оцінювати роботу водіїв; накопичувати статистику по кожній точці маршруту для подальшого вдосконалення планування; виявляти несанкціоновані зупинки та відхилення від маршруту.

Паливо є однією з найбільших статей витрат у транспортній логістиці – залежно від умов роботи на нього може припадати від 30 до 50% загальної собівартості перевезення. Тому впровадження систем контролю витрат пального є пріоритетним напрямом підвищення ефективності [5].

Системи моніторингу пального (Fuel Monitoring System, FMS) принципово відрізняються від простого GPS-моніторингу. Вони включають

датчики рівня пального в баку з підвищеною точністю вимірювання (1-2%), що дозволяє виявляти несанкціоновані зливи навіть невеликих обсягів. Аналіз даних FMS у поєднанні з даними GPS дозволяє розраховувати фактичну паливну витрату на кожному відрізку маршруту та виявляти аномалії, що можуть свідчити про технічні несправності або зловживання. За оцінками постачальників таких систем, їх впровадження дозволяє знизити витрати на паливо на 10-20%.

Окрім технічного контролю, зниження витрат пального досягається організаційними заходами: навчанням водіїв технікам економного водіння, своєчасним технічним обслуговуванням двигунів та шин, оптимізацією маршрутів для зменшення загального пробігу.

Термін «цифровізація логістики» охоплює широкий спектр технологій та рішень, що трансформують традиційні паперові та ручні процеси в автоматизовані цифрові. Для транспортного підприємства це насамперед означає перехід від паперових дорожніх листів та накладних до електронного документообігу, від телефонної диспетчеризації до автоматизованих систем управління маршрутами, від обліку в зошитах до спеціалізованих програмних рішень [6].

Системи управління транспортом (Transport Management System, TMS) – це спеціалізовані програмні платформи, що автоматизують весь цикл управління перевезеннями: від отримання замовлення до формування маршруту, відправки вантажу та отримання підтвердження доставки. Сучасні TMS-системи інтегруються з обліковими системами підприємства, системами GPS-моніторингу та мобільними додатками для водіїв, утворюючи єдину інформаційну екосистему.

Системи управління ланцюгами постачання (Supply Chain Management, SCM) виходять за межі окремого підприємства і дозволяють координувати дії всіх учасників ланцюга – від постачальника сировини до кінцевого споживача. Для торговельної мережі це означає можливість автоматично формувати

замовлення поставальникам на підставі даних про залишки в магазинах, оптимально планувати графіки поставок і мінімізувати запаси. Технології Big Data та штучного інтелекту дозволяють будувати точні моделі попиту, що є основою для ефективного планування поставок.

Ефективне управління транспортними ресурсами неможливе без прогнозування майбутніх обсягів перевезень. Якщо підприємство не знає, скільки вантажу йому потрібно буде перевезти наступного місяця або кварталу, воно не може ні обґрунтовано планувати потребу в рухомому складі, ні укладати довгострокові договори з перевізниками на вигідних умовах [1].

Для прогнозування вантажопотоків застосовують різні статистичні методи залежно від характеру наявних даних та горизонту прогнозування. Трендовий аналіз дозволяє виявити загальну тенденцію зміни обсягів перевезень у часі та екстраполювати її на майбутнє. Сезонний аналіз враховує циклічні коливання попиту – наприклад, збільшення обсягів перед святами або зменшення влітку. Кореляційно-регресійний аналіз встановлює залежність між обсягами перевезень та зовнішніми чинниками – доходами населення, індексом споживчих цін, кількістю відкритих торговельних точок тощо.

У цій роботі для прогнозування обсягів перевезень на 2026 рік використовуються фактичні дані за 2023-2025 роки. На підставі цих даних будуються трендові моделі, що дозволяють оцінити очікуваний вантажопотік та визначити потребу в рухомому складі.

Більшість торговельних підприємств на початкових етапах розвитку користуються послугами найманих перевізників. Це зрозуміло: власний автопарк вимагає значних початкових інвестицій та формування компетенцій у сфері управління транспортом. Однак зі зростанням обсягів перевезень та ускладненням логістичних завдань власний рухомий склад стає економічно доцільнішим [5].

Власний автопарк надає підприємству ряд стратегічних переваг. По-перше, повний контроль над якістю виконання рейсів: водії є працівниками

підприємства і підпорядковуються його вимогам щодо обслуговування клієнтів. По-друге, гнучкість у перебудові маршрутів та графіків відповідно до поточних потреб. По-третє, можливість стандартизувати транспортні засоби та їх оснащення для конкретних потреб. По-четверте, зниження собівартості перевезень при досягненні достатнього обсягу роботи.

Оптимізація структури автопарку передбачає визначення оптимальної кількості та типів транспортних засобів для виконання всього обсягу перевезень при мінімальних сумарних витратах. Ця задача вирішується методами математичного програмування або евристичного аналізу на основі статистики маршрутів.

1.3. Висновки по розділу

У першому розділі проаналізовано сучасний стан міських вантажних перевезень та методи підвищення їх ефективності. Встановлено, що основними проблемами є перевантаженість дорожньої мережі, зростання вартості пального, дефіцит кадрів та короткі часові вікна торговельних мереж, які в умовах воєнного стану додатково загострились через руйнування інфраструктури та непередбачуваність маршрутів. Для маршруту з добовим вантажопотоком 8,2 тис. на 30 пунктах доставки ключовими недоліками визначено нерациональну послідовність об'їзду точок і невідповідність вантажопідйомності транспортного засобу фактичним обсягам перевезень.

Найбільш пріоритетними методами вдосконалення є математична оптимізація маршрутів з урахуванням часових вікон, обґрунтований вибір рухомого складу та впровадження GPS-моніторингу.

Результати аналізу слугують методологічною основою для прогнозування обсягів перевезень, вибору рухомого складу та розроблення оптимального маршруту доставки у наступних розділах роботи.

РОЗДІЛ 2

ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАНТАЖІВ НА МІСЬКИХ МАРШРУТАХ

2.1 Прогнозування обсягів перевезень вантажів

Прогноз щомісячних обсягів вантажопотоку на 2026 рік побудовано на основі аналізу часових рядів із використанням засобів прогнозування Microsoft Excel. Результати прогнозування наведено на рис. 2.1 разом із довірчим інтервалом на рівні 95%.



Рисунок 2.1 Прогноз вантажопотоку на 2026 рік

За результатами прогнозування очікується збереження вантажопотоку на рівні 194–202 одиниць на місяць. Це означає, що обраний рухомий склад та розроблена маршрутна схема задовільнимуться ефективними у плановому році без необхідності суттєвого коригування.

Аналіз даних табл. 2.9 свідчить про стабільний вантажопотік протягом трьох років спостережень. Середньорічний обсяг зріс з 193,2 (2023 р.) до 194,1 (2024 р.) та 195,2 (2025 р.). Сезонних коливань значної амплітуди не

спостерігається, що свідчить про рівномірний попит на товари EVA протягом року

2.2. Характеристика об'єкта дослідження та пунктів заведення

Об'єктом дослідження є система розвезення товарів мережі магазинів EVA по місту Харкові. До складу маршрутної мережі входить склад-депо та 30 роздрібних торгових точок. Добовий вантажопотік становить 8 200 кг.

Вантаж – товари побутової хімії та косметики, не потребує спеціального температурного режиму.

Пункти заведення розташовані у різних районах міста. Обсяг заведення до кожної торгової точки визначено на основі аналізу фактичних замовлень та встановлено відповідно до їх торгової площі та товарообігу. Черелік пунктів заведення з обсягами наведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Черелік пунктів заведення мережі магазинів EVA

№	Пункт заведення	Обсяг, кг	№	Пункт заведення	Обсяг, кг
1	2	3	4	5	6
1	Магазин EVA 1	250	16	Магазин EVA 16	300
2	Магазин EVA 2	350	17	Магазин EVA 17	250
3	Магазин EVA 3	300	18	Магазин EVA 18	260
4	Магазин EVA 4	150	19	Магазин EVA 19	270
5	Магазин EVA 5	280	20	Магазин EVA 20	290
6	Магазин EVA 6	280	21	Магазин EVA 21	280
7	Магазин EVA 7	240	22	Магазин EVA 22	260
8	Магазин EVA 8	280	23	Магазин EVA 23	260
9	Магазин EVA 9	310	24	Магазин EVA 24	280
10	Магазин EVA 10	270	25	Магазин EVA 25	300
11	Магазин EVA 11	290	26	Магазин EVA 26	250
12	Магазин EVA 12	280	27	Магазин EVA 27	290
13	Магазин EVA 13	260	28	Магазин EVA 28	250
14	Магазин EVA 14	280	29	Магазин EVA 29	260
15	Магазин EVA 15	280	30	Магазин EVA 30	280
Загальний обсяг заведення, кг:					8200

Загальний добовий обсяг заванзнення складає 8200 кг (8,2 т). Середній обсяг на один пункт – 273 кг. Максимальний обсяг – 350 кг (Магазин EVA 2), мінімальний – 150 кг (Магазин EVA 4).

Для проектування маршрутів розглядалися транспортні засоби п'яти класів вантажопідйомності: від 1,5 т (мікроавтобус-фургон) до 5,5 т (середньотоннажна вантажівка). Вибір рухомого складу здійснюється за критерієм мінімізації транспортних витрат при дотриманні обмежень щодо втязу вантажного транспорту у міські квартали та дотримання часових вікол обслуговування.

Основні технічні та економічні характеристики транспортних засобів, що розглядаються для виконання маршрутних перевезень, наведені у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 Технічні та економічні характеристики транспортних засобів

Транспортний засіб	Вантажопідйомність q , т	Добова заробітна плата водія $B_{\text{доп}}$, грн	Постійні витрати $P_{\text{пост}}$, грн/місяць	Змінні витрати R , грн/км	Витрати на лавантаження-розвантаження $P_{\text{лр}}$, грн/т
Renault Master	1,5	9,46	47,42	5,5	3,70
Mercedes-Benz Sprinter IVECO	2,5	10,78	57,62	6,5	2,60
Daily	3,5	11,76	67,48	7,5	2,14
MAN TGL 8 180	4,5	12,57	77,12	8,5	1,89
MAN TGL 12.250	5,5	13,27	86,58	9,2	1,67

Для кожного варіанта було розраховано сумарні експлуатаційні витрати з урахуванням змінних та постійних складових, а також особливостей виконання транспортної роботи.

З отриманих результатів бачимо те, що рівень витрат змінюється залежно від вантажопідйомності транспортного засобу. Збільшення вантажопідйомності дозволяє підвищити ефективність використання рухомого складу та скоротити кількість необхідних рейсів, проте одночасно може призводити до зростання окремих експлуатаційних витрат. Результати аналізу наведено на рис. 2.2.



Рисунок 2.2 – Залежність загальних витрат на перевезення від вантажопідйомності транспортного засобу

Посилаючись на рис. 2.2, зі збільшенням вантажопідйомності транспортного засобу загальні витрати спочатку зменшуються, досягаючи мінімального значення при вантажопідйомності 4,5 т. Подальше збільшення вантажопідйомності призводить до зростання витрат, що свідчить про наявність оптимального значення цього параметра для заданих умов перевезень.

Відповідно до даних таблиці, оптимальним варіантом за критерієм мінімуму транспортних витрат є автомобіль вантажопідйомністю 3,5–4,5 тонни (IVECO Daily або MAN TGI, 8,180) з витратами 1 640 – 1 640 грн/добу. Детальне обґрунтування вибору рухомого складу здійснюється на підставі порівняльного аналізу всіх варіантів маршрутизації.

Маршрути доставки розроблені методом математичної оптимізації з використанням задачі маршрутизації транспортних засобів (VRP – Vehicle Routing Problem). Задача вирішена для п'яти варіантів рухомого складу з метою порівняльного аналізу ефективності.

Вихідними даними для проєктування маршрутів є: координати складу та 30 пунктів заванезення, обсяги заванезення (кг), вантажопідйомність транспортного засобу, час обслуговування кожного пункту (10 хв), матриця відстаней між усіма парами пунктів, початок роботи водія – 08:00.

Транспортний засіб Renault Master вантажопідйомністю 1 500 кг забезпечує виконання 6 маршруту(ів) для обслуговування усіх 30 пунктів заванезення (рис. 2.4). Схема розвізних маршрутів наведена на рис. 2.4.



Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд Renault Master

Рисунок 2.4 Схема розвізних маршрутів для Renault Master (до 1 500 кг).

Детальні показники роботи на маршрутах для Renault Master наведено у табл. 2.3.

Таблиця 2.3 Показники роботи на маршрутах для Renault Master

№	К-ть пунктів	Час обороту	Час обслуґ.	Ван. пробіг, км	Пробіг з вант., км	Обсяг, кг	Вант-оборот, ткм	Внізд	Повернення
1	5	2:31	1:30	34.355	23.587	1450	24.52	07:42	10:13
2	6	2:30	1:41	28.083	19.670	1490	14.37	07:41	10:12
3	5	2:10	1:29	25.143	17.828	1300	15.71	07:44	09:54
4	5	1:50	1:13	12.516	7.541	1470	8.94	07:42	09:32
5	5	2:00	1:18	18.909	13.684	1380	15.21	07:43	09:43
6	4	1:30	1:00	12.138	7.738	1110	6.00	07:46	09:16
Всього / Середнє:				131.144	90.043	8200	84.75		

Загальний пробіг складає 131,14 км, у тому числі 90,04 км з вантажем. Усього перевезено 8200 кг вантажу.

Транспортний засіб Mercedes-Benz Sprinter вантажопідйомністю 2 500 кг забезпечує виконання 4 маршруту(ів) для обслуговування усіх 30 пунктів завізівня.



Рисунок 2.5— Зовнішній вигляд Mercedes-Benz Sprinter

Схема розвізних маршрутів наведена на рис. 2.6.

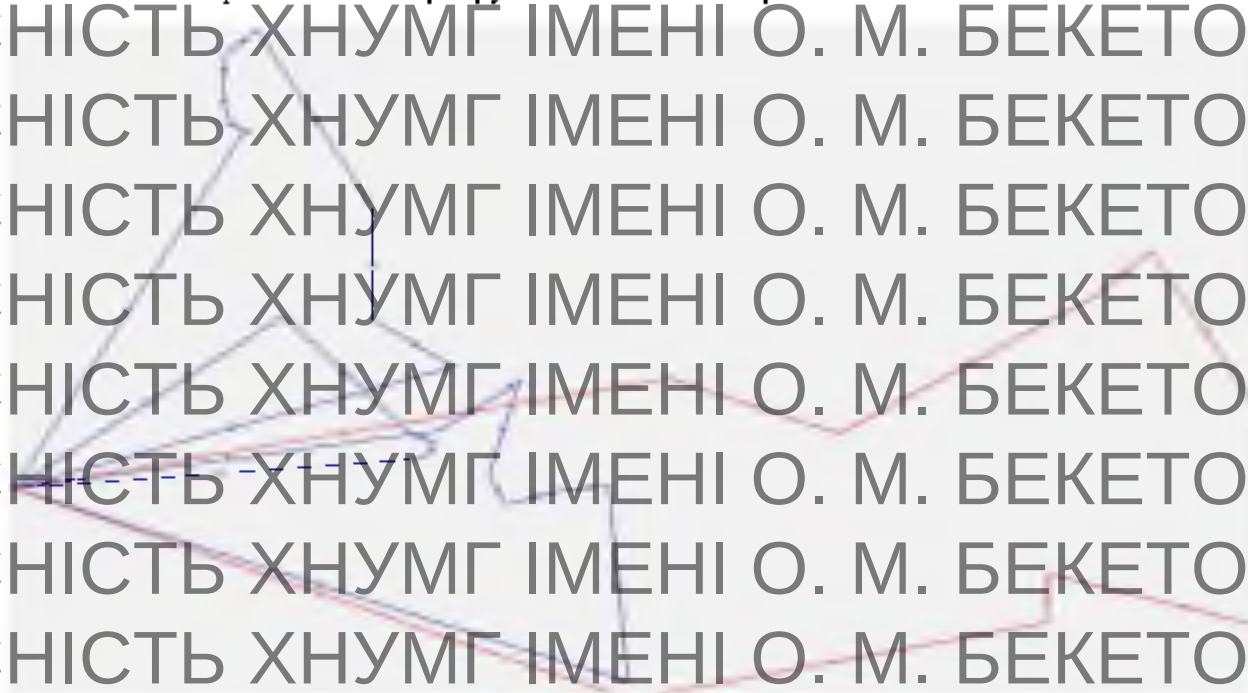


Рисунок 2.6— Схема розвізних маршрутів для Mercedes-Benz Sprinter ($q = 2500$ кг).

Детальні показники роботи на маршрутах для Mercedes-Benz Sprinter наведено у табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Показники роботи на маршрутах для Mercedes-Benz Sprinter

№	К-ть пунктів	Час обороту	Час обслуґ.	Заг. пробіг, км	Пробіг з вантаж., км	Обсяг, кг	Вантаж. оборот, ткм	Витрати	Повернення
1	9	3.40	2.43	38.023	30.494	2350	43.47	07:31	11.11
2	8	2.55	2.04	20.660	13.340	2300	18.26	07:32	10.27
3	9	3.12	2.17	21.970	16.898	1460	26.37	07:30	10.42
4	4	1:29	0.59	11.929	7.529	1090	5.75	07:46	09.15
Всього / Середнє				92.582	68.261	8200	93.85		

Загальний пробіг складає 92.58 км, у тому числі 68.26 км з вантажем.

Усього перевезено 8200 кг вантажу.

Транспортний засіб IVECO Daily забезпечує виконання 3 маршруту(ів) для обслуговування усіх 30 пунктів завантаження.



Рисунок 2.7– Зовнішній вигляд IVECO Daily

Схема розвізних маршрутів наведена на рис. 2.8.

Рисунок 2.8 – Схема розвізних маршрутів для IVECO Daily ($q = 3\,500$ кг).

Детальні показники роботи на маршрутах для IVECO Daily наведено у табл.2.5.

Таблиця 2.5 – Показники роботи на маршрутах для IVECO Daily

№	К-ть пунктів	Час обороту	Час обслуг.	Зас. пробіг, км	Пробіг з вантажем, км	Обсяг вантажу, кг	Вант-оборот, ткм	Вихід	Повернення
1	12	4:13	3:12	26.785	20.773	3380	42.12	07:19	11:32
2	13	4:48	3:42	38.907	31.587	3450	58.71	07:18	12:06
3	5	1:46	1:11	11.844	6.869	1370	7.50	07:43	09:29
Всього / Середнє:				77.536	59.229	8200	108.33		

Загальний пробіг складає 77.54 км, у тому числі 59.23 км з вантажем. Усього перевезено 8200 кг вантажу.

Транспортний засіб MAN TGL 8.180 вантажопідйомністю 4 500 кг забезпечує виконання 2 маршруту(ів) для обслуговування усіх 30 пунктів заванесення.



Рисунок 2.9 – Зовнішній вигляд засіб MAN TGL 8.180

Схема розвізних маршрутів наведена на рис. 2.10.

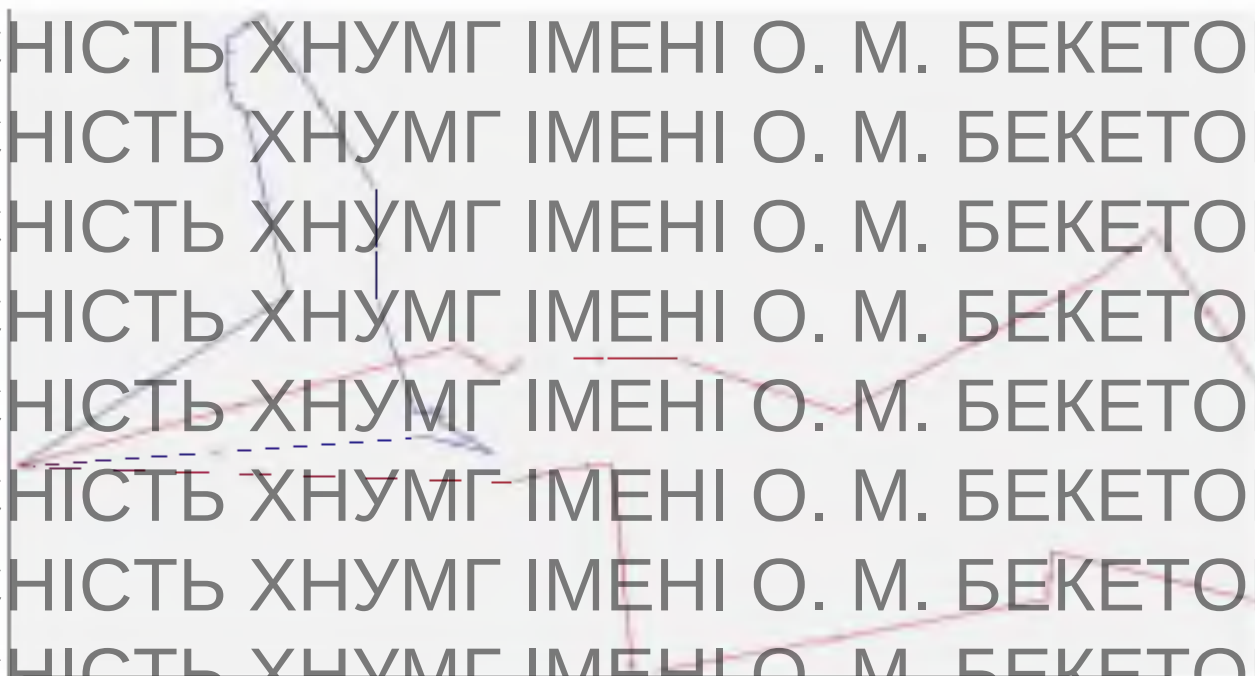


Рисунок 2.10 – Схема розвізних маршрутів для MAN TGL 8.180 ($q = 4\,500$ кг).

Детальні показники роботи на маршрутах для MAN TGL 8.180 наведено у табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Показники роботи на маршрутах для MAN TGL 8.180

№	К-ть пунктів	Час обороту	Час обслуг.	Заг. пробіг, км	Пробіг з вантаж., км	Обсяг, кг	Вантаж. оборот, ткм	Витрати	Шовер-нення
1	16	5.45	4.33	41.619	36.644	4350	91.12	07:07	12.52
2	14	4.41	5.57	24.870	20.682	3850	51.26	07:13	11.54
Всього / Середнє:				66.489	57.326	8200	142.38		

Загальний пробіг складає 66.49 км, у тому числі 57.33 км з вантажем. Усього перевезено 8200 кг вантажу. Транспортний засіб MAN TGL 12.250 вантажопідйомністю 5 500 кг забезпечує виконання 2 маршруту(ів) для обслуговування усіх 30 пунктів заванесення.



Рисунок 2.11 Зовнішній вигляд MAN TGL 12.250

Схема розкідних маршрутів наведена на рис. 2.12.

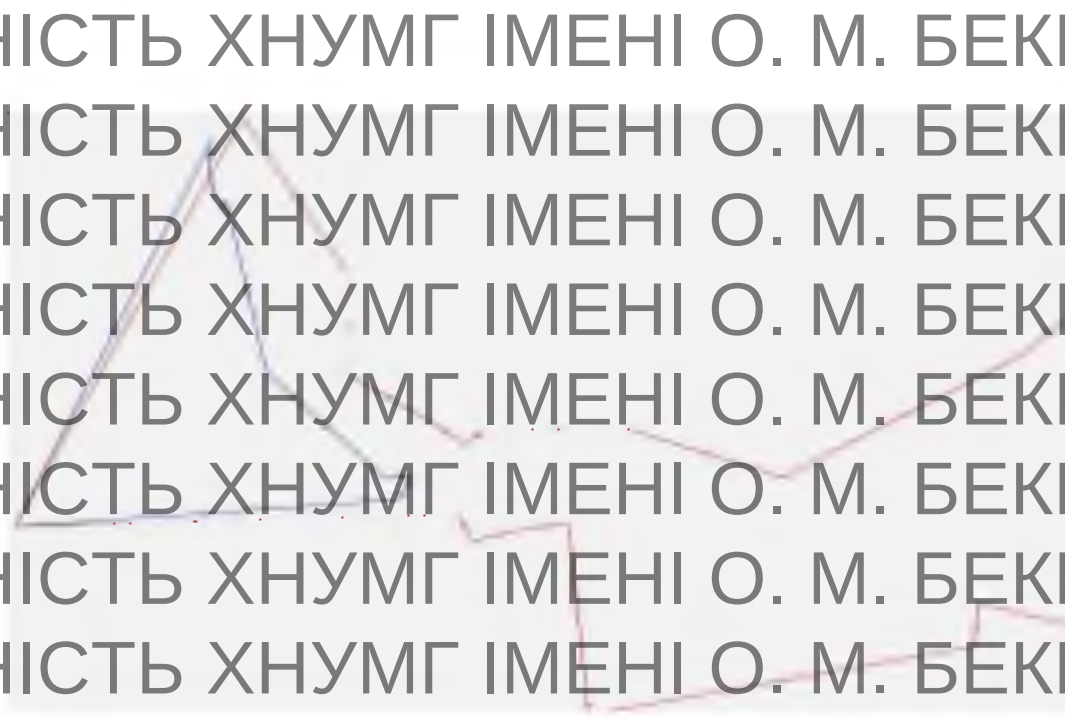


Рисунок 2.12 — Схема розвізних маршрутів для MAN TGL 12.250
($q = 5\,500$ кг).

Детальні показники роботи на маршрутах для MAN TGL 12.250 наведено у табл. 2.7.

Таблиця 2.7 Показники роботи на маршрутах для MAN TGL 12.250

№	К-ті. пунктів	Час обороти	Час обслуг.	Заг. пробіг, км	Пробіг з вантаж., км	Обсяг кг	Вантаж. оборот, т·км	Вийзд. Візит	Поверт. всіх
1	20	7:16	5:41	53.693	48.885	5440	166.07	06:54	14:09
2	10	3:29	2:30	21.985	17.797	2760	36.87	07:26	10:55
Всього / Середнє				75.678	66.682	8200	202.94		

Загальний пробіг складас 75.68 км, у тому числі 66.68 км з вантажем.
Усього перевезено 8200 кг вантажу.

Транспортні витрати розраховуються для кожного маршруту за формулою, яка враховує: змінну складову (витрати пального та мастильних матеріалів пропорційно пробігу), постійну складову (заробітна плата водія, амортизація, страхування) та витрати на навантажувально-розвантажувальні роботи.

Зведені результати розрахунку транспортних витрат для всіх варіантів рухомого складу наведено у табл. 2.8.

Таблиця 2.8 Розрахунок транспортних витрат за варіантами рухомого складу

Вантажопідйомність, т	Маршрут	Час обертв, год	Заг. пробіг, км	Парова-зено, кг	Змінні витрати, грн	Постійні витрати, грн	Витрати на маршрут, грн	Добові транспортні витрати, грн
1,5	1	2,52	34,36	1450	324,83	119,73	444,56	1834,14
	2	2,50	28,08	1490	265,53	118,79	384,31	
	3	2,17	25,14	1300	237,73	102,78	340,51	
	4	1,83	12,52	1470	118,34	86,70	205,04	
	5	2,00	18,91	1380	178,79	94,77	273,56	
	6	1,51	12,14	1110	114,77	71,40	186,17	
2,5	1	3,67	38,02	2350	409,74	211,44	621,19	1647,55
	2	2,92	20,66	2300	322,64	168,39	391,02	
	3	3,20	21,97	2460	236,75	184,12	420,87	
	4	1,49	11,93	1090	128,55	85,91	214,46	
3,5	1	4,22	26,79	3380	315,06	284,71	599,77	1640,21
	2	4,81	38,91	3450	457,65	324,26	781,91	
	3	1,77	11,84	1370	139,32	119,21	258,53	
4,5	1	5,75	41,62	4350	523,04	443,63	966,67	1640,07
	2	4,68	34,87	3850	342,55	360,84	673,39	
5,5	1	7,24	53,69	5440	712,25	627,26	1339,50	1932,75
	2	3,48	21,99	2760	291,64	301,61	593,25	

Аналіз таблиці показує, що мінімальні добові транспортні витрати досягаються при використанні автомобіля вантажопідйомністю 3,5 т (IVECO Daily) – 1 640,21 грн та 4,5 т (MAN TGL 8.180) – 1 640,07 грн. Залежність транспортних витрат від вантажопідйомності має параболічний характер, що підтверджується апроксимацією поліномом другого ступеня. Оптимальним варіантом є MAN TGL 8.180 з мінімальними витратами.

2.3. Висновки по розділу

У другому розділі виконано комплексне проектування технології перевезень вантажів для мережі магазинів ПВА у місті Харкові. Сформовано базу даних із 30 торгових точок із загальним добовим вантажопотоком 8 200 кг та середнім обсягом заванезення 273 кг на одну точку.

Досліджено п'ять варіантів рухомого складу вантажопідйомністю від 1,5 до 5,5 т, за результатами порівняльного аналізу транспортних витрат оптимальним визнано автомобіль MAN TG1. 8.180 (сн. 4,5 т) з мінімальними добовими витратами 1 640,07 грн.

Методом VRP розроблено маршрутні схеми для кожного варіанту рухомого складу; для обраного автомобіля передбачено 2 маршрути із загальним пробігом 66,5 км та максимальним часом обороту 5 год 45 хв.

Прогнозування вантажопотоку на 2026 рік засвідчило стабільний рівень попиту (194–202 од./місяць) без суттєвих сезонних коливань, що підтверджує доцільність використання обраного рухомого складу у перспективі.

РОЗДІЛ 3

ОРГАНІЗАЦІЯ ДОРОЖНЬОГО РУХУ НА ПЕРЕХРЕСТІ МАРШРУТУ

3.1. Вибір кількості смуг руху на підходах до перехрестя

Маршрут вантажної доставки пролягає через T-подібне перехрестя, розташоване в межах міста Харкова. Для того щоб вантажні автомобілі могли безперешкодно проїжджати через вузол без значних часових втрат, необхідно визначити достатню кількість смуг руху на кожному з підходів та розробити відповідну систему управління транспортними потоками.

Перший крок полягає у з'ясуванні розрахункової (прогнозованої) інтенсивності руху на підходах до перехрестя з урахуванням перспективи розвитку на горизонт 10 років. Схему перехрестя зі значеннями інтенсивності транспортних потоків по напрямках показано на рис. 3.1.



Рисунок 3.1 – Схема перехрестя з інтенсивностями руху транспортних потоків

Прогнозну інтенсивність руху на підходах до перехрестя визначають за формулою (3.1):

$$N_{прое} = k_p \cdot (N_{нас} + N_{пов}) \quad (3.1)$$

де $N_{прое}$ – сумарна приведена інтенсивність руху в розрахунковому напрямку на підході до перехрестя, авт./год;

k_p – коефіцієнт зростання інтенсивності руху на розрахунковий перспективний період ($k_p = 1,8$);

$N_{нас}$ – інтенсивність насиченого напрямку, авт./год;

$N_{пов}$ – інтенсивність поворотних потоків, авт./год.

Пропускна спроможність багатосмугової проїзної частини на підході до перехрестя розраховується за формулою (3.2):

$$P = P_0 \cdot K_p \cdot K_E \cdot K_t \quad (3.2)$$

де P_0 – базова пропускна спроможність однієї смуги руху, авт./год ($P_0 = 1000$ авт./год – при зміні смуги, $P_0 = 1200$ авт./год – без зміни смуги);

K_p – коефіцієнт багатосмуговості;

K_E – коефіцієнт, що враховує вплив складу транспортного потоку;

K_t – коефіцієнт типу дорожнього покриття ($K_t = 1,0$ для асфальтобетонного покриття).

Кількість смуг на кожному підході визначається виходячи з умови $N_{прое}$.

P , тобто розрахункова інтенсивність не повинна перевищувати пропускну спроможність проїзної частини. За результатами розрахунків прийнято кількість смуг руху на підходах до перехрестя та їх ширину: перша смуга – 4 м (з урахуванням частки вантажних автомобілів 30%), решта смуг – по 3,5 м.

Масштабна схема перехрестя із нанесеними смугами руху та епіюрами інтенсивності транспортних потоків наведена на рис. 3.2.



Рисунок 3.2 Схема перехрестя в масштабі з епіорами інтенсивності руху

3.2. Організація дорожнього руху на перехресті

Для обґрунтованого розрахунку режиму роботи світлофорного об'єкта необхідно визначити потоки насичення для кожного напрямку руху через перехрестя. Оскільки перехрестя є проєкtnим, потоки насичення встановлюють розрахунковим шляхом на основі емпіричних залежностей за формулою (3.3):

$$MII_0 = f(B) \cdot K_y \cdot KR \cdot K_a \quad (3.3)$$

де $f(B)$ – функція ширини проїзної частини (визначається за таблицею залежності потоку насичення від ширини смуги);

K_y – коефіцієнт, що враховує вплив поздовжнього ухилу дороги;

KR – коефіцієнт, що враховує вплив радіуса кривизни траєкторій поворотних потоків;

K_a – коефіцієнт складу транспортного потоку.

Коефіцієнт K_y , що відображає вплив поздовжнього ухилу дорожнього полотна на потік насичення, визначається за формулою (3.4):

$$K_p = 1 - 0,01 \cdot i, \quad (3.4)$$

де i – поздовжній ухил дороги, %.

Коефіцієнт K_R , що характеризує зниження потоку насичення при виконанні транспортними засобами поворотних маневрів, розраховується за формулою (3.5):

$$K_R = \frac{R}{R + 1,55 \cdot l}, \quad (3.5)$$

де R – радіус кривизни траєкторії руху поворотних потоків, м.

Підставляючи відповідні значення параметрів у формули (3.3)–(3.5), отримуємо розрахункові значення потоків насичення для всіх напрямків руху на перехресті. Отримані результати є вихідними даними для наступного етапу – розрахунку оптимального циклу світлофорного регулювання.

3.3. Розрахунок параметрів світлофорного регулювання

За результатами аналізу конфліктних взаємодій між транспортними потоками на перехресті прийнята трифазна схема регулювання, що забезпечує по чергові надання права проїзду конфліктуючим напрямкам. Схеми пофазного роз'їзду транспортних засобів наведено на рисунках 3.3–3.5.

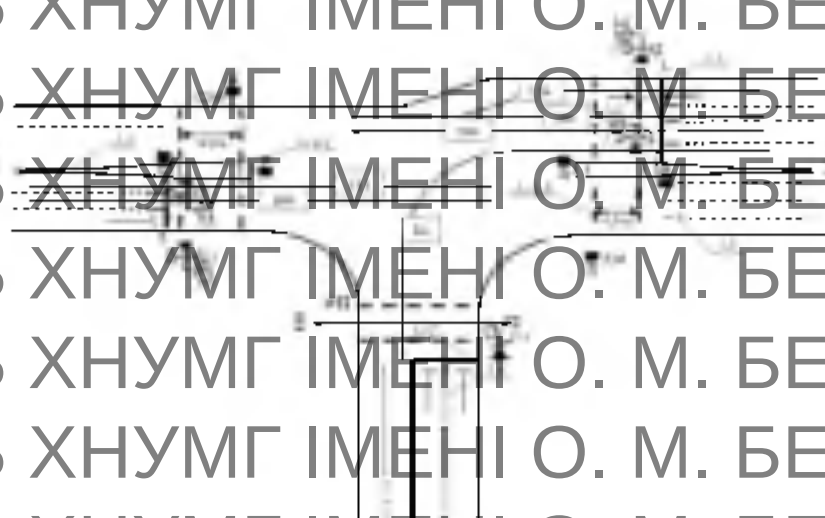


Рисунок 3.3 – Перша фаза світлофорного регулювання

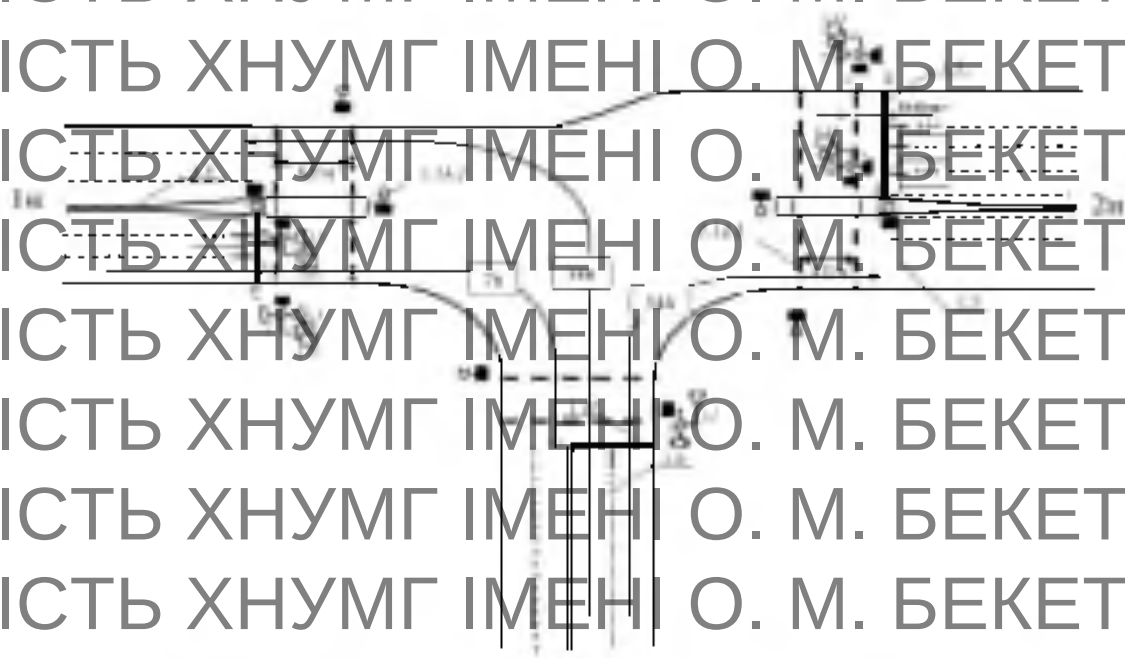


Рисунок 3.4 – Друга фаза світлоформного регулювання



Рисунок 3.5 – Третя фаза світлоформного регулювання

Для кожного напрямку руху в можах відповідної фази розраховують фазовий коефіцієнт, що характеризує ступінь завантаження напрямку відносно його пропускної спроможності, за формулою (3.6):

$$Y_{ij} = \frac{N_{ij}}{M_{ij}} \quad (3.6)$$

де Y_{ij} – фазовий коефіцієнт j -го напрямку руху в i -й фазі регулювання;

N_{ij} – інтенсивність руху в j -му напрямку i -ї фази, авт./год;

M_{ij} – потік насичення j -го напрямку в i -й фазі, авт./год.

Розрахунковим фазовим коефіцієнтом для кожної фази вважається максимальне значення Y_{ij} серед усіх напрямків, що входять до цієї фази.

Тривалість проміжного такту між сусідніми фазами регулювання встановлюється за умовою безпечного звільнення зони перехрестя від транспортних засобів, що встигли виїхати на неї на дозвольний сигнал, за формулою (3.7):

$$t_{\text{пр}} = \frac{V_a}{2 \cdot 3,6 \cdot a} + \frac{l_a + l_r}{V_a} \quad (3.7)$$

де V_a – розрахункова швидкість транспортних засобів у зоні перехрестя, км/год;

$a_{\text{пр}}$ – середнє уповільнення транспортного засобу при гальмуванні, м/с²;

l_a – відстань від стовпів до найвіддаленішої точки конфлікту, м;

l_r – розрахункова довжина транспортного засобу, м.

Оптимальна тривалість циклу світлофорного регулювання, що мінімізує сумарні втрати часу учасниками дорожнього руху, визначається за формулою Вебстера (3.8):

$$C_{\text{opt}} = \frac{1,5 \cdot L \cdot \sum Y_i}{1 + \sum Y_i} \quad (3.8)$$

де L – сума тривалостей усіх проміжних тактів у циклі, с;

$\sum Y_i$ – сума розрахункових фазових коефіцієнтів по всіх фазах циклу.

Розподіл тривалості ефективного зеленого сигналу між фазами здійснюється пропорційно розрахунковим фазовим коефіцієнтам за формулою (3.9):

$$Y_i = \frac{Y_i}{2Y_i + (C_{\text{фаз}} - 1)T} \quad (3.9)$$

де T_i – тривалість основного такту зосередженого сигналу в i -ї фазі, с;

Y_i – розрахунковий фазовий коефіцієнт i -ї фази.

Циклограму роботи світлофорного об'єкта з розподілом сигналів між фазами наведено на рис. 3.6.

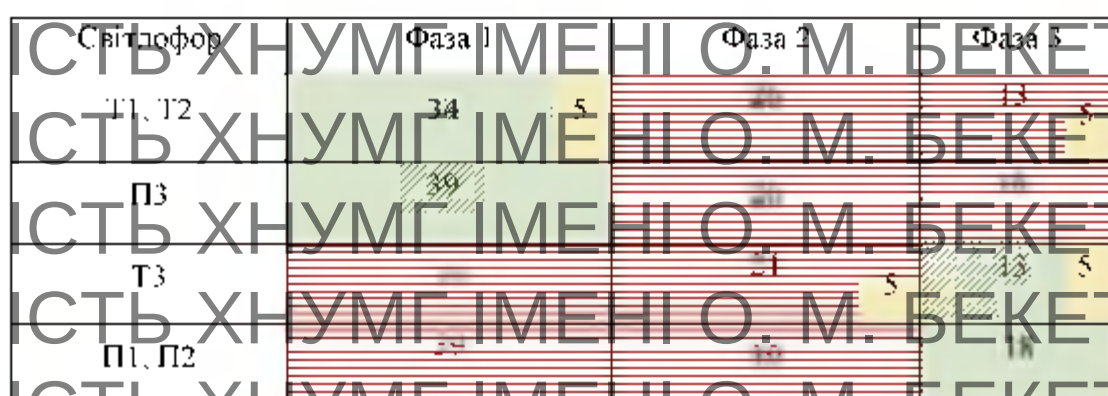


Рисунок 3.4 – Циклограма роботи світлофорного об'єкта.

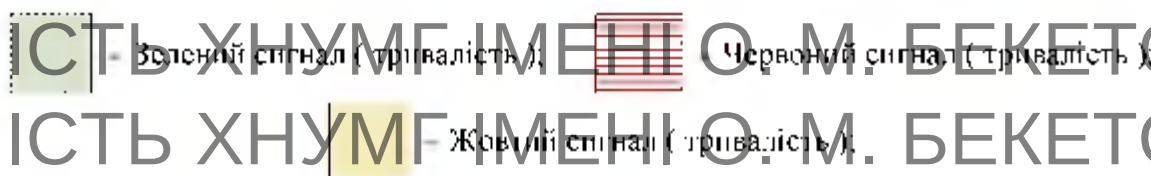


Рисунок 3.6 – Циклограма роботи світлофорного об'єкта

3.4. Оцінка якості схеми організації дорожнього руху

Ефективність розробленої схеми організації дорожнього руху оцінюється за трьома основними показниками: ступенем насичення напрямків руху, середньою затримкою транспортних засобів на перехресті та показником складності конфліктної ситуації у вузлі.

Ступінь насичення для кожного напрямку руху – відношення фактичної інтенсивності потоку до максимально можливої пропускної спроможності в умовах даного циклу регулювання – визначається за формулою (3.10):

$$x_i = \frac{N_i}{MHI \cdot \frac{t_{zi}}{C_{opt}}} \quad (3.10)$$

де x_i – ступінь насичення i -го напрямку;

N_i – інтенсивність руху у відповідному напрямку, авт./год;

MHI – потік насичення i -го напрямку, авт./год;

$t_{zi} = C_{opt}$ – відносна тривалість зеленого сигналу для i -ї фази.

За результатами розрахунків ступінь насичення по всіх напрямках руху не перевищує граничного значення 1,0, що означає, усі напрямки є недопасиченими і транспортні черги на підходах до перехрестя не накопичуватимуться з циклу в цикл.

Середня затримка транспортних засобів на регульованому перехрестті для кожного окремого напрямку визначається за формулою (3.11):

$$d_i = \frac{C \cdot (1 - x_i) \cdot \frac{t_{zi}}{C_{opt}}}{2 \cdot (1 - x_i) \cdot \frac{t_{zi}}{C_{opt}} + \frac{2 \cdot x_i}{\frac{C_{opt}}{C} \cdot (1 - x_i)}} \quad (3.11)$$

де d_i – середня затримка транспортного засобу в i -му напрямку, с;

C – тривалість циклу регулювання, с;

x_i – ступінь насичення напрямку;

t_{zi} – тривалість зеленого сигналу у відповідній фазі, с.

Середньозважена затримка по всьому перехрестті становить 25,23 с, що відповідає рівню обслуговування C за міжнародною класифікацією. Даний показник є цілком прийнятним для умов регульованого міського перехрестя з інтенсивним транспортним рухом.

Конфліктні точки на перехрестті в кожній фазі регулювання показано на рис. 3.7-3.9

Рисунок 3.7 – Схема конфліктних точок на перехресті в 1-й фазі

Рисунок 3.8 – Схема конфліктних точок на перехресті в 2-й фазі

- - розділення транспортних потоків;
- - злиття транспортних потоків;
- - перетинання транспортних потоків;
- - перетинання транспортного і пішохідного потоків.

Рисунок 3.9. Схема конфліктних гонок на перехресті в 3-ій фазі

У першій фазі регулювання формуються чотири конфліктні точки: три між транспортними потоками різних напрямків та одна – між транспортним потоком і пішохідним переходом. Загальний показник складності перехрестя дорівнює $m = 18$, що значно менше нормативного порогу 40. Це свідчить про те, що вузол належить до категорії простих за рівнем конфліктності та забезпечує прийнятний рівень безпеки дорожнього руху.

3.5 Висновки по розділу

У третьому розділі виконано комплексне проектування організації дорожнього руху на T-подібному перехресті, через яке проходить маршрут вантажної доставки, за результатами якого сформульовано такі висновки. Розрахункову кількість смуг руху на підходах до перехрестя визначено з

умови не перевищення прогнозованої інтенсивності транспортного потоку над пропускнуою спроможністю проїзної частини; з огляду на симетрію підходів і частку вантажних автомобілів у складі потоку 30% ширину першої смуги прийнято 4 м, решти смуг – по 3,5 м.

Потоки насичення для всіх напрямків руху розраховано за емпіричними залежностями з урахуванням ширини проїзної частини, поздовжнього ухилу та радіуса кривизни траєкторій поворотних потоків. Для перехрестя прийнято трифазну схему світлофорного регулювання; оптимальну тривалість циклу визначено за формулою Вебстера, а тривалість дозвільного сигналу розподілено між фазами пропорційно їх розрахунковим фазовим коефіцієнтам. Ефективність розробленої схеми підтверджено за трьома незалежними критеріями: ступінь насичення кожного з напрямків не перевищує граничного значення 1,0; середньозважена затримка становить 25,23 с, що відповідає рівню обслуговування C; показник складності вузла $m = 18$ є суттєво нижчим за нормативну межу 40, що свідчить про просту конфліктну структуру перехрестя.

Запропонована схема забезпечує безпечне й ефективне проходження вантажних автомобілів через перехрестя з мінімальними часовими втратами, що сприяє дотриманню графіка доставки та підвищує загальну надійність логістичного маршруту.

ВІСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі вирішено комплекс завдань з проєктування технології перевезень вантажів морської EVA добовим обсягом 8,2 тонни на розвізних маршрутах міста Харкова. За результатами виконаної роботи сформульовано такі висновки.

1. На підставі аналізу сучасного стану вантажних перевезень у містах встановлено, що підвищення ефективності логістики досягається застосуванням методів математичної оптимізації маршрутів, прогнозування вантажопотоку та обґрунтованого вибору рухомого складу. Розглянуті теоретичні положення стали методологічною основою для проєктної частини роботи.

2. Прогнозування обсягів вантажопотоку на 2026 рік методом експоненційного згладжування показало стабільний рівень попиту (194–202 одиниці на місяць) без значних сезонних відхилень. Середньорічний обсяг стабільно зростає з 193,2 (2023 р.) до 195,2 (2025 р.), що підтверджує доцільність планування постійного рухомого складу на перспективу.

3. Методом оптимізації VRP спроектовано розвізні маршрути для п'яти варіантів рухомого складу (від 1,5 до 5,5 т), що забезпечують обслуговування 30 пунктів заванезення мережі EVA із загальним добовим обсягом 8 200 кг. Зі збільшенням вантажопідйомності скорочується кількість маршрутів (від 6 до 2) та загальний пробіг (від 131,1 до 66,5 км), однак зростають витрати на утримання важкої техніки.

4. За результатами порівняльного аналізу транспортних витрат оптимальним визнано автомобіль MAN TGI 8.180 вантажопідйомністю 4,5 т з мінімальними добовими витратами 1 640,07 грн та 2 маршрутами обслуговування із загальним пробігом 66,49 км. Залежність витрат від вантажопідйомності має параболічний характер ($R^2 = 0.9425$).

5. Для Т-подібного перехрестя маршруту вантажної доставки розроблено трифазну схему світлофорного регулювання. Оптиміальний тижневий

розраховано за формулою Вебстера. Якість сусми підтверджено: ступінь насичення всіх напрямків не перевищує 1,0; середньозважена затримка – 25,33 с (рівень обслуговування C_s); показник складності перехрестя m – 18, що суттєво нижче нормативного порогу 40.

Таким чином, запропонована технологія перевезень вантажів забезпечує ефективне та своєчасне обслуговування торговельної мережі ЕВА при мінімальних транспортних витратах. Результати роботи можуть бути застосовані на інших підприємствах, що здійснюють розвіз/перевезення тарно-штучних вантажів на міських маршрутах.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Аудін В. В., Гриньків А. В., Лисенко С. В. Теоретичні та методологічні основи логістики транспортно-виробничих систем: монографія. Кропивницький: ФОП Лисенко В. Ф., 2021. 504 с.
2. Аудін В. В., Голуб Д. В., Гриньків А. В., Лисенко С. В. Методологічні та теоретичні основи забезпечення та підвищення експлуатаційної надійності дорожньо-транспортних систем: монографія. Кропивницький: ТОВ "КОД", 2017. 370 с. Босняк М. Г. Автомобільні перевезення вантажів: підручник. Київ: Видавництво "Slowo", 2010. 408 с.
3. Аудін В. В., Гриньків А. В., Головатий А. О., Лисенко С. В., Голуб Д. В. Методологічні основи проектування та експлуатації інтелектуальних транспортно-виробничих систем: монографія. Кропивницький: ФОП Лисенко В. Ф., 2020. 428 с.
4. Замкова Н., Поліщук І., Довгань Ю. Підготовка майбутніх менеджерів з логістики та управління ланцюгами поставок: компетенційний підхід. Проблеми теорії та практики фінансово-кредитної діяльності. 2023. № 1(48). С. 427–440. DOI: 10.55643/fcaptr.1.48.2023.3946.
5. Зеркалов Д. В. Транспортно-експедиторська діяльність: монографія. Київ: Основа, 2012. 1006 с.
6. Іванова М., Саннікова С., Вар'яниченко О. Статистичні методи в управлінні ризиками в логістичному плануванні. Проблеми теорії та практики фінансово-кредитної діяльності. 2024. № 3(56). С. 241–256. DOI: 10.55643/fcaptr.3.56.2024.4380.
7. Кислий В. М., Біловодська О. А., Олефіренко О. М. Логістика: теорія та практика: підручник. Київ: Центр навчальної літератури, 2010. 360 с.
- Нагарний Є. В., Ломотко Д. В., Шрамченко Н. Ю. Транспортно-експедиторська діяльність: посібник. Харків: ХНАДУ, 2012. 352 с.

8. Коляденко С., Голубкова І., Бабаченко М. Розробка та використання IT-рішень у логістиці. Проблеми теорії та практики фінансово-кредитної діяльності. 2020. № 3(34). С. 230-236. DOI: 10.18371/issn1933-34215518.

9. Крикавський Є. В. Логістичний менеджмент: підручник. Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. 684 с.

10. Крикавський Є. В., Чухрай П. І., Черношиска М. В. Логістика: Збірник та практичні роботи. Навчально-методичний посібник. Київ: Кондор, 2007. 340 с.

11. Шапенко Е. М., Котова С. О., Гальона І. І. Методи прогнозування вантажних перевезень у логістиці. Міжнародний науковий журнал інженерії та сільського господарства. 2023. Том 2. № 4. С. 79-86. DOI: 10.46299/j.isjea.20230204.09.