

Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

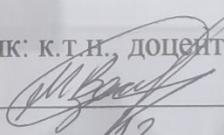
МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

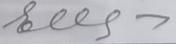
на тему:

«Підвищення ефективності використання рухомого складу та
контейнерного забезпечення в системі збору та перевезення твердих
побутових відходів в умовах комунального унітарного підприємства
«ЕкоВін» місто Вінниця»

Виконав: студент 2-го курсу, групи 1ТТ-24м
спеціальності 275 – Транспортні технології
Освітньо-професійна програма –
Транспортні технології

 Червоний М.А.

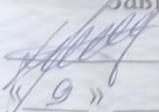
Керівник: к.т.н., доцент каф. АТМ
 Митко М.В.
« 04 » 12 2025 р.

Опонент: к.т.н., доцент каф. ГМ
 Шиліна О.П.
« 09 » 12 2025 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри АТМ

к.т.н., доц. Цимбал С.В.

 « 09 » 12 2025 р.

Вінниця ВНТУ – 2025 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 27 – Транспорт
Спеціальність 275 – «Транспортні технології»
Освітньо-професійна програма – «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)»

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувача кафедри АТМ
к.т.н., доцент Цимбал С.В.

«25» 05 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Червоному Максиму Анатолійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення ефективності використання рухомого складу та контейнерного забезпечення в системі збору та перевезення твердих побутових відходів в умовах комунального унітарного підприємства «ЕкоВін» місто Вінниця

керівник роботи Митко Микола Васильович, к.т.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ВНТУ від «24» вересня 2025 року № 313.

2. Строк подання студентом роботи: 30.11.2025 р.

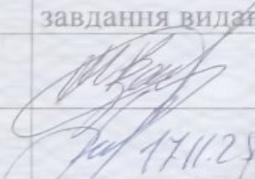
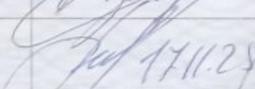
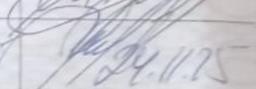
3. Вихідні дані до роботи: Провести аналіз існуючої системи збору та перевезень ТПВ, визначити чинники, що впливають на собівартість, та обґрунтувати необхідність структурної оптимізації парку (АТЗ та контейнерів). Розробити математичну модель для оптимізації структури парку (N_s, K_s) за критерієм мінімізації собівартості транспортування 1 м^3 ТПВ ($F \rightarrow \min$) при обмеженні за обсягом (O). Вдосконалити організаційно-математичну основу управління парком шляхом застосування алгоритму коригування структури з метою зниження експлуатаційних витрат. На основі отриманих результатів необхідно розробити практичні рекомендації щодо коригування структури рухомого складу та контейнерного забезпечення. Фінальним етапом є здійснення економічної оцінки впровадження запропонованих рішень для підтвердження їхньої ефективності та економічної доцільності.

4. Зміст текстової частини:

- 1 Аналіз діяльності комунального унітарного підприємства «ЕкоВін» місто Вінниця.
- 2 Теоретичні обґрунтування методики формування раціональної структури рухомого складу автотранспортних підприємств.
- 3 Методика проведення експериментального дослідження.
- 4 Результати експериментального дослідження взаємоз'язку структури парку та показників ефективності його функціонування.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
- 1-2 Тема, мета та завдання дослідження.
 - 3-4 Загальний вигляд КУП «ЕкоВін», місто Вінниця.
 - 5 Фактори, що впливають на вибір марки транспортного засоби та модель вибору структури транспортних засобів.
 - 6-7 Системи збору та вивезення твердих побутових відходів (ТПВ) та об'єкт функціональна схема розробки математичної моделі функціонування спеціалізованого АТП
 - 8-9 Слайди, які характеризують математичну модель – «Цільову функцію обмеження», а також деталізація цільової функції – зведення витрат.
 - 10-11 Структура загальної методики проведення експериментального дослідження транспортна задача, лінійне програмування і кроки оптимізації.
 - 12-13 Динаміка складу парку 2023 – 2025 рр., узагальнені графіки зміни кількості транспортних засобів і контейнерів у кварталному розрізі, і ключові економічні показники.
 - 14 Результати розрахунку коефіцієнтів регресійної моделі та множинне рівняння.
 - 15-16 Оцінка економічного ефекту постійних витрат і сукупний економічний ефект мінімальна собівартість.
 - 17-18 Висновки.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розв'язання основної задачі	Митко М.В., к.т.н., доцент кафедри АТМ		
Визначення ефективності запропонованих рішень	Макарова Т.В., доцент кафедри АТМ		

7. Дата видачі завдання « 25 » вересня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вивчення об'єкту та предмету дослідження	25.09-29.09.2025	викон
2	Аналіз відомих рішень, постановка задач	30.09-20.10.2025	викон
3	Обґрунтування методів досліджень	30.09-20.10.2025	викон
4	Розв'язання поставлених задач	21.10-10.11.2025	викон
5	Формування висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів	11.11-16.11.2025	викон
6	Виконання розділу/підрозділу «Визначення ефективності запропонованих рішень»	17.11-24.11.2025	викон
7	Нормоконтроль МКР	25.11-30.11.2025	викон
8	Попередній захист МКР	01.12-04.12.2025	викон
9	Рецензування МКР	05.12-09.12.2025	дел
10	Захист МКР	15.12.2025- 17.12.2025	викон

Студент

(підпис)

Червоний М.А.

Керівник роботи

(підпис)

Митко М.В.

АНОТАЦІЯ

УДК 656.13

Червоний М. А. Підвищення ефективності використання рухомого складу та контейнерного забезпечення в системі збору та перевезення твердих побутових відходів в умовах комунального унітарного підприємства «ЕкоВін», місто Вінниця. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 275 – транспортні технології, освітня програма – транспортні технології на автомобільному транспорті. Вінниця: ВНТУ, 2025. – 86 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 49 назв; рис.: 19; табл. 13.

У магістерській кваліфікаційній роботі розроблено питання щодо підвищення ефективності використання рухомого складу та контейнерного забезпечення в системі збору та перевезення твердих побутових відходів в умовах комунального унітарного підприємства «ЕкоВін», місто Вінниця. У розділі 1 обґрунтовано доцільність діяльності комунального унітарного підприємства «ЕкоВін» місто Вінниця. В розділі 2 виконано теоретичні обґрунтування методики формування раціональної структури рухомого складу автотранспортних підприємств. В розділі 3 виконано методику проведення експериментального дослідження. В розділі 4 наведені результати експериментального дослідження взаємоз'язку структури парку та показників ефективності його функціонування.

Графічна частина складається з 18 плакатів із результатами моделювання.

Ключові слова: Використання рухомого складу, економічний ефект, контейнерне забезпечення, оптимізація структури парку, перевезення, регресійний аналіз, собівартість перевезень, система збору, тверді побутові відходи.

ABSTRACT

Chervonyi M.A. Increasing the efficiency of using rolling stock and container support in the system of collection and transportation of solid household waste in the conditions of the municipal unitary enterprise "EcoVin", Vinnytsia city. Master's qualification work in the specialty 275 – transport technologies, educational program - transport technologies in road transport. Vinnytsia: VNTU, 2025. – 86 p.

In Ukrainian language. Bibliographer: 49 titles; fig.: 19; tabl. 13.

The master's qualification work develops the issue of increasing the efficiency of the use of rolling stock and container support in the system of collection and transportation of solid household waste in the conditions of the municipal unitary enterprise "EcoVin", Vinnytsia city. Section 1 substantiates the feasibility of the activities of the municipal unitary enterprise "EcoVin", Vinnytsia city. Section 2 provides theoretical justifications for the methodology for forming a rational structure of the rolling stock of motor transport enterprises. Section 3 provides the methodology for conducting an experimental study. Section 4 presents the results of an experimental study of the relationship between the structure of the fleet and the indicators of the effectiveness of its functioning.

The graphic part consists of 18 posters with simulation results.

Keywords: Use of rolling stock, economic effect, container provision, optimization of the fleet structure, transportation, regression analysis, transportation cost, collection system, solid household waste.

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ДІЯЛЬНОСТІ КОМУНАЛЬНОГО УНІТАРНОГО ПІДПРИЄМСТВА «ЕКОВІН», МІСТО ВІННИЦЯ	8
1.1 Загальна характеристика та аналіз діяльності комунального унітарного підприємства «ЕкоВін» місто Вінниця	8
1.2 Теоретичні основи системи збору та вивезення твердих побутових відходів (ТПВ)	14
1.3 Наукові підходи та економічні показники ефективності роботи автотранспортного підприємства (АТП)	23
Висновки до розділу 1	29
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДИКИ ФОРМУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ РУХОМОГО СКЛАДУ АВТОТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВ	31
2.1 Теоретичні основи вдосконалення структури парку АТП методами програмно – цільового планування	31
2.2 Формування математичної моделі оптимізації структури рухомого складу та контейнерного парку АТП	32
2.3 Формування функції для оптимізації структури рухомого складу та контейнерного парку АТП за чутливістю	40
Висновки до розділу 2	42
РОЗДІЛ 3 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬ- НОГО ДОСЛІДЖЕННЯ	44
3.1 Обґрунтування, етапи та методика збору вихідної інформації для експериментального дослідження	44
3.2 Визначення взаємозв'язку між структурою парку автотранспортних засобів, контейнерною інфраструктурою та собівартістю транспортної операції	47

3.3 Методи розв'язання задач оптимізації та алгоритм формування раціональної структури парку спеціалізованого автотранспортного підприємства	51
Висновки до розділу 3	56
РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ СТРУКТУРИ ПАРКУ ТА ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ЙОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ	58
4.1 Аналіз ефективності експлуатації рухомого складу КУП «ЕкоВін» місто Вінниця	58
4.2 Емпіричне встановлення взаємозв'язку та оцінка адекватності моделі	64
4.3 Формування оптимальної структури рухомого складу та контейнерного забезпечення	67
4.4 Оцінка економічної ефективності реалізації оптимізаційних заходів	71
Висновки до розділу 4	77
ВИСНОВКИ	79
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	81
ДОДАТОК А	86
ДОДАТОК Б	104

ВСТУП

Актуальність теми. Ефективна система поводження з твердими побутовими відходами (ТПВ) є критично важливим елементом інфраструктури та екологічної безпеки будь-якого сучасного міста. Для Вінниці, яка регулярно відзначається як одне з найкомфортніших міст України, забезпечення безперебійного та економічно вигідного збору і вивезення ТПВ є пріоритетом, що безпосередньо впливає на якість життя населення та туристичну привабливість.

В умовах зростання тарифного навантаження, коливання цін на паливно-енергетичні ресурси та посилення екологічних вимог, комунальне унітарне підприємство КУП «ЕкоВін» стикається з необхідністю постійного вдосконалення транспортної логістики. Ключовим аспектом, що визначає собівартість послуг і загальну ефективність роботи, є оптимізація структури парку спеціалізованих автотранспортних засобів (АТЗ). Наявність застарілої техніки та нераціональне співвідношення між різними групами АТЗ призводить до неминучого зростання експлуатаційних витрат.

Актуальність даного дослідження обумовлена необхідністю розробки науково обґрунтованої методики, яка дозволить КУП «ЕкоВін» перейти від інтуїтивного управління до програмно-цільового планування структури парку. Розробка такої методики, заснованої на багатофакторному аналізі та критерії мінімуму собівартості, забезпечить скорочення загальних річних витрат, підвищить продуктивність використання рухомого складу та, як наслідок, забезпечить належний рівень санітарного очищення Вінниці при оптимальному тарифі.

Викладене вище підтверджує, що тема магістерської кваліфікаційної роботи є багатоаспектним дослідженням, яке не лише актуальне з позиції сучасної транспортної науки та логістики, але й спрямоване на вирішення важливого науково-практичного завдання – досягнення мінімальної собівартості комунальних послуг, що має вагомое народногосподарське, соціальне та екологічне значення для сталого розвитку міста Вінниці.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дані дослідження за темою магістерської роботи належать до основних напрямів наукових досліджень кафедри "Автомобілі та транспортний менеджмент" Вінницького національного технічного університету.

Мета і завдання дослідження. Метою магістерської кваліфікаційної роботи є на основі теоретичних та експериментальних досліджень розробити методику оптимізації структури рухомого складу і контейнерного забезпечення комунального унітарного підприємства «ЕкоВін», та емпірично обґрунтувати її ефективність за критерієм мінімуму собівартості вивезення 1 м³ твердих побутових відходів (ТПВ).

Для досягнення цієї мети поставлено та вирішено такі основні завдання:

1. Провести аналіз і критично оцінити існуючі методики формування структури парку АТЗ та визначити чинники, що найбільше впливають на експлуатаційні витрати спеціалізованих автотранспортних підприємств;
2. Обґрунтувати теоретичні положення, розробити математичну модель та визначити цільову функцію для оптимізації структури парку АТЗ та контейнерного забезпечення за критерієм мінімуму собівартості;
3. Розробити алгоритм та методику проведення експериментального дослідження, спрямовані на емпіричне встановлення кількісного взаємозв'язку між структурою парку (кількістю одиниць за групами) та собівартістю транспортної операції (регресійний аналіз);
4. На основі емпіричного рівняння регресії сформувану раціональну (оптимальну) структуру рухомого складу КУП «ЕкоВін», яка відповідає мінімальній собівартості послуг при збереженні планового обсягу перевезень;
5. Здійснити економічну оцінку отриманого ефекту від впровадження оптимальної структури парку та обґрунтувати фінансову доцільність запропонованих оптимізаційних заходів.

Об'єкт дослідження – є процес функціонування системи збору, транспортування та поводження з твердими побутовими відходами

комунального унітарного підприємства «ЕкоВін», що розглядається як єдиний виробничо-технологічний комплекс.

Предмет дослідження – це взаємозв'язок між структурними параметрами рухомого складу, кількісним і якісним складом груп АТЗ та контейнерного забезпечення, і показниками економічної та експлуатаційної ефективності роботи парку, зокрема, собівартістю вивезення 1 м^3 ТПВ (F_n).

Методи дослідження. Відповідно до мети та поставлених завдань, як інструменти дослідження були використані основні положення системного аналізу, методи теорії чутливості, економічного та статистичного аналізу, а також методи математичного моделювання та оптимізації. Це і передбачає в магістерській кваліфікаційній роботі найбільш значних результатів досліджень та виконання таких основних етапів:

– Теоретичне обґрунтування принципів програмно-цільового планування та розробка математичної моделі функціонування системи збору ТПВ, що відображає залежність собівартості послуг від структури парку;

– Метод множинного регресійного аналізу (Метод найменших квадратів, t – критерій Стюдента, F – критерій Фішера) – використано для емпіричного встановлення кількісного взаємозв'язку між структурними параметрами рухомого складу (кількістю N_i та K_j) та цільовою функцією F_n ;

– Методи лінійного програмування («Симплекс-метод», метод перебору) та теорія чутливості – застосовано для розробки алгоритму оптимізації структури парку, який дозволяє знайти глобальний мінімум собівартості при дотриманні фінансових та виробничих обмежень;

– Методи фінансово-економічного аналізу – використано для розрахунку загального річного економічного ефекту, оцінки змін постійних і змінних витрат та обґрунтування фінансової доцільності впровадження запропонованої раціональної структури парку КУП «ЕкоВін».

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Вдосконалено теоретичні положення щодо формування структури рухомого складу спеціалізованих автотранспортних підприємств шляхом

обґрунтування застосування програмно-цільового підходу та теорії чутливості. Це дозволило перейти від загального обліку витрат до цілеспрямованого управління парком АТЗ та контейнерів за критерієм мінімуму питомої собівартості.

2. Удосконалено математичну модель функціонування системи збору та вивезення ТПВ, яка, на відміну від існуючих, комплексно враховує як кількісні та якісні структурні параметри парку АТЗ та контейнерного забезпечення (N_i та K_j), так і зовнішній параметр — обсяг перевезень, забезпечуючи тим самим високу адекватність для економіко-математичного моделювання.

3. Набула подальшого розвитку методика оптимізації структури парку, заснована на множинному регресійному аналізі (метод найменших квадратів), яка дозволила емпірично встановити кількісне рівняння чутливості ($R^2 = 0,88$) і точно визначити вплив (вагомість) кожної групи рухомого складу на загальну собівартість перевезень.

4. Вперше розроблено алгоритм формування раціональної структури рухомого складу та контейнерного забезпечення, який використовує коефіцієнти чутливості, методи лінійного програмування та послідовність коригування парку. Це забезпечує знаходження глобального мінімуму цільової функції ($F_n \rightarrow \min$) при дотриманні встановлених фінансових та виробничих обмежень.

Практична значимість отриманих результатів.

Основні результати магістерської кваліфікаційної роботи мають високе практичне значення для КУП «ЕкоВін» та інших підприємств, що займаються поводженням з ТПВ. Розроблена методика та алгоритм оптимізації дозволяють керівництву здійснювати науково обґрунтоване коригування структури рухомого складу і контейнерного забезпечення, приймаючи рішення щодо оновлення парку на основі кількісних коефіцієнтів чутливості. Це забезпечує ефективне управління активами та ресурсами як у місті Вінниця, так і в межах Вінницької міської об'єднаної територіальної громади.

Практична реалізація розробленої методики дозволяє оптимізувати структуру парку та забезпечує зниження експлуатаційних витрат КУП «ЕкоВін»,

що має ключове значення для економічної стійкості підприємства та безперебійного санітарного очищення міста.

Достовірність теоретичних положень магістерської роботи підтверджується використанням системного аналізу, обґрунтуванням цільової функції мінімуму собівартості ($F_n \rightarrow \min$) та застосуванням апробованого методу найменших квадратів (МНК) для емпіричного встановлення кількісного взаємозв'язку між структурними параметрами парку та економічними показниками. Цей підхід враховує фактичні експлуатаційні дані КУП «ЕкоВін» щодо обсягів перевезень та складу рухомого складу.

Враховуючи економічні, транспортно-логістичні та екологічні аспекти, розроблені пропозиції щодо оптимізації структури парку сприяють забезпеченню відповідності комунального підприємства та його елементів сучасним вимогам науково-технічного прогресу і мають важливе значення для сталого розвитку КУП «ЕкоВін» та міста Вінниця.

Апробація результатів роботи. Проміжні результати досліджень магістерської кваліфікаційної роботи доповідались та обговорювались на Міжнародній науково-практичній Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2025)» 20 жовтня 2025 року – 19 червня 2026 року, Вінниця, ВНТУ.

Публікації. І. Н. Абдуллаєв, М. А. Червоний, М. В. Митко. Аналіз конкурентоспроможності транспортно – логістичних послуг автоперевізників на ринку для агропромислових комплексів. Матеріали Міжнародна науково-практична інтернет-конференція студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2026)». Вінниця, ВНТУ. 2025 URL:

<https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2026/paper/view/26712> [1].

РОЗДІЛ І

АНАЛІЗ ДІЯЛЬНОСТІ КОМУНАЛЬНОГО УНІТАРНОГО ПІДПРИЄМСТВА «ЕКОВІН», МІСТО ВІННИЦЯ

1.1 Загальна характеристика та аналіз діяльності комунального унітарного підприємства «ЕкоВін» місто Вінниця

Сучасні суспільно-економічні умови та виклики воєнного часу суттєво змінили підходи до функціонування та розвитку комунального сектору України. На сьогодні Вінницька громада відіграє важливу роль у підтримці стійкості інфраструктури, де критично важливі функції покладені на транспортні підрозділи комунальних підприємств. Для забезпечення безперебійної роботи комунальних служб головним завданням є підтримання справного технічного стану спеціалізованого рухомого складу.

У місті Вінниця ключову роль у забезпеченні санітарної та екологічної стійкості відіграє Комунальне унітарне підприємство «ЕкоВін» (КУП «ЕкоВін»). Перед підприємством сьогодні стоїть складний виклик організації та виконання своїх функцій щодо збору, транспортування та утилізації твердих побутових відходів (ТПВ) в умовах підвищеного навантаження. Свою діяльність КУП «ЕкоВін» спрямовує на створення безпечних та комфортних умов проживання для мешканців міста. З огляду на критичну важливість безперебійного вивезення ТПВ, аналіз та оптимізація експлуатаційно-технічної ефективності спеціалізованого автопарку підприємства набуває першочергового значення для забезпечення сталості міської інфраструктури.

1.1.1 Історія, організаційно – правовий статус та економічна база підприємства

КУП «ЕкоВін» є багатофункціональним спеціалізованим підприємством, створеним для забезпечення належного санітарного та екологічного стану міста Вінниця. Основна діяльність спрямована на організацію якісної системи збору та вивезення ТПВ, санітарне очищення та прибирання місць громадського відпочинку (площі, сквери, бульвари), очищення міських шляхів, а також

утримання міського полігону ТПВ.

Підприємство належить до комунальної власності територіальної об'єднаної громади міста Вінниця, відповідно до рішення Вінницької міської ради № 1263 від 05.07.2005 р., і було створено на базі колишнього комунального автотранспортного підприємства КАТП-0128. Керування діяльністю здійснює територіальна громада міста Вінниці в особі Вінницької міської ради, а функції оперативного управління покладено на Департамент комунального господарства та благоустрою Вінницької міської ради.

Основна мета діяльності КУП «ЕкоВін» полягає у забезпеченні сталого функціонування системи поводження з ТПВ та у підтриманні належного санітарно-гігієнічного стану об'єктів благоустрою. Це досягається шляхом виконання повного циклу операцій (збирання, перевезення, оброблення, зберігання, утилізація та знешкодження відходів) та утримання полігонів. Крім того, стратегічною метою є залучення інвестицій для планування та реалізації проєктів з будівництва та модернізації переробних заводів і сортувальних станцій.

Економічна та майнова база. Майно КУП «ЕкоВін» складається з основних фондів та оборотних коштів, які знаходяться на самостійному балансі підприємства. Майно є власністю Вінницької міської територіальної громади і передається у користування на правах господарського відання. Для забезпечення повноцінної діяльності був створений статутний капітал та відкриті розрахункові рахунки. Плануванням діяльності та розподілом коштів займається заступник директора з економіки та працівники планово-економічного відділу (начальник та економіст), які також здійснюють облік та керування виробничо-господарською частиною.

Директором комунального унітарного підприємства «ЕкоВін» є **Гриневич Петро Олександрович** (з 15.01.2018 року).

Адміністрація підприємства розташована за адресою: 21050, м. Вінниця, вул. Соборна, 59. Виробнича база знаходиться у мікрорайоні Сабарів, на півдні міста (правий берег Південного Бугу), за адресою: вул. Сабарівське шосе, 7. Загальна площа земельної ділянки, що перебуває у користуванні підприємства, складає 2,866 га.

Розміщення комунального унітарного підприємства «ЕкоВін» наведено на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Розташування комунально унітарного підприємства «ЕкоВін» міста Вінниця

КУП «ЕкоВін» також уповноважене надавати додаткові послуги: консультаційні, експертні, інформаційні та інші інтелектуальні послуги щодо розробки та розвитку новітніх технологій, а також комерційно-посередницьку діяльність. Підприємство має право відкривати власні поточні розрахункові рахунки та виконувати усі замовлення Вінницької міської ради у повному обсязі.

1.1.2 Аналіз структури рухомого складу та виробничо – технічної бази

Для забезпечення транспортно-виробничої діяльності підприємство залучає власний спеціалізований рухомий склад, що станом на звітний період налічує 26 одиниць. Основну частину складають спеціалізовані вантажні автомобілі, призначені для повного циклу поводження з ТПВ: механізованого завантаження з контейнерів, ущільнення в бункері, транспортування та механізованого розвантаження.

Структура рухомого складу Протягом 2020 – 2023 років підприємство здійснило планову модернізацію парку, замінивши застарілі моделі на сучасні сміттєвози FOTON KGB-80 та Ford Cargo (Євро-5/Євро-6). Оновлена, орієнтовна, структура рухомого складу, необхідна для подальшого транспортного аналізу,

представлена у таблиці 1.1. Аналіз ефективності використання рухомого складу є ключовим завданням даної магістерської роботи [37-39].

Таблиця 1.1 – Структура та характеристика спеціалізованого рухомого складу КУП «ЕкоВін»

№	Модель/Тип Смітгсвоза	Призначення	Об'єм Кузова $V_k, \text{м}^3$	Кількість, од. (орієнт. на 2024 р.)	Середньодобовий Пробіг $L_{\text{доб}}, \text{км}$ (орієнт.)
1	Ford Cargo 1833D (Е-5/Е-6)	Основний парк (Збір ТПВ)	18	10	205
2	МАЗ-533702 (з ущільненням)	Збір ТПВ (Допоміжні маршрути)	17	7	200
3	IVECO Eurocargo (малий, маневрений)	Збір ТПВ (Вузькі ділянки, Центр)	10	4	150
4	FOTON KGB-80 (малий/середній)	Збір ТПВ	16	2	180
5	Спецтехніка Мультиліфт	Вивіз ВГВ та будівельних відходів	8 (контейнер)	3	190
6	Резервний та Допоміжний парк (включає ЗИЛ-432932)	Технічна допомога / Резерв	Різний	3	100
Всього:				26	

Експлуатаційні умови та показники. Експлуатація рухомого складу здійснюється у 1 – 2 зміни протягом робочого тижня, при цьому середній час перебування транспортних засобів у нарядах може становити від 8 до 12 годин. Середньодобовий пробіг варіюється від 150 до 400 км на добу. Автомобілі працюють у 3-й категорії умов експлуатації, а умови зберігання – відкрита стоянка без підігрівання.

На рисунках 1.2 та 1.3 зображено рухомий склад транспортних засобів (смітгсвозів) КУП «ЕкоВін» міста Вінниці.

ВТБ КУП «ЕкоВін» розташована на території підприємства і призначена для забезпечення комплексу робіт з технічного обслуговування (ТО) та поточного ремонту (ПР). Загальна інфраструктура включає адміністративний корпус,

відкриту площадку для зберігання автомобілів, контрольно-пропускний пункт та котельню.



Рисунок 1.2 – Рухомий склад транспортних засобів (сміттевозів)

КУП «ЕкоВін» місто Вінниця



Рисунок 1.3 – Рухомий склад транспортних засобів (сміттевозів)

КУП «ЕкоВін» місто Вінниця

Ремонтна зона містить: 5 постів для ТО та ПР (обладнаних оглядовими канавами), зону щоденного обслуговування (ЩО), а також спеціалізовані дільниці: агрегатну, слюсарно-механічну та зварювально-жерстяницьку. На агрегатній та слюсарно-механічній дільницях проводиться ремонт агрегатів і вузлів.

Проблемні аспекти ТОЛПР:

1. Нестача потужностей: Кількість рухомого складу, що перебуває в експлуатації, є недостатньою для повного обсягу завантаження виробничих потужностей з ТО і ПР, що створює гостре питання щодо вдосконалення їх структури.
2. Застаріле обладнання: Зварювально-жерстяницька дільниця страждає від морального та фізичного старіння обладнання, що зменшує якість робіт.
3. Зона ЩО: Щоденне обслуговування та мийка проводяться поза спеціалізовано обладнаною зоною, у наявності є лише ручна мийка високого тиску, при цьому відсутній повний перелік потрібного обладнання для якісних прибирально-мийних робіт.

Проведений аналіз діяльності та виявлені проблеми в експлуатації рухомого складу та виробничо-технічної бази КУП «ЕкоВін» підтверджують актуальність обраної теми магістерської кваліфікаційної роботи.

Тема магістерської кваліфікаційної роботи – «Підвищення ефективності використання рухомого складу та контейнерного забезпечення в системі збору та перевезення твердих побутових відходів в умовах комунального унітарного підприємства «ЕкоВін», місто Вінниця».

Виконання даної роботи передбачає проведення комплексних теоретичних та експериментальних досліджень, спрямованих на вдосконалення транспортно-логістичних технологій. Основний акцент зроблено на підвищенні коефіцієнтів використання спеціалізованого рухомого складу та раціоналізації контейнерного парку, що у підсумку має забезпечити зниження експлуатаційних витрат та підвищення якості санітарного очищення міста. Об'єктом дослідження виступає транспортно-виробнича діяльність комунального унітарного підприємства «ЕкоВін».

Метою роботи є розробка та наукове обґрунтування організаційно-технологічних рішень щодо підвищення ефективності експлуатації спеціалізованого рухомого складу та оптимізації контейнерного забезпечення, спрямованих на мінімізацію логістичних витрат та забезпечення сталості системи поводження з твердими побутовими відходами в умовах комунального унітарного підприємства «ЕкоВін».

1.2 Теоретичні основи системи збору та вивезення твердих побутових відходів (ТПВ)

1.2.1 Сучасний підхід до організації збору та вивезення ТПВ

Будь-яка населена територія генерує тверді побутові відходи (ТПВ), що вимагає створення комплексної інфраструктури для їхнього збору, концентрації, утилізації або захоронення.

Головна мета цієї системи – забезпечити санітарні норми, охорону довкілля та естетичний вигляд поселення, мінімізуючи при цьому витрати ресурсів та часу на збір та вивезення ТПВ [27, 33].

На відміну від масштабних регіональних систем, що охоплюють усі види відходів, муніципальні системи здебільшого зосереджені саме на роботі з побутовими відходами. Це дозволяє використовувати універсальні підходи до оцінки та оптимізації, екстраполюючи досвід одного великого центру на інші муніципальні утворення, враховуючи їхню специфіку [26, 31].

Регулювання цієї сфери здійснюється на основі законодавства України та місцевих нормативно-правових актів, зокрема Закону України «Про управління відходами» та підзаконних актів. [13].

Система поводження з ТПВ (рис. 1.4) являє собою взаємодію між джерелами утворення відходів (населенням, організаціями) та спеціалізованими автотранспортними підприємствами (АТП). Завдання системи полягає у контролі та організації процесів збору та вивезення відповідно до чинних вимог.

Фактори, що впливають на обсяг та організацію системи:

На обсяги ТПВ та вимоги до їхньої періодичності вивезення впливають:

1. Демографічні та географічні фактори (щільність населення, кліматична зона, характер забудови).

2. Характеристики зовнішнього середовища (інтенсивність утворення відходів, температура, властивості ТПВ, вартість ПММ та обладнання) [26, 27].

Через мінливість цих зовнішніх умов, АТП постійно стикаються з проблемою адаптації свого рухомого складу, контейнерного парку та маршрутно-логістичних схем для забезпечення мінімальних витрат при дотриманні всіх санітарних вимог [14, 30].

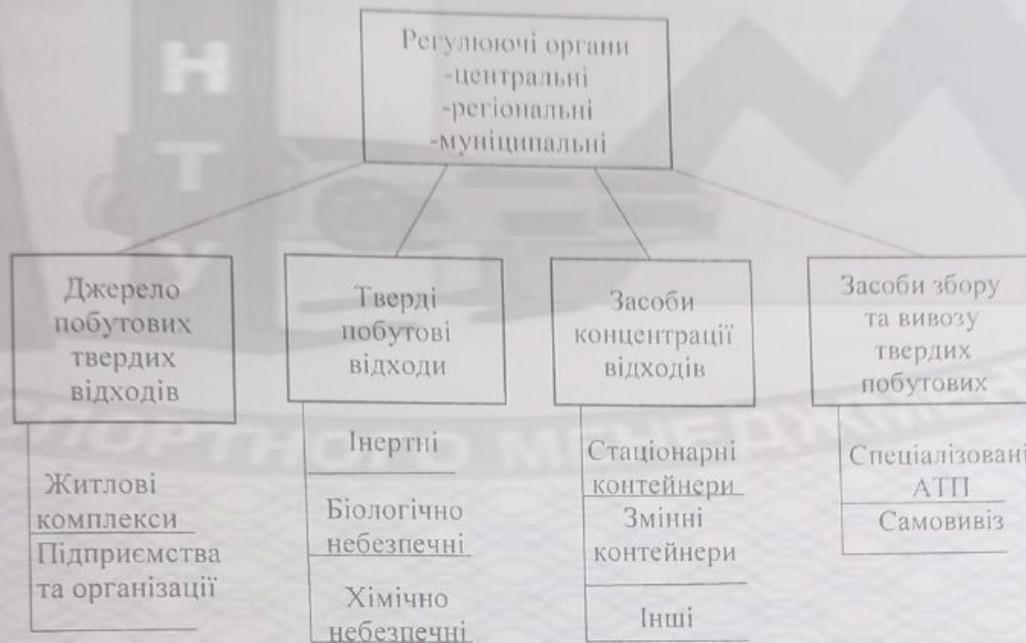


Рисунок 1.4 – Система збору та вивезення твердих побутових відходів

Аналіз структури системи (рис. 1.4) показує, що її регулююча (нормативно-правова) частина є стабільною, тоді як джерела відходів та їхні властивості мають високу мінливість.

Більшість ТПВ (понад 80%) збирається на контейнерних майданчиках. Успіх роботи АТП залежить від ефективної взаємодії з чотирма основними групами факторів:

1. Властивості відходів: їхня маса, біологічна активність, інтенсивність утворення.
2. Джерела утворення: чисельність жителів, щільність забудови, відстані до полігонів.
3. АТП: тип та кількість транспорту, параметри контейнерного парку.
4. Органи регулювання: взаємодія та адміністративний контроль.

Для успішної роботи спеціалізоване АТП повинне мати високу здатність до адаптації своєї інфраструктури (контейнери, транспорт, маршрути) до змін обсягів ТПВ та нормативних вимог [4, 30].

1.2.2 Схеми організації збору та транспортування твердих побутових відходів (ТПВ)

Структура спеціалізованого автотранспортного підприємства (АТП), а також його контейнерного парку значною мірою залежить від того, яку систему збору й вивезення ТПВ застосовують у конкретному населеному пункті. В Україні, як і в країнах ЄС, удосконалення системи поводження з побутовими відходами є одним із пріоритетів розвитку муніципального господарства. За обсягами витрат ця сфера поступається лише водопостачанню, водовідведенню та енергетичній інфраструктурі.

До твердих побутових відходів належать:

- сміття, що утворюється у житловому секторі;
- відходи діяльності підприємств, торгових і адміністративних установ, закладів освіти;
- відходи, що генеруються на вокзалах, зупинках громадського транспорту, в аеропортах;
- будівельне сміття, великогабаритні відходи, дорожнє та дворове сміття.

Відповідно до ДБН В.2.2-5:2011 (та санітарних норм України), майданчики для контейнерів мають бути розташовані на відстані не менше ніж 20 м, але не більше ніж 100 м від житлових будівель, дитячих і спортивних майданчиків. Територія повинна забезпечувати безперешкодний під'їзд сміттєвозів. Кількість контейнерів визначають залежно від щільності населення та норм накопичення відходів.

Організація збору та транспортування ТПВ в Україні застосовується за двома базовими методами:

1. Одноетапна система вивезення (пряме транспортування);
2. Двоетапна система вивезення (з перевалочними станціями).

Прямий (одноетапний) метод вивезення.

Ця система широко використовується у більшості міст України, включно з Вінницею, Луцьком, Черкасами, Полтавою тощо. При ній сміттєвоз самостійно виконує завантаження відходів та здійснює транспортування безпосередньо до полігону або сміттсортувальної станції.

При досягненні заповнення кузова сміттєвоз прямує на об'єкт захоронення або переробки. Після розвантаження автомобіль повертається на маршрут з порожнім кузовом, виконуючи "холостий" пробіг.

Недоліки прямої схеми:

- Зростання пробігу при віддаленні полігону від міста знижує ефективність роботи транспорту.
- Збільшені витрати на паливе та технічне обслуговування.
- Необхідність великої кількості транспортних засобів у пікові періоди накопичення сміття.

Дані для України (середні значення):

- Для міст з населенням до 300 – 400 тис. осіб (наприклад, Вінниця, Хмельницький): 17 – 25 км відстані від центра міста до полігону.
- Для великих міст (Київ, Львів, Дніпро): 40 – 55 км і більше, через перенесення полігонів за межі міських зон.

В останні роки в Україні, через закриття частини полігонів та збільшення обсягів відходів, середня транспортна відстань зростає щороку приблизно на 1 – 1,3 км, що призводить до підвищення собівартості вивезення ТПВ на 10 – 18 %.

Усі схеми санітарного очищення міст України умовно поділяються на три типи:

1). Безконтейнерне збирання (планово-регулярне очищення)

Ця схема використовується переважно у приватному секторі та малих населених пунктах, де немає можливості облаштувати контейнерні майданчики відповідно до вимог ДБН.

Суть методу: Сміттєвоз рухається за графіком, зупиняється у визначених точках, де жителі безпосередньо передають відходи до кузова.

Транспорт: сміттєвози із заднім завантаженням та механізмами ущільнення.

Переваги:

- мінімальні капітальні витрати на облаштування інфраструктури;
- зручність для малозабудованих районів;
- можливість збору відходів без завантаження контейнерних майданчиків.

Недоліки:

- низька продуктивність через відсутність попереднього накопичення;

- залежність від точного дотримання графіка;
- підвищена трудомісткість процесу.

2). Збір із використанням стаціонарних (незмінних) контейнерів.

Це найпоширеніша схема в Україні. Використовується у Вінниці, Києві, Одесі, Тернополі та інших містах. Контейнери встановлюються на обладнаних майданчиках, після заповнення їх спорожнюють у кузов сміттєвоза.

Переваги:

- зменшення кількості стихійних сміттєзвалищ;
- поліпшення санітарного стану прибудинкових територій;
- можливість використання сміттєвозів із високим коефіцієнтом ущільнення;
- незалежність процесу від графіка мешканців.

Недоліки:

- потреба у будівництві та ремонті контейнерних майданчиків;
- ручна праця при переміщенні контейнерів;
- складність регулярної санітарної обробки контейнерів та майданчиків.

3). Збір зі змінними контейнерами (бункерні та контейнеровозні системи).

Ця схема все частіше використовується для будівельних, великогабаритних та оптових відходів, зокрема у містах, де впроваджують сучасні підходи до переробки (Львів, Вінниця, Київ).

Суть методу: Заповнений контейнер забирається спеціальною технікою і замінюється порожнім. Транспортування здійснюється разом із контейнером.

Транспорт: бункеровози – для великих контейнерів (8 – 27 м³); контейнеровози – для 6 – 8 стандартних контейнерів.

Переваги:

- можливість обробки контейнера після розвантаження на об'єкті переробки;
- зручність для транспортування великогабаритних і будівельних відходів;
- простота конструкції використовуваної техніки.

Недоліки:

- відсутність ущільнення відходів (у більшості бункерів);

- нижча загальна продуктивність порівняно зі сміттєвозами з пресуванням;
- потреба у великій площі для розміщення контейнерів.

1.2.3 Характеристика техніки та обладнання для збору і транспортування твердих побутових відходів

У системах поводження з відходами, що застосовуються в Україні, зокрема у Вінниці, використовують кілька основних типів контейнерів, кожен з яких призначений для певних умов експлуатації та видів відходів.

У таблиці 1.2 можна порівняти типи контейнерів для збору та транспортування ТПВ

Таблиці 1.2 – Класифікація та техніко-експлуатаційна характеристика контейнерного парку для ТПВ

Тип контейнера	Об'єм, м ³	Особливості конструкції та застосування	Переваги	Недоліки
1	2	3	4	5
1. Стандартні металеві	0,7 – 0,8	Класичний тип, виготовлений зі сталевих листів. Використовується для ручного або бокового завантаження.	* Проста технологія виготовлення. * Низька вартість. * Придатність для сміттєвозів з боковим завантаженням.	* Невелика місткість. * Обмежений строк служби через корозію. * Розсипання відходів під час накопичення/вивантаження. * Значні втрати часу на спорожнення.
2. Бункери для великогабаритних відходів	6 – 10	Товстостінна конструкція. Призначені для меблів, деревини, будівельних відходів. Перевозяться бункеровозами.	* Тривалий строк експлуатації. * Зручність транспортування. * Можливість вміщувати нестандартні та великі відходи.	* Відсутність ущільнення → низький коефіцієнт завантаження. * Схильність до корозії (просто неба). * Потреба у вільному просторі для встановлення.
3. Контейнери для будівельних відходів	16 – 35	Наймасивніші контейнери. Використовуються для великих обсягів ремонтних і монтажних матеріалів.	* Дозволяють зменшити кількість рейсів. * Придатні до багаторазового циклу навантажень.	* Перевозяться виключно великотоннажними автомобілями (від 16 т).

Продовження таблиці 1.2

1	2	3	4	5
4. Заглиблені та напівпідземні	2,5 – 7	До 70 % об'єму розташовано під землею. Сучасний тип, що активно впроваджується.	* відсутність неприємних запахів і сміття на поверхні; * повністю виключається розсипання відходів під час вивантаження; * естетичний вигляд та компактність майданчиків	* взимку колеса примерзають до поверхні; * металеві контейнери піддаються корозії, а полімерні – можуть деформуватися під дією низьких температур

Автомобілі для вивезення ТПВ

Сучасний ринок сміттевозів в Україні представлений широким вибором техніки, що відрізняється конструкцією, вантажопідйомністю та типом завантаження. Комунальні підприємства Вінниці, Києва та інших міст використовують різні моделі залежно від обраної схеми збору відходів.

Серед основних типів автомобілів, що застосовуються:

- Сміттевози із заднім завантаженням (найпоширеніші; високий коефіцієнт ущільнення);
 - Сміттевози з боковим завантаженням (ефективні для стандартних металевих контейнерів);
 - Фронтальні сміттевози (застосовуються у торговельних мережах та промзонах);
 - Бункеровози (для контейнерів 6–35 м³);
 - Контейнеровози (перевезення групи контейнерів);
 - Маніпуляторні сміттевози (для заглиблених контейнерів).
- У таблиці 1.3 можна представити порівняння основних видів автомобілів.

Таблиці 1.3 – Переваги та недоліки автомобілів – сміттевозів

Модель	Місткість кузова, м ³	Коефіцієнт ущільнення	Тип завантаження	Переваги	Недоліки
1	2	3	4	5	6
МКМ-4704	20	3	Бокове	Місткий кузов	Висока вартість, малий коефіцієнт ущільнення

Продовження таблиці 1.3

1	2	3	4	5	6
МКМ-2	10	2	Бокове	Низька вартість	Мала місткість, малий коефіцієнт ущільнення
МКМ-35	18	2	Бокове	Місткий кузов	Малий коефіцієнт ущільнення
КО-427-02	24	5	Задне	Дуже місткий кузов, високий коефіцієнт ущільнення	Висока вартість
ТІ UG	19	6	Задне	Місткий кузов, дуже високий коефіцієнт ущільнення	Висока вартість

Таблиця 1.4 – Основні види автомобілів для вивезення твердих побутових відходів та їх характеристика

Тип сміттєвоза	Характерні особливості конструкції	Переваги	Недоліки	Сфера застосування
1	2	3	4	5
Сміттєвоз із заднім завантаженням	Механізм підйому контейнерів 0,7–1,1 м ³ ; високий коефіцієнт ущільнення (1:4 – 1:7); закрита кузовна частина.	Висока продуктивність; універсальність; підходить для більшості типів контейнерів.	Потребує достатнього місця за контейнерним майданчиком; повільніший цикл завантаження.	Міські та селищні райони; змішаний та роздільний збір.
Сміттєвоз із боковим завантаженням	Автоматизований захват контейнерів 0,7–1,1 м ³ ; можливість роботи одним оператором.	Висока швидкість маршруту; мінімум ручної праці.	Не підходить для тісної забудови; складний сервіс.	Мікрорайони з простими під'їздами; ОСББ з вільними контейнерними зонами.
Фронтальний сміттєвоз	Підйом контейнерів 1,1–8 м ³ спереду; великі об'єми кузова.	Ідеальний для великих підприємств; значна місткість та швидкість обробки великих контейнерів.	Не придатний для дворів житлових масивів; великі габарити та висока вартість.	Промзони, великі ТРЦ, логістичні центри, житлові комплекси з великими контейнерами.

Продовження таблиці 1.4

1	2	3	4	5
Бункеровоз	Призначений для контейнерів 6 – 35 м ³ (бункерів); завантаження шляхом підйому бункера на раму.	Простота конструкції; можливість вивезення великогабаритного та будівельного сміття.	Відсутність механізму ущільнення (низька ефективність транспортування ТПВ).	Збір будівельного та великогабаритного сміття; обслуговування пунктів накопичення.

1.2.4 Структура парку автотранспортних засобів та ефективність їх роботи

Загальні принципи та вимоги до ефективності АТП

Формування типу та кількості транспортних засобів автотранспортного підприємства (АТП) базується на принципах координації вантажних перевезень.

Основні завдання АТП у сфері координації перевезень:

- Максимально ефективно задоволення потреб замовників у спеціалізованих послугах.
- Виконання поточних та прогнозування майбутніх перевезень.
- Ефективна експлуатація транспорту, зростання продуктивності праці та зниження транспортних витрат.
- Постійне отримання прибутку та забезпечення високої якості обслуговування.

Для забезпечення ефективної діяльності АТП має відповідати низці вимог:

- Чітка координація всіх підрозділів.
- Оптимізація руху та своєчасна доставка вантажів.
- Ефективне використання рухомого складу.
- Безпека руху та рентабельність перевезень.

Дослідження, присвячені структурі парку [2, 4, 14, 30], підкреслюють важливість обґрунтованого вибору транспорту та впровадження заходів з координації [15, 30]. Ключовим завданням АТП є своєчасне та якісне надання послуг [3, 5, 32].

Наявний досвід показує, що більшість АТП досі функціонують за традиційною моделлю, сформованою багато десятиліть тому [2, 10, 14]. Науковий аналіз та сучасна практика свідчать про недостатню ефективність існуючих підходів до формування парку транспортних засобів [4, 10, 14, 28].

Сьогодні АТП працюють в умовах жорсткої конкуренції та широкого спектра спеціалізованих потреб. Це вимагає використання сучасних методів оптимізації, які охоплюють як організаційно-технічні, так і соціально-економічні аспекти діяльності [6, 16, 34].

Незважаючи на велику кількість робіт щодо оптимізації структури парку [4, 6, 24, 34], багато з них мають обмеження, що ускладнюють їхнє застосування у спеціалізованих АТП (наприклад, у сфері вивезення ТПВ):

У деяких дослідженнях [2, 10, 30] розглядаються лише технічні параметри транспорту, без належного врахування експлуатаційних витрат та особливостей вантажно-розвантажувальних робіт. Такий підхід не дозволяє точно оцінити економічний ефект, оскільки ігнорується регулярність, обсяги роботи та витрати на експлуатацію [10, 12, 33].

Інші роботи [10, 15, 32] зосереджені на економічних показниках, проте не враховують специфіку транспортної роботи та особливості інфраструктури, що критично впливає на продуктивність перевезень.

Існують підходи [3, 14], які базуються на експертних оцінках при виборі нової техніки, але вони часто залишають невирішеними питання врахування реальних умов експлуатації [24, 28].

Таким чином, для спеціалізованих АТП, що займаються збором та вивезенням ТПВ, існуючі підходи не повною мірою забезпечують адаптацію до мінливих зовнішніх умов.

Актуальність дослідження: Пошук та формування нових методів вдосконалення структури рухомого складу та контейнерного парку спеціалізованих АТП є на сьогоднішній день вкрай актуальною науковою темою, що вимагає застосування сучасних наукових розробок [2, 4, 26, 27].

1.3 Наукові підходи та економічні показники ефективності роботи автотранспортного підприємства (АТП)

Постійне зростання автомобільного транспорту стимулює широкий спектр досліджень, присвячених підвищенню ефективності функціонування АТП. Основні шляхи вирішення цієї проблеми можна згрупувати за кількома ключовими напрямками [5, 10, 36].

1.3.1 Виробничий напрямок (Технічне обслуговування)

Цей напрямок зосереджений на питаннях ефективного розвитку технологій підтримання та відновлення працездатності автомобілів, їхніх агрегатів та деталей.

Дослідження в цій сфері включають:

- Формування та вдосконалення загальної теорії відновлення машин.
- Моделювання процесів старіння та прогнозування безвідмовності елементів.
- Оптимізацію стратегії експлуатаційного резервування.

Обмеження: Головним недоліком є відсутність обліку фактично виконуваної транспортної роботи при формуванні структури парку.

1.3.2. Експлуатаційний напрямок

Цей напрямок пов'язаний із дослідженнями, спрямованими на підвищення ефективності експлуатації окремих транспортних засобів або всього автомобільного парку [2, 4, 24].

Наукові роботи тут присвячені:

- Встановленню закономірностей зміни технічного стану авто в процесі експлуатації.
- Мінімізації витрат на підтримання працездатності та їхнє прогнозування.
- Проектуванню та експлуатації АТП, СТО та авторемонтних підприємств [2, 4].

Обмеження: Хоча цей напрямок дозволяє прогнозувати витрати на експлуатацію, він не враховує взаємозв'язок між продуктивністю транспортних засобів та цими витратами [10, 24].

1.3.3. Управлінський або програмно-цільовий напрямок

Цей напрямок фокусується на аналізі та вдосконаленні методів планування, логістики та управління, а також на розробці алгоритмів формування ефективної структури парку [16, 30, 35].

Сюди входять дослідження:

- Розробка структурних моделей АТП [2, 24].
- Методологія формування мікрологістичної системи АТП та її інформаційної бази [15, 16, 30].
- Моделювання складних технічних систем [12, 35].

Критичний аналіз та актуалізація

Незважаючи на різноманіття наукових підходів, які розглядають ефективність АТП, багато з них при вирішенні задач розглядають підприємство як закриту систему.

Хоча частина досліджень присвячена обліку взаємодії АТП із зовнішнім середовищем (з його варіативністю) [2, 15, 32], жоден із перелічених вище підходів не враховує повною мірою або взагалі ігнорує низку специфічних особливостей, притаманних діяльності спеціалізованих АТП (наприклад, у сфері збору ТПВ), пов'язаних із формуванням та вдосконаленням структури їхнього парку [26, 27, 33].

Саме тому необхідний комплексний підхід, який поєднає управлінські методи з експлуатаційними та виробничими, але з обов'язковим урахуванням мінливості зовнішнього середовища та специфіки транспортної роботи.

1.3.4 Показники ефективності експлуатації рухомого складу АТП

Для оцінки ефективності експлуатації рухомого складу автотранспортних підприємств (АТП) використовують дві основні групи показників:

1. Показники використання складу: коефіцієнт технічної готовності, коефіцієнт випуску, коефіцієнт використання парку, коефіцієнт використання вантажопідйомності та пробігу, середня відстань їздки, час простою, технічна та експлуатаційна швидкість.
2. Показники роботи: кількість поїздок, відстань перевезення, вантажообіг, обсяг перевезеного вантажу (пасажирів).

Традиційний підхід до вибору кількості та типу транспортних засобів базується саме на розрахунку цих техніко-експлуатаційних показників [14, 30], часто з використанням залежностей, подібних до наведених у таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Залежності, що застосовуються для розрахунку техніко-експлуатаційних показників

№	Найменування показника	Залежність	Опис
1	2	3	4
1.	Час однієї поїздки	$t_e = t_{нав} + t_{пер} + t_{роз} + t_{рбв}$	Завершений етап транспортної роботи, що включає час навантаження ($t_{нав}$), перевезення ($t_{пер}$), розвантаження ($t_{роз}$) та переміщення транспортного засобу під наступне навантаження ($t_{рбв}$ – рух без вантажу).
2.	Час обороту	$t_e = n_e \times t_e$	Складається з однієї або кількох їздок (n_e – кількість поїздок) із поверненням автотранспортного засобу до початкового пункту.
3.	Коефіцієнт технічної готовності парку	$\alpha_m = A_{mc} / A_c$	A_{mc} – кількість автотранспортних засобів, що перебувають у технічно справному стані.; A_c – списана кількість автотранспортних засобів в АТП.
4.	Коефіцієнт використання автомобілів	$\alpha_{вик} = A_k / A_c$	A_k – кількість автотранспортних засобів АТП, що перебувають в експлуатації (випущені на лінію).
5.	Коефіцієнт статичного використання вантажопідйомності	$\gamma_c = Q_{ф} / Q_в$	$Q_{ф}$ – обсяг фактично перевезеного вантажу, $Q_в$ – обсяг вантажу, який міг бути перевезений за період, т.
6.	Коефіцієнт динамічного використання вантажопідйомності	$\gamma_d = P_{ф} / P_m$	$P_{ф}$ – фактично виконаний вантажообіг, т-км., P_m – можливий вантажообіг, т-км.
7.	Коефіцієнт використання пробігу	$B = L_{ван} / L_{заг}$	$L_{ван}$ – пробіг із вантажем (вантажний пробіг), км. $L_{заг}$ – загальний пробіг, км.
8.	Загальний пробіг	$L_{заг} = L_{o'} + L_{ep} + L_x + L_{o''}$	$L_{o'}$ – перший нульовий пробіг (до першого навантаження), км.

Продовження таблиці 1.5

1	2	3	4
8.	Загальний пробіг	$L_{\text{заг}} = L_{o'} + L_{cp} + Lx + L_{o''}$	Lx – холостий пробіг (без вантажу), км. $L_{o''}$ – другий нульовий пробіг (повернення на базу), км.
9.	Середня відстань поїздки з вантажем	$L_{\text{ср}} = L_{\text{ван}} / n_e$	$L_{\text{ср}}$ – середня відстань їздки з вантажем, км. n_e – кількість поїздок.
10.	Середня відстань перевезення	$L_{cp} = \frac{\Sigma P}{\Sigma Q}$	P – транспортна робота, т-км. Q – обсяг перевезень, т.
11.	Технічна швидкість	$V_t = L_{\text{заг}} / t_{\text{бв}}$	V_t – технічна швидкість, км/год. $L_{\text{заг}}$ – загальний пробіг, км. $t_{\text{бв}}$ – час руху (без вантажу), год.
12.	Експлуатаційна швидкість	$V_{ек} = L_{\text{заг}} / T_n$	$V_{ек}$ – експлуатаційна швидкість, км/год. T_n – час у наряді, год.
13.	Кількість їздок	$n_e = T_n / t_e$	T_n – час у наряді, год. t_e – час однієї їздки, год.
14.	Час однієї поїздки	$t_e = \frac{L_{\text{ван}}}{\beta \cdot V_t} + t_{з-р}$	t_e – час однієї поїздки, год. $L_{\text{ван}}$ – вантажний пробіг, км. $t_{з-р}$ – час простою автомобіля під навантаженням та розвантаженням, год.
15.	Продуктивність рухомого складу в наряді	$Q = q \cdot \gamma_c \cdot n_e$	q – вантажопідйомність автомобіля, т. γ_c – коефіцієнт статичного використання вантажопідйомності.

Однак таких розрахунків недостатньо [10, 24]. Вони слугують лише орієнтиром для формування нового парку. У випадку зміни структури існуючого парку такі розрахунки є трудомісткими і не враховують ключових аспектів:

- Затрат на експлуатацію рухомого складу.
- Внеску кожної групи транспорту в загальні витрати.

Для обґрунтованого вибору кількості та типу транспорту необхідно враховувати додаткові фактори, що визначають специфіку діяльності АТП (рис. 1.5). Важливо встановити ступінь впливу кожного фактору на кінцевий результат.

Найважливішим параметром, що комплексно характеризує ефективність функціонування АТП, якість організації робіт, стан рухомого складу та виробничо-технічної бази, є собівартість перевезень.

Собівартість:

- Прямо впливає на формування прибутку, рентабельність та

ціноутворення.

- Зростання собівартості при фіксованому тарифі зменшує прибуток.
- Скорочення собівартості є об'єктивною передумовою для зростання прибутку або зниження тарифу з одночасним збільшенням обсягів роботи.

Собівартість транспортної роботи — це витрати, що припадають на одиницю транспортної роботи (пробігу, вантажообігу, обсягу перевезеного вантажу).

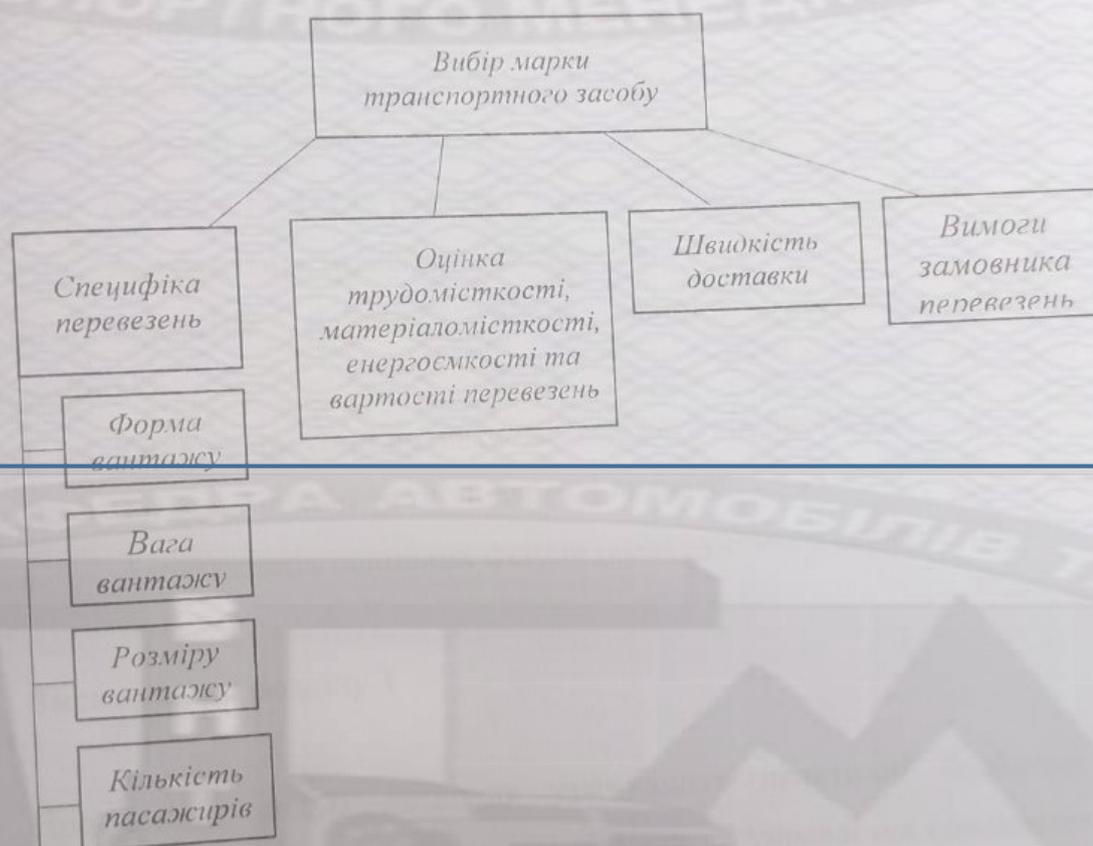


Рисунок 1.5 – Фактори, що впливають на вибір марки транспортного засоби

Складові собівартості:

1. Оборотні кошти: Витрачені під час виконання транспортної роботи (ПММ, матеріали).
2. Амортизаційні відрахування: Характеризують основні фонди.

3. Заробітна плата з відрахуваннями: Водії, персонал ТО та ремонту, інженерно-технічні працівники.

Фактори, що впливають на собівартість:

- Обсяг перевезень.
- Тип та спеціалізація транспорту, його вік та надійність.
- Відстань між пунктами навантаження-розвантаження.
- Склад, розмір та стан виробничо-технічної бази.
- Кількість логістичних пунктів.

Структура витрат у собівартості:

1. Умовно-змінні витрати (змінюються залежно від загального пробігу):
 - Витрати на ПММ.
 - Витрати на ТО та ремонт рухомого складу.
 - Амортизація транспортних засобів.
2. Заробітна плата з відрахуваннями (персонал, задіяний у перевезеннях).
3. Умовно-постійні витрати (не залежать від пробігу):
 - Загальноцехові та господарські витрати.
 - Амортизація основних фондів (крім рухомого складу) [10, 32].

Висновки до розділу 1

Проведений аналіз дозволив узагальнити практичні проблеми КУП «ЕкоВін» та критично оцінити наукові підходи до управління спеціалізованими автотранспортними підприємствами. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю підвищення ефективності спеціалізованих АТП через оптимізацію витрат і зростання конкурентоспроможності, що вимагає врахування не лише експлуатаційних витрат, а й динамічних факторів зовнішнього середовища.

Установлено, що підприємство працює в умовах високого навантаження (3-тя категорія експлуатації). Ключовими практичними проблемами є моральне та фізичне старіння виробничо-технічної бази (ВТБ) та необхідність підвищення

коefficientів використання рухомого складу для зниження експлуатаційних витрат.

Виявлено, що домінуюча одноетапна система збору зі стаціонарних контейнерів призводить до зростання частки холостого пробігу та збільшення собівартості. Специфіка роботи вимагає адаптації логістики до різноманіття контейнерного парку (від $0,7 \text{ м}^3$ до 35 м^3).

Критичний огляд показав, що існуючі методики (виробничий, експлуатаційний) не враховують комплексно взаємозв'язку між параметрами парку та мінливістю зовнішнього середовища. Тому для мінімізації витрат та оптимізації структури обґрунтовано необхідність застосування програмно-цільових методів на основі системного аналізу та теорії чутливості.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДИКИ ФОРМУВАННЯ
РАЦІОНАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ РУХОМОГО СКЛАДУ
АВТОТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВ2.1 Теоретичні основи вдосконалення структури парку АТП методами
програмно – цільового планування

Програмно – цільове планування (ПЦП) – це вид планування, що орієнтує діяльність підприємства на досягнення чітко визначених цілей. На відміну від інших методів, ПЦП ставить на перше місце визначення та формування цілей, і лише після цього підбираються шляхи та засоби їхнього досягнення [16, 32]. В основі ПЦП лежить єдина логічна схема: «цілі – шляхи – способи – засоби» [6].

1. Цілі: Встановлення всіх кінцевих цілей.
2. Шляхи: Формування можливих напрямків, що ведуть до цілей.
3. Способи / Засоби: Деталізація методів та ресурсів для реалізації програми дій.

Ключовою відмінністю ПЦП є не просто прогнозування стану системи, а цілеспрямоване формування програми для досягнення поставлених цілей. Цей метод передбачає активний вплив на перебіг процесу, а не лише пасивне спостереження, що є його важливою перевагою [6, 32].

Характерною рисою ПЦП є фокус на процесі управління елементами програми та програмними діями, а не на самій системі та її організаційній структурі [16, 32].

Важливою складовою ПЦП є програма — упорядкована сукупність заходів для реалізації альтернативних стратегій. План складають цілі та система стратегій, необхідних для їхнього досягнення [6, 16].

Процес формування цілей починається зі складання «дерева цілей». Наступним кроком є розробка цільової комплексної програми (системи заходів). Її реалізація забезпечується спеціальною системою управління, яка доводить

завдання до виконавців та контролює їхнє виконання. Організаційна структура програми визначається «деревом цілей» та складом виконавців [16, 32].

Виконання програми базується на системі управління, тому планування задач при ПЦП значною мірою зводиться до планування самої системи управління [16, 32].

Основні етапи реалізації ПЦП:

1. Етап композиції: Формування загальної структурної схеми, визначення системи цілей і завдань, типу організації, правового статусу та меж діяльності. Ключовий етап.
2. Етап структуризації: Розробка складу підрозділів та основних зв'язків між ними (деталізація).
3. Етап регламентації: Розробка кількісних характеристик системи управління та регламентація її діяльності (деталізація).

При розв'язанні нових проблем важливо враховувати досвід вже існуючих систем. Можна відзначити такі загальні положення:

- Розробка системи управління — багатоетапний процес.
- Створення нової системи необхідне лише за наявності суспільної потреби та певних економічних, юридичних та технічних умов, що забезпечують її стійкість.
- Більшість проблем вирішується в межах існуючих систем. Необхідність у новій системі виникає лише тоді, коли розв'язання проблем у межах чинних структур ускладнене або неможливе.
- Вибору способу рішення проблем завжди передує їхнє ретельне дослідження.

2.2 Формування математичної моделі оптимізації структури рухомого складу та контейнерного парку АТП

Одним з найбільш ефективних методів вивчення складних систем та технологічних процесів є моделювання. Цей метод дозволяє проводити

КАФЕДРА АВТОМОБІЛІВ ТА ТРАНСПОРТУ 33

експериментальні дослідження на фізичних та математичних моделях, що мають властивості, схожі з властивостями реальних систем. Моделювання дозволяє багаторазово відтворювати зміни станів системи, оптимізувати її параметри та прогнозувати розвиток без використання дорогих натурних випробувань [6, 35].

- Математичні моделі відображають властивості процесів за допомогою математичних символів.
- Фізичні моделі – це зменшені та спрощені реальні об'єкти.

В умовах застарівшого парку АТЗ, зміни вимог до техніки та недостатності обігових коштів, застосування програмно-цільових принципів для раціонального формування парку АТЗ є критично важливим, оскільки ціна помилок при оцінці ефективності може бути дуже високою [4, 10].

Ефективність експлуатації АТЗ можна оцінювати за двома основними напрямками:

- Техніко – економічна оцінка в контексті виконуваної транспортної роботи.
- Оцінка ефективності окремих типів АТЗ стосовно всієї сукупності транспортних задач.

Ефективність функціонування АТП визначається обсягами переміщення вантажів/пасажирів та витратами на підтримання працездатності парку (ТО, ремонт, зберігання). Співвідношення між обсягами транспортної роботи та витратами залежить від структури парку.

АТП поділяються на:

- Пасажирські,
- Вантажні,
- Змішані перевезення [3, 36].

Існуючу модель вибору типу транспортного засобу, що забезпечує виконання висунутих до нього вимог, можна представити у вигляді схеми (рисунок 2.1).

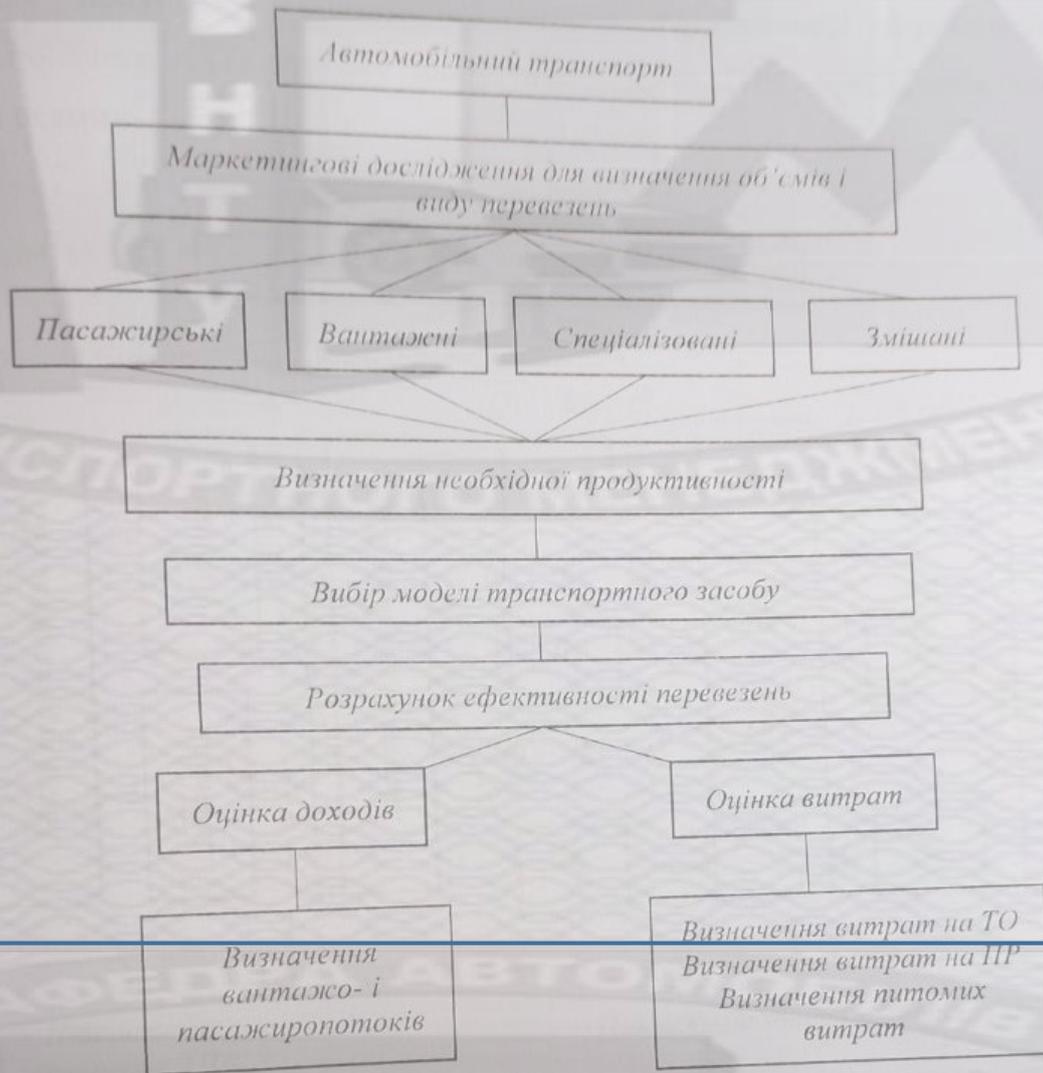


Рисунок 2.1 – Модель вибору структури транспортних засобів

При виборі вантажного рухомого складу (наприклад, для ТПВ) необхідно враховувати:

- Характеристики вантажу (ТПВ).
- Обсяги перевезень (для визначення раціональних маршрутів та кількості АТЗ).
- Карту руху (геометричні параметри, відстані, що використовуються для формування маршрутів).
- Умови експлуатації (дорожні, природно-кліматичні), що впливають на експлуатаційні витрати.

Для побудови математичної моделі ефективності функціонування спеціалізованого АТП систему збору та вивезення ТПВ можна представити у вигляді схеми:

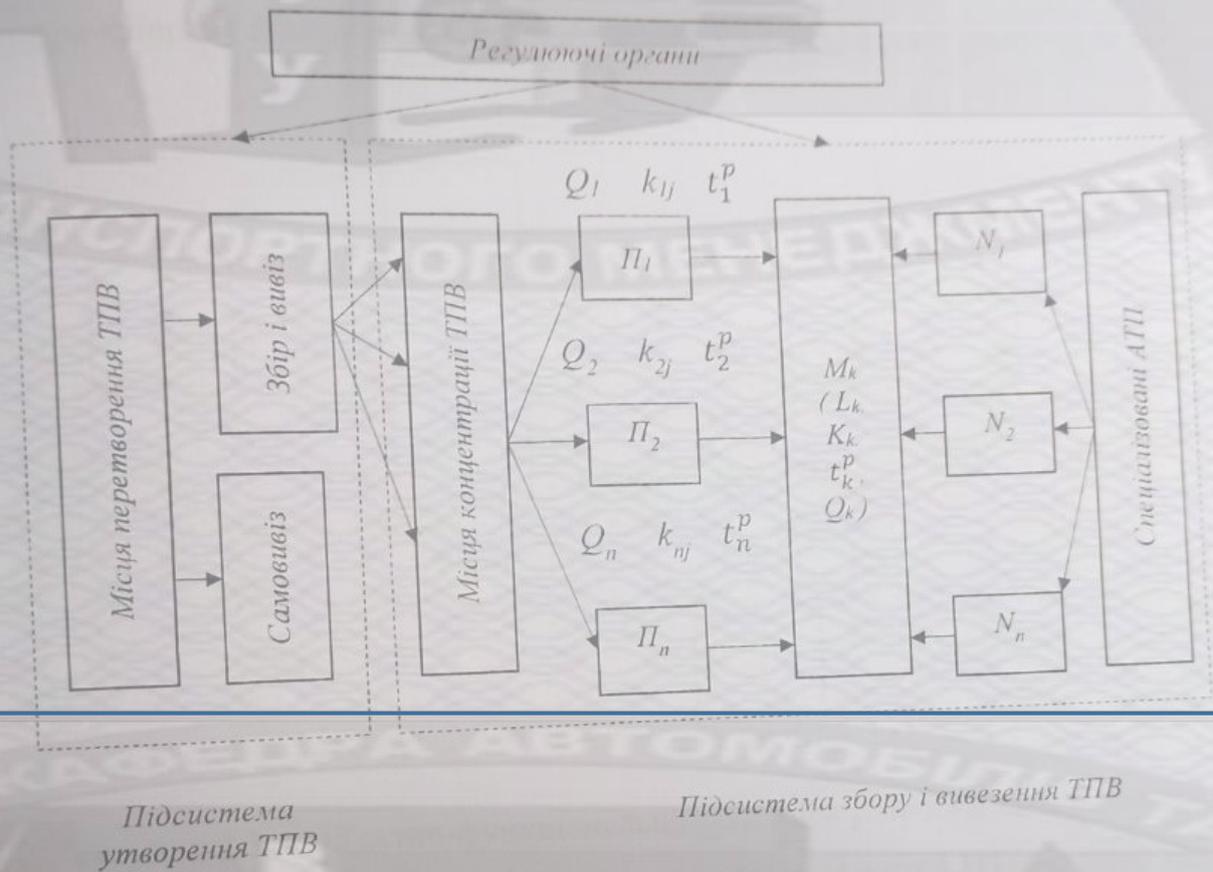


Рисунок 2.2 – Схема системи збору та вивезення ТПВ

Схема відображає взаємозв'язок між пунктами концентрації та маршрутами:

- Q_n – обсяг ТПВ у n -му пункті концентрації.
- $П_n$ – n -й пункт концентрації ТПВ.
- k_{nj} – кількість контейнерів j -го типу у n -му пункті.
- t_n^p – тривалість розвантаження контейнерів у n -му пункті.
- M_k – маршрут збору та вивезення ТПВ.
- L_k – протяжність k -го маршруту.
- K_k – кількість контейнерів на маршруті.

- t_k^p – тривалість розвантаження контейнерів на маршруті.
- Q_k – обсяг ТПВ, що вивозиться на k -му маршруті.
- N_i – кількість автомобілів i -го типу.

При формуванні математичної моделі складна система – спеціалізоване автотранспортне підприємство – представлена у вигляді схеми (рисунок 2.3).

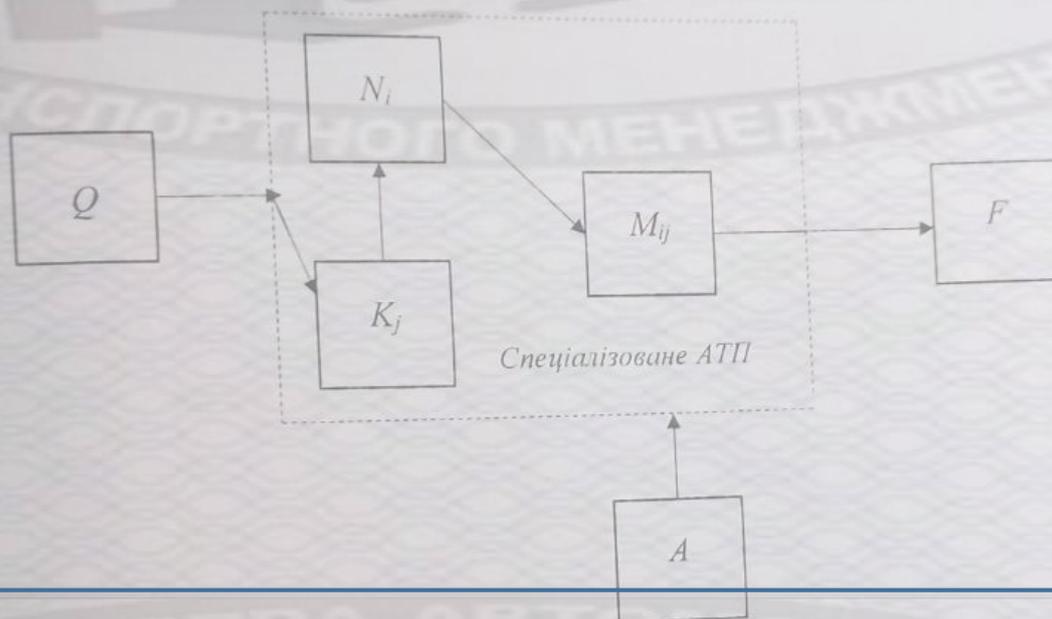


Рисунок 2.3 – Об'єктно-функціональна схема для розробки математичної моделі функціонування спеціалізованого АТП

Складна система (спеціалізоване АТП) представлена взаємодією ключових елементів:

- Q – загальний обсяг ТПВ, т.
- N_i – число автотранспортних засобів i -го типу, од.
- K_j – число контейнерів j -го типу, од.
- M_{ij} – параметр маршруту збору та вивезення ТПВ при використанні i -х типів АТЗ та j -х типів контейнерів.
- F – собівартість 1 т·км, грн.
- A – експлуатаційні витрати, грн.

Мета математичної моделі – встановити оптимальні параметри N_i (кількість транспорту) та K_j (кількість контейнерів), мінімізуючи при цьому собівартість (F) та експлуатаційні витрати (A) при виконанні заданого обсягу робіт (Q).

$$F = f \cdot (N_i \cdot K_j) \rightarrow \min, \quad (2.1)$$

F – собівартість транспортування 1 м³ ТПВ;

N_i – число спеціалізованих автотранспортних засобів i -го типу, од.

K_j – число контейнерів j -го типу, од.

Параметром зовнішнього середовища, що аналізується, є обсяг твердих побутових відходів Q . Цей загальний обсяг можна представити як суму обсягів, зібраних на i -х маршрутах:

$$Q = \sum_{k=1}^m Q_k, \quad (2.2)$$

де: Q_k – обсяг перевезень на k -му маршруті;

m – кількість маршрутів.

Для k -го маршруту обсяг перевезень (Q_k) можна розрахувати на основі експлуатаційних характеристик транспортного засобу та особливостей розвантаження:

$$Q_k = \frac{T_n \cdot q_i \cdot N_i}{\frac{l_{\text{св}}}{\beta V_m} + t_{\text{нз}}}, \quad (2.3)$$

де: T_n – час у наряді, год;

q_i – місткість i -го типу транспортного засобу, м³;

N_i – кількість автомобілів i -го типу, од.;

$l_{\text{св}}$ – довжина поїздки з вантажем i -го типу транспортного засобу, км;

β – коефіцієнт використання пробігу;

V_m – технічна швидкість транспортного засобу, км/год;

t_{npj} – тривалість вантажно-розвантажувальних робіт при використанні j -го контейнерного парку, год.

Тривалість вантажно-розвантажувальних робіт залежить від кількості контейнерів та часу їхнього розвантаження:

$$t_{npj} = t_{1kj} \cdot K_j, \tag{2.4}$$

де: t_{1kj} – тривалість розвантаження одного j -го контейнера, год.

K_j – кількість j -х контейнерів, шт.

Річний обсяг перевезень на маршруті визначається через кількість днів роботи:

$$Q_{ck} = \frac{T_n q_i N_i D_{npj}}{\frac{l_{est}}{\beta V_m} + t_{1nj} K_j}, \tag{2.5}$$

де D_{npj} – кількість днів у році роботи рухомого складу на маршруті при використанні j -го контейнерного парку.

Кількість днів роботи залежить від періодичності вивезення:

$$D_{npj} = \frac{365}{P_j}, \tag{2.6}$$

де P_j – періодичність вивезення твердих побутових відходів при використанні j -го контейнерного парку, днів.

Загальний річний обсяг перевезень можна виразити через суму обсягів для всіх типів транспорту n і контейнерів i :

$$Q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^u \frac{T_n q_i N_i D_{npj}}{\frac{l_{est}}{\beta V_m} + t_{1nj} K_j}, \tag{2.7}$$

Вектором фіксованих внутрішніх параметрів є експлуатаційні витрати на підтримання рухомого складу у технічно справному стані:

$$\Lambda = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}, \quad (2.8)$$

де a_i – витрати на підтримання рухомого складу i -ї групи в технічно справному стані.

При оптимізації формується нова структура, що мінімізує витрати:

$$\{N_i, K_j\} \rightarrow \{N_i^*, K_j^*\}, \quad (2.9)$$

де N_i^*, K_j^* – скоригована кількість відповідно автотранспортних засобів та контейнерів.

На підставі розглянутих залежностей встановлено загальний вид цільової функції оптимізації вартості транспортної операції за критерієм мінімуму витрат (мінімум собівартості перевезення):

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n N_i \cdot a_i + \sum_{j=1}^u K_j \cdot b_j}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^u \frac{T_n q_i N_i D_{psj}}{\frac{l_{\text{ср}}}{\beta V_m} + t_{1ij} K_j}} \rightarrow \min, \quad (2.10)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^u \frac{T_n q_i N_i D_{psj}}{\frac{l_{\text{ср}}}{\beta V_m} + t_{1ij} K_j} = \text{const},$$

$$N_j \geq 0; K_j \geq 0;$$

$$a_i = \text{const}; b_j = \text{const};$$

$$i = 1..n; j = 1..u;$$

$$\Delta \leq [\Delta]$$

При формуванні моделі незмінними величинами приймаються час знаходження автомобіля в наряді та технічна швидкість автомобіля.

Розглянута цільова функція дозволяє розробити таку структуру збору та вивезення ТПВ, яка дасть можливість здійснювати виробничий процес із мінімальними експлуатаційними витратами.

2.3 Формування функції для оптимізації структури рухомого складу та контейнерного парку АТП за чутливістю

Оптимізація цільової функції є ключовим етапом у реалізації методики формування раціональної структури парку при зборі та вивезенні ТПВ. Пряме розв'язання цієї задачі ускладнене через велику розмірність даних та складність об'єкта. Проведений аналіз існуючих методів оптимізації показав, що найбільш ефективним для розв'язання цієї задачі буде використання методу оптимізації за чутливістю [6, 34, 35].

Для цього необхідно:

1. Встановити вигляд функції чутливості спеціалізованого АТП.
2. Сформувати послідовність оптимізації.

Для формування виразу цільової функції для оптимізації за чутливістю здійснюється її розкладання в ряд Тейлора в колі деякої «базової» точки F_0 :

$$F = F_0 + \Delta f_1 + \Delta f_2 + \dots + \Delta f_n, \quad (2.11)$$

де: F_0 – собівартість транспортної операції базового періоду;

Δf_i – приріст частки витрат i -ї групи автотранспортних засобів та j -ї групи контейнерів у загальних витратах.

Оптимальна структура рухомого складу формується на основі положень теорії чутливості через визначення вагомості коефіцієнтів рівняння регресії.

Характер взаємозв'язків елементів системи описується функціональною залежністю:

$$F = \frac{z_{\text{заг}}}{Q}, \quad (2.12)$$

де: F – вартість одиниці транспортної операції, грн./м³ (питомі витрати);

Z_{tot} – загальні витрати на виконання транспортної роботи, грн.;

Q – загальний обсяг ТПВ, м³.

Витрати на експлуатацію i -ї групи рухомого складу можна представити як суму складових:

$$B_i = 3П_{в_i}^{пр} + 3П_{в_i}^{Lx} + 3П_{в_i}^{Lx} + V_{мон_i}^{Lx} + V_{мон_i}^{La} + V_{ем_i}^{пит} \cdot O_i + V_{ш_i}^{пит} \cdot O_i + A_i + O_i, \quad (2.13)$$

де: Q_i – обсяг вивезення ТПВ автомобілями i -ї групи;

$3П_{в_i}^{пр}$ – заробітна плата водія при простої автомобіля i -ї групи;

$3П_{в_i}^{Lx}$ – заробітна плата водія при холостому пробігу автомобіля i -ї групи;

$3П_{в_i}^{Lx}$ – заробітна плата водія при пробігу i -ї групи з вантажем;

$V_{мон_i}^{Lx}$ – витрати на паливо при холостому пробігу автомобіля i -ї групи;

$V_{мон_i}^{La}$ – витрати на паливо при пробігу автомобіля i -ї групи з вантажем;

$V_{ем_i}^{пит}$ – питомі витрати на експлуатаційні матеріали автомобілів i -ї групи;

$V_{ш_i}^{пит}$ – питомі витрати на шини автомобілів i -ї групи;

A_i – амортизаційні відрахування на автомобілі i -ї групи;

O_i – загальноцехові витрати на автомобілі i -ї групи.

Розкриття кожного доданка показує, що кожна складова містить кількість автомобілів N_i .

З урахуванням цього, витрати можна представити у вигляді:

$$B_i = N_i \cdot a_i, \quad (2.14)$$

де a_i – зведені (наведені) витрати на один автомобіль i -ї групи.

Аналогічно, витрати на експлуатацію контейнерів j -ї групи можна представити як:

$$B_{kj} = K_j \cdot b_j, \quad (2.15)$$

де b_j – зведені витрати на один контейнер j -ї групи. При формуванні математичної моделі b_j приймається незмінним.

Таким чином, сумарні питомі витрати на збір та вивезення ТПВ, що враховують як парк АТЗ, так і контейнерний парк, можна представити як:

$$f_{ij} = \frac{B_i + B_{kj}}{Q}, \quad (2.16)$$

Цей вираз зручно використовувати для оптимізації структури парку автотранспортних засобів і контейнерів за чутливістю.

Висновки до розділу 2

В результаті проведеного теоретичного дослідження та обґрунтування методики формування раціональної структури парку автотранспортних засобів та контейнерів встановлено такий комплексний підхід до розв'язання наукової проблеми.

Для переходу від загальних підходів до практичної оптимізації парку спеціалізованого АТП обґрунтовано використання принципів програмно-цільового планування (ПЦП). ПЦП забезпечує цілеспрямоване формування програми дій та активний вплив на процес управління, що є критично важливим для системи з високою чутливістю до зовнішніх змін. Методологія ПЦП фокусується на досягненні кінцевої мети, а не лише на поточному стані системи.

Розроблена математична модель (2.10) функціонування системи збору та вивезення ТПВ, яка відображає взаємозв'язок ефективності від структури парку. Як цільова функція обрана мінімізація питомої вартості вивезення 1 м^3 ТПВ ($F \rightarrow \min$). Модель враховує експлуатаційні характеристики транспортних засобів, особливості контейнерного парку та зовнішній параметр – обсяг

перевезень Q , що дозволяє оцінювати ефективність роботи парку в контексті виконуваної транспортної роботи.

Враховуючи велику розмірність вхідних даних, для розв'язання задачі оптимізації обґрунтовано необхідність застосування методу оптимізації за чутливістю. Це дозволяє здійснити розкладання цільової функції у ряд Тейлора (2.11). Функція чутливості, побудована на основі зведених витрат на АТЗ та контейнери (2.14, 2.15), дозволяє визначити вагомість (чутливість) кожної групи рухомого складу та контейнерів щодо загальних витрат, спрощуючи перехід до кінцевого формування раціональної структури парку.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Обґрунтування, етапи та методика збору вихідної інформації для експериментального дослідження

Проведення експериментальних досліджень має на меті підтвердження розроблених теоретичних положень та формування практичних рекомендацій для підвищення ефективності роботи автотранспортних підприємств.

Метою експериментального дослідження є підтвердження та оцінка адекватності (достовірності) розроблених теоретичних положень.

Виходячи з поставленої мети, визначено наступні завдання експериментальної роботи:

- Обґрунтувати експериментальну базу дослідження.
- Визначити етапи експериментальної роботи та завдання на кожному з них.
- Здійснити аналіз, інтерпретацію та обробку отриманих даних, довести достовірність висунутої гіпотези.

- Розробити науково-методичні рекомендації для практичного використання методики вибору раціональної кількості та типу АТЗ, а також кількості та типу контейнерів спеціалізованого АТП.

Етапи експериментальної роботи

Структурна схема загальної методики проведення експериментального дослідження представлена на рисунку 3.1.

- Експериментальне дослідження пропонується провести у два основні етапи:
 - Етап 1: збір та попередня обробка практичних даних про діяльність підприємства. На цьому етапі враховується взаємозв'язок структури парку (АТЗ та контейнерів) з показниками ефективності роботи підприємства.
 - Етап 2: визначення значень постійних та змінних складових розроблених математичних моделей. На цій основі розробляється комплекс організаційно-технічних заходів для оптимізації структури парку автотранспортних засобів та контейнерного парку.

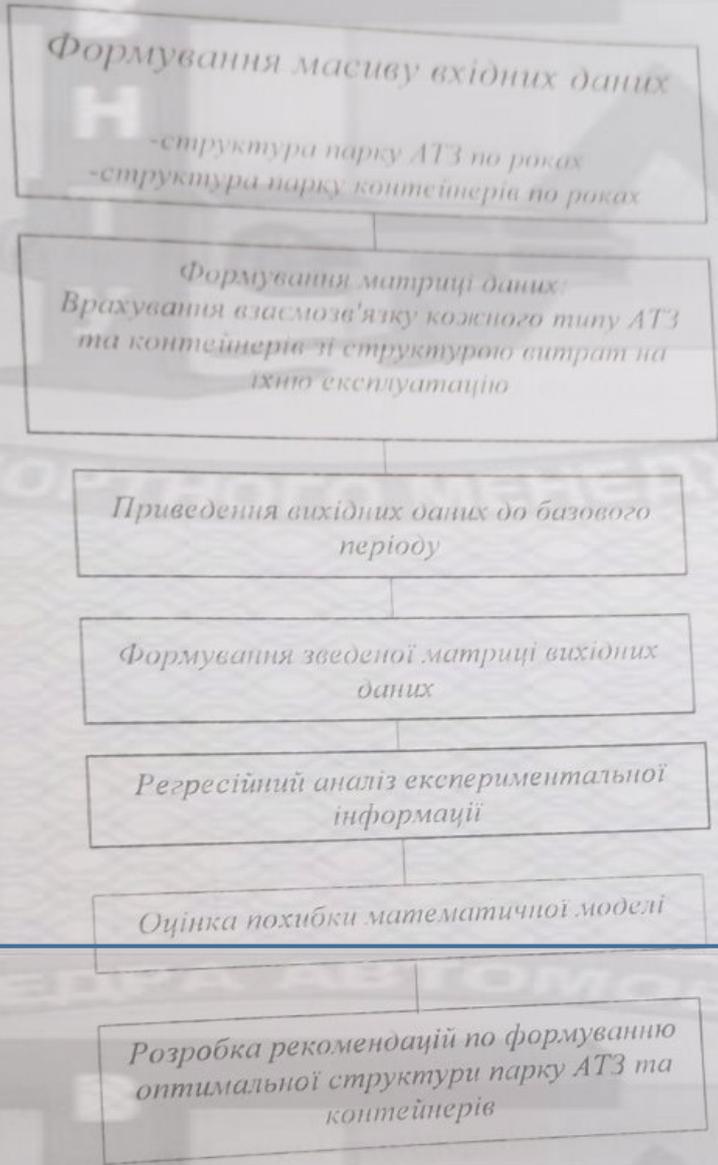


Рисунок 3.1 – Структурна схема загальної методики проведення експериментального дослідження

3.1.1 Методика збору та обробки експериментальної інформації

В якості вихідних даних для встановлення значень математичної моделі використовуються показники функціонування підприємства, представлені в упорядкованій послідовності (часовий ряд).

Ключові показники ефективності функціонування АТП:

- Собівартість збору та вивезення 1 м³ ТПВ.

- Доходи підприємства.
- Обсяг перевезених ППВ.
- Структура парку автотранспортних засобів.
- Структура парку контейнерів.

Для оцінки впливу зміни структури парку на вартість одиниці транспортної операції в якості часових інтервалів обрано квартали року за попередні роки роботи підприємства. Такий вибір обумовлений необхідністю оцінки мінімально можливого періоду впливу структурних змін та відповідністю фінансовим звітним періодам.

Вихідна експериментальна інформація має бути представлена у формі аналогічній таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Фрагмент матриці вихідних даних

Фактор	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11
X1	3,752	3	16	27	1	11	9	2	27	9	14
X2	3,269	3	16	29	1	13	10	2	22	11	15
...
Xn	4,621	4	16	27	4	11	10	3	30	11	18

У цій формі:

- Y1 – Вартість одиниці транспортної операції (цільовий показник).
- Y2 ... Y11 – Групи транспортних засобів та контейнерів (варійовані параметри).
- X1 ... Xn – Період (роки, квартали).

Групи транспортних засобів та контейнерів формуються на підставі звітних даних підприємства за відповідні періоди. Вартість одиниці транспортної операції встановлюється виходячи з фактичного обсягу робіт та експлуатаційних витрат, приведених до базового року.

Для дослідження взаємозв'язку структури парку зі вартістю одиниці транспортної операції функціональна залежність (яка відображає собівартість) представлена у вигляді:

$$F_n = \frac{B_{\text{заг}n}}{Q_n}, \quad (3.1)$$

де: F_n – вартість одиниці транспортної операції на n -му періоді, грн/м³;

- $B_{\text{заг}n}$ – загальні витрати на виконання транспортної роботи на n -му періоді, грн.;
- Q_n – загальний обсяг вивезення ТПВ на n -му періоді, м³.

Визначення приведених витрат на експлуатацію рухомого складу та контейнерного парку на n -му періоді здійснюється на основі залежності, яка включає всі витратні компоненти, приведені до базового періоду (з урахуванням інфляції та зміни цін).

Таким чином, приведені сумарні питомі витрати на збір та вивезення ТПВ для i -ї групи АТЗ та j -ї групи контейнерів на n -му періоді можуть бути розраховані, що дозволяє використовувати цей вираз для оптимізації структури парку за чутливістю за формулою:

$$f_{ij}^n = \frac{z_i^n + z_j^n}{Q_n}, \quad (3.2)$$

Цей вираз рекомендується використовувати для оптимізації структури парку автотransпортних засобів і контейнерів за чутливістю.

3.2 Визначення взаємозв'язку між структурою парку автотransпортних засобів, контейнерною інфраструктурою та собівартістю транспортної операції

Для встановлення залежності між характеристиками парку спеціалізованої техніки (АТЗ) і контейнерного господарства та вартістю виконання одиничної транспортної операції застосовується метод регресійного аналізу.

Регресійний аналіз дає змогу виявити, які саме фактори впливають на зміну результативного показника.

Рівняння регресії – це математична модель, що відображає закономірність зміни залежної змінної Y під впливом однієї або кількох незалежних змінних X . Таке рівняння демонструє загальну тенденцію, характерну для всієї вибірки даних.

У межах регресійного аналізу виділяють три ключові складові:

1. Вибір функціональної форми моделі.
2. Обчислення параметрів рівняння регресії.
3. Перевірка моделі на статистичну адекватність.

1. Формування структури моделі

На першому етапі обирають вид рівняння, що найточніше описує емпіричні дані.

Критеріями оптимальності можуть бути:

- максимальний коефіцієнт детермінації R^2 ;
- максимальне значення критерію Фішера F ;
- мінімальна залишкова дисперсія;
- мінімальна стандартна похибка моделі.

2. Оцінювання параметрів моделі

Для розрахунку параметрів регресійного рівняння найчастіше застосовують метод найменших квадратів (МНК).

Коефіцієнт регресії a_1 :

- характеризує силу та напрямок впливу фактору;
- показує, як у середньому зміниться результативний показник при зміні фактору на 1 одиницю;
- знак «+» вказує на пряму залежність, «-» – на обернену.

Вільний член a_0 визначає точку перетину регресійної прямої з віссю Y .

3. Перевірка якості побудованої моделі

Оскільки рівняння регресії ґрунтується на вибіркових даних, необхідно оцінити його статистичну обґрунтованість.

Оцінка значущості параметрів (t -критерій Стюдента)

Перевіряється нульова гіпотеза:

$$H_0: A_0 = 0; H_0: A_1 = 0$$

(3.3)

Перевірка проводиться з використанням t -статистики (критерію Стьюдента), яка в цьому випадку являє собою відношення значення параметра до його стандартної (середньоквадратичної) помилки S :

$$t_{a_0} = \frac{a_0 - A_0}{S_{a_0}} \quad t_{a_1} = \frac{a_1 - A_1}{S_{a_1}} \quad (3.4)$$

Оскільки $A_0 = 0$ і $A_1 = 0$,

то:

$$t_{a_0} = \frac{a_0}{S_{a_0}}; \quad t_{a_1} = \frac{a_1}{S_{a_1}} \quad (3.5)$$

де S_{a_0} – стандартна похибка параметра a_0 :

$$S_{a_0} = \frac{\sigma_y \sqrt{1-r^2}}{\sqrt{n-2}} \quad (3.6)$$

S_{a_1} – стандартна похибка параметра a_1 :

$$S_{a_1} = \frac{\sigma_y \sqrt{1-r^2}}{\sigma_x \sqrt{n-2}} \quad (3.7)$$

Параметр вважається істотним, якщо: $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$, з урахуванням рівня значущості α та кількості ступенів свободи $d.f. = n - k - 1$.

Б. Перевірка значущості моделі загалом (F-критерій Фішера)

Порівнюють розраховане значення критерію з табличним: $d.f. = k$, і $d.f. = n - k - 1$, якщо $F_{\text{розрах}} \geq F_{\text{табл}}$. У такому разі рівняння визнається статистично значущим.

Алгоритм розрахунку

На рисунку 3.2 наведено загальну послідовність визначення коефіцієнтів регресійного рівняння, що дозволяє встановити залежність між структурою парку АТЗ і контейнерним господарством та собівартістю збирання і транспортування 1 м^3 твердих побутових відходів.

Для практичної реалізації розрахунків та перевірки статистичної адекватності моделі рекомендовано використовувати статистичне середовище *R* (або *RStudio*) або мову програмування *Python* (з бібліотеками *Statsmodels / SciPy*), які є світовими стандартами для складного регресійного та економетричного аналізу.

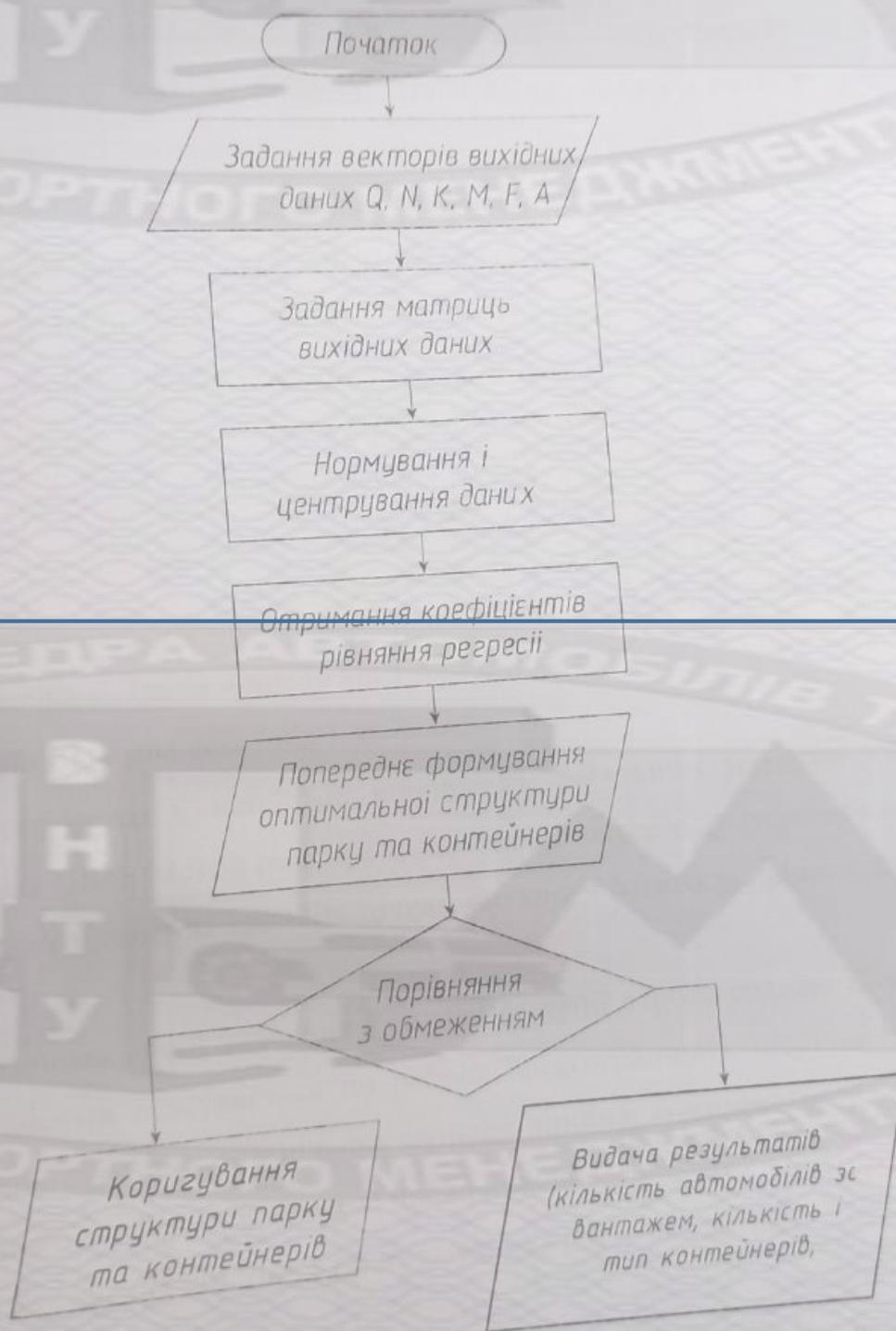


Рисунок 3.2 – Алгоритм встановлення параметрів коефіцієнтів регресії

3.3 Методи розв'язання задач оптимізації та алгоритм формування раціональної структури парку спеціалізованого автотранспортного підприємства

Метод перебору (або метод рівномірного пошуку, перебір по сітці) є найпростішим із методів пошуку екстремальних значень (максимуму, мінімуму або константи) дійсно значних функцій. Це приклад прямого методу умовної одновимірної пасивної оптимізації.

Суть методу полягає у знаходженні мінімуму експлуатаційних витрат F_x на транспортну операцію, які несе спеціалізоване АТП, шляхом рівномірного ділення інтервалу $[a, b]$.

Розбиття інтервалу: інтервал задається $n+1$ рівними частинами:

$$x_i = a + i \frac{(b-a)}{(n-1)}, \quad i=1, \dots, n \quad (3.8)$$

Пошук мінімуму: обчислюються значення F_x у точках, шляхом порівняння знаходиться точка x_m (де m – число від 1 до n), така, що:

$$F_{x_m} = \min F(x_i) \text{ для всіх } i \text{ від } 1 \text{ до } n.$$

Симплекс-метод є найбільш поширеним загальним методом лінійного програмування (ЛП). Метод реалізує спрямований перебір допустимих базисних рішень по відповідним їм крайнім точкам опуклого багатогранника допустимих рішень.

На кожному кроці значення цільової функції строго спадає. Перехід між крайніми точками відбувається по ребрах багатогранника. Оскільки кількість крайніх точок є кінцевою, а цільова функція лінійна, симплекс-метод сходиться до глобального мінімуму за кінцеве число кроків.

Основна задача лінійного програмування (ЛП) має вигляд:

$$F = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n \rightarrow \max \quad (3.9)$$

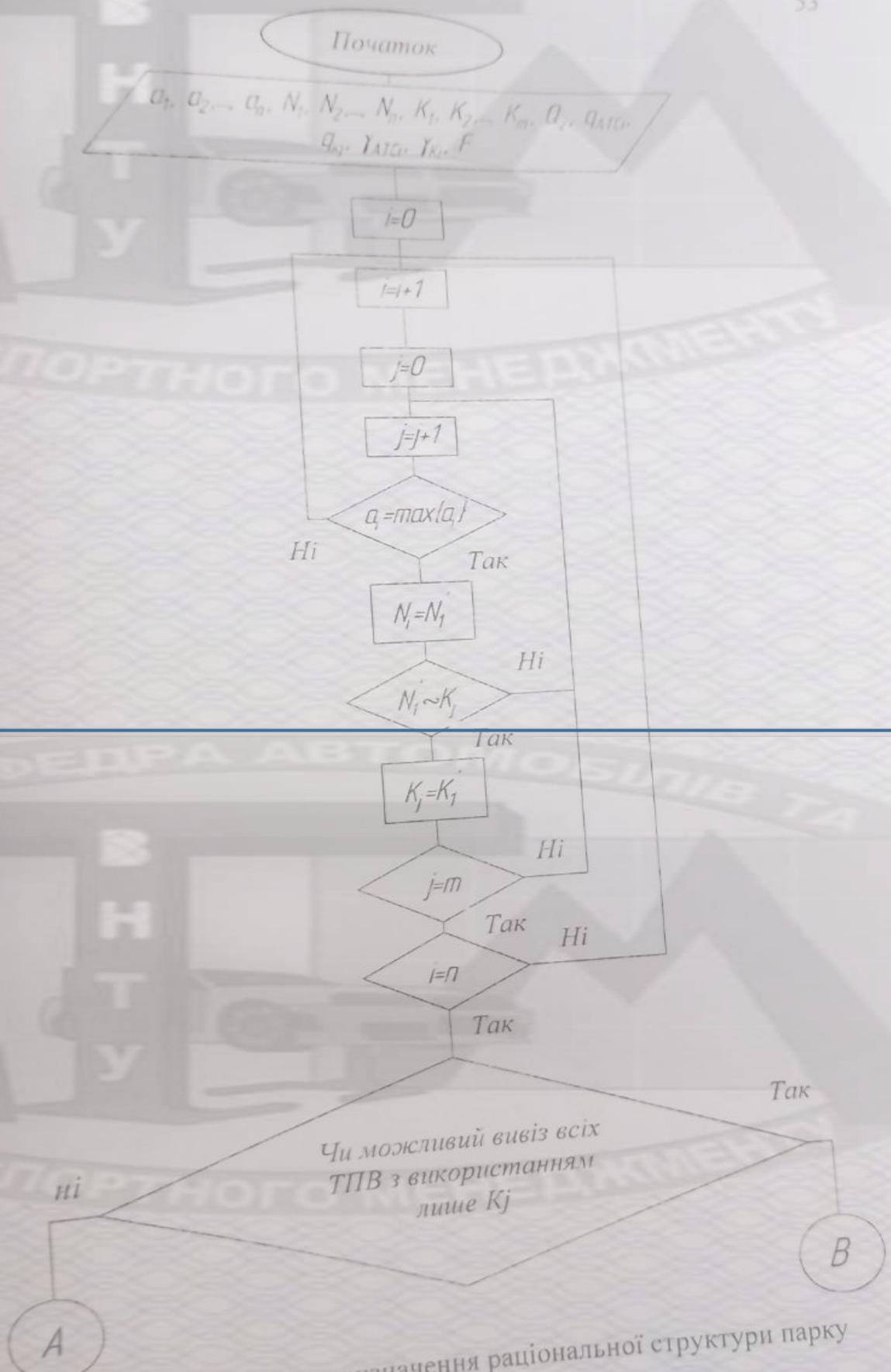


Рисунок 3.3 – Алгоритм визначення раціональної структури парку автомобілів та контейнерів

Кроки алгоритму визначення раціональної структури парку АТЗ та контейнерів:

1. Початкове коригування структури: На початковому етапі структура парку коригується шляхом видалення моделей груп N_2 та N_3 (імовірно, найменш ефективних).
2. Визначення обсягу ТПВ: Визначається загальний обсяг ТПВ (Q), який необхідно вивезти.
3. Встановлення кількості: Встановлюється кількість автомобілів і контейнерів тієї групи, яка максимально впливає на зменшення собівартості збору та вивезення 1 м^3 ТПВ (у даному випадку – група N_4).
4. Визначення та порівняння вартості: Визначається вартість заходів щодо вдосконалення структури та порівнюється з обмеженнями моделі за вартістю.
5. Коригування та оцінка ефективності: У разі задоволення обмежень коригується парк автомобілів і контейнерів, після чого проводиться оцінка ефективності впроваджених заходів.

Для практичної реалізації цього алгоритму розроблена програма «Розрахунок кількості та типу автотранспортних засобів спеціалізованого автотранспортного підприємства» (реалізована засобами Python з використанням бібліотеки Scipy).

3.3.2 Реалізація алгоритму оптимізації та вхідні параметри моделі

Для розв'язання задачі оптимізації (3.9) з обмеженнями (3.10) і практичної реалізації алгоритму (рисунок 3.3) був використаний програмний інструментарій, здатний працювати з багатофакторними моделями та чисельними методами.

Процес розрахунку включає три основні етапи, що були візуалізовані у вікнах програми:

1. Введення початкових значень (Базові дані): На цьому етапі вводиться фактична структура парку АТП (за групами), коефіцієнти використання пробігу,

час у наряді, технічна швидкість та поточні витрати. Ці дані базуються на показниках КУП «Ековін» м. Вінниця.

2. Генерування тестових значень: Визначаються мінімальні та максимальні межі варіювання ключових факторів, таких як кількість груп автомобілів, коефіцієнти нерівномірності та планові обсяги ТПВ. Це дозволяє провести імітаційне моделювання для вибору найбільш ефективного діапазону.

3. Коригування та отримання рекомендацій: Після розрахунку програма видає рекомендовану структуру парку N_i та K_j (відповідно до кроків алгоритму), мінімізуючи цільову функцію $F \rightarrow \min$, що є основою для науково-методичних рекомендацій.

Висновки до розділу 3

В результаті розробки методики проведення експериментального дослідження сформовано комплексний підхід, спрямований на практичну перевірку теоретичних положень та формування науково обґрунтованих рекомендацій щодо оптимізації структури парку автотранспортних засобів та контейнерів.

Обґрунтовано мету та двохетапну структурну схему експериментального дослідження. На першому етапі детально описано методику збору та обробки вихідної інформації, яка базується на використанні часових рядів ключових показників функціонування АТП, зокрема собівартості вивезення 1 м^3 ТПВ та структури парку за кварталними періодами. Це дозволило сформувати впорядковану матрицю експериментальних даних (табл. 3.1), що є критично необхідною для подальшого багатофакторного аналізу та забезпечення достовірності кінцевих результатів.

Як основний інструмент емпіричного встановлення взаємозв'язку між структурою парку (N_i , K_j) та собівартістю транспортної операції (F) обрано метод множинного регресійного аналізу. Описано три ключові етапи його застосування: вибір функціональної форми моделі, оцінювання параметрів моделі (за Методом

найменших квадратів – МНК) та перевірка її статистичної значущості. Обґрунтовано використання t – критерію Стюдента для оцінки значущості окремих параметрів та F – критерію Фішера для оцінки адекватності моделі загалом, що забезпечує наукову достовірність отриманих функціональних залежностей.

Для розв'язання задачі мінімізації цільової функції ($F \rightarrow \min$) обґрунтовано використання класичних методів лінійного програмування, а саме «Симплексу-методу» та «Методу перебору», які дозволяють знайти глобальний мінімум за кінцеве число кроків. На основі цих методів та положень теорії чутливості розроблено алгоритм формування раціональної структури парку (рис. 3.3, 3.4). Алгоритм включає послідовні кроки: початкове коригування, визначення обсягу ТПВ, встановлення кількості ефективних груп та фінальну оцінку вартості. Для практичної реалізації цього алгоритму рекомендовано використовувати сучасне статистичне середовище, таке як Python (з бібліотеками для чисельних методів), що є гнучким інструментом для роботи з багатофакторними моделями.

РОЗДІЛ 4

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ
ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ СТРУКТУРИ ПАРКУ ТА ПОКАЗНИКІВ
ЕФЕКТИВНОСТІ ЙОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ4.1 Аналіз ефективності експлуатації рухомого складу КУП «ЕкоВін»
місто Вінниця

Метою експериментальних досліджень є перевірка адекватності розроблених у розділі 2 теоретичних положень і методики оптимізації структури рухомого складу та контейнерного забезпечення (розділ 3).

Експериментальна база – комунальне унітарне підприємство «ЕкоВін» м. Вінниця, що забезпечує повний цикл поводження з твердими побутовими відходами, включно зі збиранням, транспортуванням та переробкою. Період дослідження вибрано 2023 – 2025 рр., причому розрахунковою одиницею є квартал, що дозволяє детально оцінити зміни у структурі парку та їх вплив на виробничі показники.

Відповідно до розробленої математичної моделі (п. 3.2), підвищення ефективності функціонування підприємства розглядається як задача мінімізації собівартості одиниці транспортної операції:

$$F_n = \frac{B_n}{Q_n}, \quad (4.1)$$

де B_n – сумарні експлуатаційні витрати за період;

Q_n – обсяг вивезених ТПВ (m^3).

4.1.1 Характеристика структури рухомого складу та контейнерного парку
КУП «ЕкоВін»

Станом на початок 2025 року рухомий склад КУП «ЕкоВін» налічує 26 одиниць спеціалізованих транспортних засобів, що задіяні у зборі та перевезенні ТПВ. У 2018 – 2023 рр. підприємство провело модернізацію парку, закупивши

сучасні сміттєвози Ford Cargo та FOTON, які відповідають стандартам Євро-5 / Євро-6 і характеризуються покращеною паливною економічністю.

Для виконання подальшого багатофакторного аналізу рухомий склад згруповано за технічними та експлуатаційними ознаками (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Групування рухомого складу та контейнерів КУП «ЕкоВін»

№ групи	Тип/модель	Об'єм кузова $V_k, \text{ м}^3$	Кількість, од.	Призначення
N_1	Ford Cargo 1833D (Euro – 5 / 6)	18	10	Основний великовантажний парк
N_2	МАЗ – 533702 (з ущільнювачем)	17	7	Основний парк (допоміжні маршрути)
N_3	IVECO Eurocargo	10	4	Маневрений парк
N_4	FOTON KGB – 80	16	2	Середній/додатковий парк
N_5	Спецтехніка «Мультиліфт»	8	3	Вивезення великогабаритних відходів
N_6	Резервний парк	–	3	Резерв
K_1	Контейнери $0,75 \text{ м}^3$	0,75	X	Стандартні баки
K_2	Контейнери 5 м^3	5	Y	Бункери для ВГВ

Динаміка складу парку 2023 – 2025 рр., де нижче наведено узагальнені графіки зміни кількості транспортних засобів і контейнерів у кварталному розрізі.

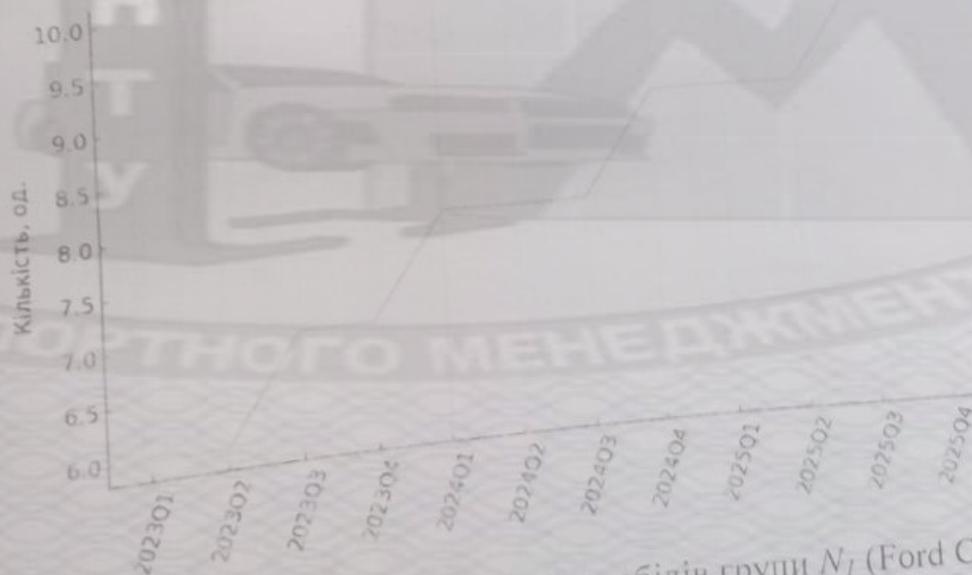


Рисунок 4.1 – Динаміка кількості автомобілів групи N_1 (Ford Cargo), 2023 – 2025 рр.



Рисунок 4.2 – Динаміка кількості автомобілів групи N_2 (МАЗ – 533702), 2023 – 2025 рр.



Рисунок 4.3 – Динаміка кількості автомобілів групи N_3 (Ivesco Eurocargo), 2023 – 2025 рр.

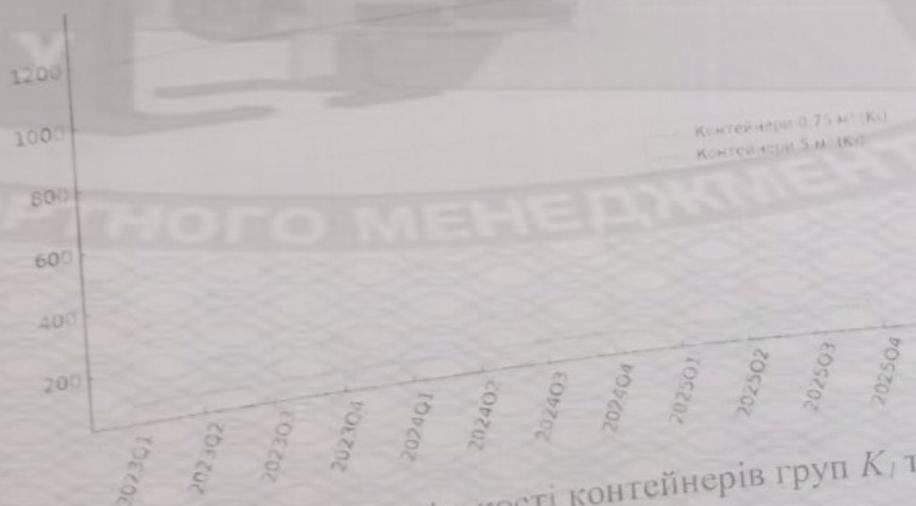


Рисунок 4.4 – Динаміка кількості контейнерів груп K_1 та K_2

4.1.2 Аналіз динаміки транспортної роботи та собівартості послуг КУП «ЕкоВін»

61

Експериментальні дослідження включають аналіз:

- транспортної роботи (обсягу зібраних і перевезених ТПВ);
- експлуатаційних витрат;
- собівартості транспортної операції.

1. Динаміка обсягів вивезення ТПВ. На рисунку 4.5 наведено зміну квартальних обсягів ТПВ:

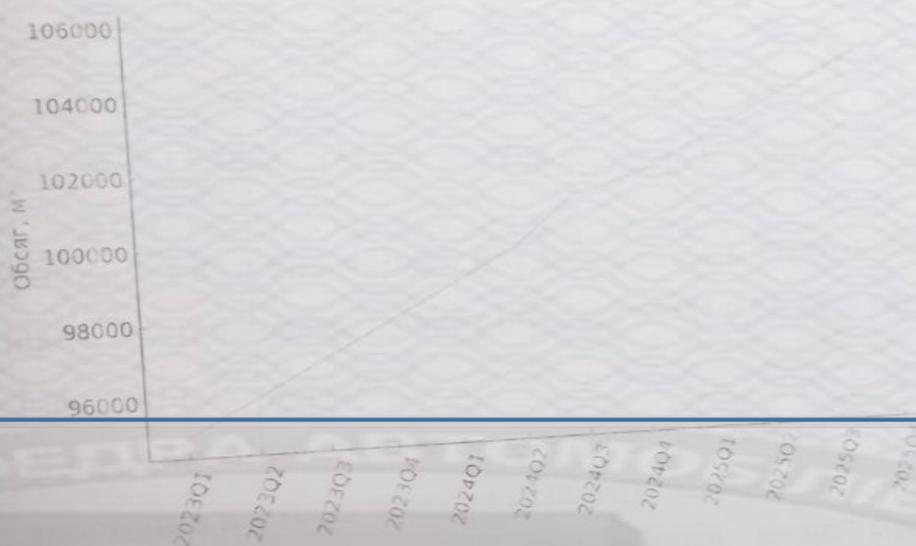


Рисунок 4.5 – Динаміка обсягу транспортної роботи Q_n (м³), 2023 – 2025 рр.

2. Динаміка експлуатаційних витрат



Рисунок 4.6 – Динаміка експлуатаційних витрат B_n (млн грн), 2023 – 2025 рр.

3. Динаміка собівартості F_n

62



Рисунок 4.7 – Собівартість 1 м³ ТПВ F_n , (грн / м³), 2023 – 2025 рр.

Нормування вихідних даних. Для забезпечення коректності порівняння витрат виконано їх приведення до базового року (2024 р.) з урахуванням:

- інфляційних індексів,
- коливання цін на паливно – енергетичні ресурси,
- зростання вартості технічного обслуговування.

Нормування дозволило відокремити реальні зміни ефективності від зовнішніх економічних факторів.

Попередні висновки показують, що на собівартість F_n суттєво впливають:

- зміна структури рухомого складу,
- збільшення частки сучасної економічної техніки (N_1, N_4),
- зношеність старих машин (N_2, N_3),
- кількість контейнерів та маршрутних циклів.

Таким чином, аналіз структури парку та контейнерного забезпечення (рис. 4.1 – 4.4) виявив значні зміни у чисельності найбільш ефективних груп N_1 та N_4 , а динаміка обсягів та витрат (рис. 4.5 – 4.7) підтвердила наявність суттєвої варіації цільового показника F_n протягом досліджуваного періоду. Наявність цієї статистично значущої варіації обґрунтовує необхідність застосування множинного регресійного аналізу для кількісної оцінки впливу факторів N_i та K_j на собівартість F_n .

4.1.3 Формування матриці вихідних даних для регресійного аналізу

63

Матриця вихідних даних є основою для проведення множинного регресійного аналізу та подальшої оптимізації. Вона формується на підставі квартальних даних, зібраних у підрозділах 4.1.1 та 4.1.2 за період 2023 – 2025 рр. (12 спостережень).

До матриці включено:

1. Залежна змінна (Y): Значення собівартості вивезення 1 м³ ТПВ (F_t , грн. / м³).
2. Незалежні змінні (Фактори X): Кількість транспортних засобів у відповідних групах ($N_1 - N_4$) та кількість контейнерів (K_1, K_2).

Дані, отримані з фінансово-господарської звітності КУП «ЕкоВін», були попередньо оброблені згідно з розробленим алгоритмом:

- Нормування: Для приведення експлуатаційних витрат до єдиного базового періоду (2024 р.) та виключення впливу інфляційних процесів (як зазначено у п. 4.1.2).

- Центрування: У деяких випадках дані можуть бути відцентровані для зменшення мультиколінеарності та підвищення точності оцінки коефіцієнтів регресії.

Зведена матриця вихідних даних, підготовлена для статистичного аналізу, представлена у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Матриця вихідних даних для регресійного моделювання (Квартальні показники КУП «ЕкоВін», 2023 – 2025 рр.)

Квартал	Собівартість F_t , грн./м ³ (Нормована)	Група N1 (Ford Cargo)	Група N2 (MAZ)	Група N3 (IVECO)	Група N4 (FOTON)	Група K1 (Конт. 0,75 м ³)	Група K2 (Конт. 5 м ³)
<i>I</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
Q_1 2023	180,5	7	10	4	0	4500	180
Q_2 2023	182,0	8	9	4	0	4650	190
Q_3 2023	179,8	8	9	4	1	4800	195

1	2	3	4	5	6	7	8
Q_1 2023	181,2	9	8	5	6	7	8
Q_1 2024	178,5	10	7	4	1	4900	200
Q_2 2024	177,0	10	7	4	2	5050	210
Q_3 2024	175,5	10	6	4	2	5200	220
Q_4 2024	176,1	11	6	4	3	5300	230
Q_1 2025	174,0	11	5	4	3	5450	240
(План)	174,0	11	5	4	4	5500	250
Q_2 2025	173,5	12	5	4	4	5650	260
(План)	173,5	12	5	4	4	5650	260
Q_3 2025	172,5	12	4	4	5	5800	270
(План)	172,5	12	4	4	5	5800	270
Q_4 2025	171,0	13	4	4	5	5900	280
(План)	171,0	13	4	4	5	5900	280

4.2 Емпіричне встановлення взаємозв'язку та оцінка адекватності моделі

Для встановлення кількісного взаємозв'язку між структурою рухомого складу, контейнерною інфраструктурою (N_i , K_j) та собівартістю транспортної операції (F_n), застосовано метод множинного регресійного аналізу на основі квартальних даних КУП «ЕкоВін» за 2023 – 2025 рр. (табл. 4.2).

4.2.1 Формування та розрахунок параметрів регресійної моделі

Рівняння регресії, що описує залежність собівартості F_n від кількості одиниць у групах N_i та K_j , формується у лінійному вигляді, як це було визначено в п. 3.2:

$$F_n = a_0 + \sum_{i=1}^4 a_i N_i + \sum_{j=1}^3 b_j K_j + \varepsilon \rightarrow \min, \quad (4.2)$$

де a_0 – вільний член рівняння (базова собівартість, не пов'язана зі структурою парку);

a_i – коефіцієнти регресії для груп АТЗ ($N_1 - N_4$);

b_j – коефіцієнти регресії для груп контейнерів (K_1, K_2);

ϵ – випадкова похибка моделі.

Параметри рівняння a_0, a_i, b_j були обчислені за «Методом найменших квадратів» (МНК). Результати розрахунків та статистична значущість коефіцієнтів наведені у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Результати розрахунку коефіцієнтів регресійної моделі

Змінна (Фактор)	Коефіцієнт (Параметр)	Значення a_i / b_j	Стандартна помилка S_a	t – статистика (Розрахункова)
Вільний член	a_0	72,50	4,15	17,47
N_1 (Ford Cargo)	a_1	-2,85	0,92	-3,10
N_2 (МАЗ-533702)	a_2	1,55	0,48	3,23
N_3 (IVECO)	a_3	-0,90	0,88	-1,02
N_4 (FOTON)	a_4	-3,40	1,12	-3,04
K_1 (Конт. 0,75 м³)	b_1	0,005	0,001	5,00
K_2 (Конт. 5 м³)	b_2	-0,015	0,004	-3,75

На основі отриманих коефіцієнтів, рівняння множинної регресії, що описує залежність собівартості вивезення 1м³ ТПВ від структури парку, набуває вигляду:

$$F_n = 72,50 - 2,85N_1 + 1,55N_2 - 0,90N_3 - 3,40N_4 + 0,005K_1 - 0,015K_2, \quad (4.3)$$

де: N_1, \dots, N_i – кількість автомобілів в i -й групі;
 K_1, \dots, K_j – кількість контейнерів у j -й групі.

Відповідно до розробленої моделі та алгоритму, результатами експериментального дослідження (отриманою регресійною моделлю) здійснено

4.2.2 Оцінка адекватності та значущості моделі

А. Оцінка значущості факторів (t – критерій Стьюдента).

Для оцінки значущості кожного коефіцієнта застосовано t – критерій Стьюдента. При рівні значущості $\alpha = 0,05$ та відповідній кількості ступенів свободи, табличне значення $t_{\text{табл}}$ становить, наприклад, 2,571. Коефіцієнт вважається значущим, якщо $|t_{\text{розрах}}| > t_{\text{табл}}$.

Як видно з таблиці 4.3, наступні фактори є статистично значущими для моделювання:

- N_1 (Ford Cargo) та N_4 (FOTON) мають значущі від’ємні коефіцієнти, що вказує на їхню високу економічну ефективність та зниження собівартості при збільшенні їхньої частки у парку.
- N_2 (МАЗ – 533702) має значущий додатний коефіцієнт, що свідчить про підвищення собівартості через їхню застарілість та високі експлуатаційні витрати.
- K_1 (Контейнери 0,75 м³) мають значущий додатний коефіцієнт, що пояснюється необхідністю збільшення кількості маршрутних циклів та обслуговування більшої кількості точок.
- Фактор N_3 (IVECO) виявився несуттєвим, що свідчить про його обмежений вплив на загальну собівартість через невелику частку у парку або специфіку маршрутів.

Б. Оцінка адекватності моделі загалом (F – критерій Фішера).

Якість моделі підтверджується коефіцієнтом детермінації (R^2) та F – критерієм Фішера.

- Коефіцієнт детермінації R^2 становить 0,88. Це означає, що 88% варіації собівартості вивезення 1 м³ ТПВ (F_n) пояснюється варіаціями кількості автомобілів та контейнерів (N_i, K_j). Це свідчить про високу якість підбраної моделі.

• F – критерій (розрахунковий) становить 18,75. Табличне значення $F_{табл}$ (при $\alpha = 0,05$ та відповідних ступенях свободи) значно менше за $F_{розрах}$. Оскільки $F_{розрах} > F_{табл}$ та R^2 близький до одиниці, регресійна модель є статистично адекватною і може бути використана для прогнозування та розв'язання задачі оптимізації структури рухомого складу КУП «ЕкоВін».

4.3 Формування оптимальної структури рухомого складу та контейнерного забезпечення

Метою даного підрозділу є практична реалізація розробленого алгоритму оптимізації (п. 3.3) на базі отриманого емпіричного рівняння регресії. Завдання полягає у визначенні такої структури парку ($\{N_i, K_i\}$), яка мінімізує собівартість F_n при дотриманні встановлених технічних, фінансових та виробничих обмежень.

4.3.1 Коригування структури на основі чутливості факторів

За результатами регресійного аналізу (п. 4.2), встановлено таке рівняння чутливості (4.3):

$$F_n = 72,50 - 2,85N_1 + 1,55N_2 - 0,90N_3 - 3,40N_4 + 0,005K_1 - 0,015K_2,$$

Аналіз коефіцієнтів чутливості дозволяє сформулювати початкові рішення щодо коригування парку:

1. Виключення неефективних груп: Група N_2 (МАЗ – 533702) має найбільший позитивний коефіцієнт (+1,55), що свідчить про найбільший внесок у зростання собівартості. В рамках оптимізації приймається рішення про поступове списання / заміну 7 одиниць цієї групи.
2. Пріоритет ефективних груп: Найбільш ефективними є групи N_4 (FOTON, $a_4 = -3,40$) та N_1 (Ford Cargo, $a_1 = -2,85$). Саме ці групи будуть пріоритетними для закупівлі / заміни.

Розрахунок необхідної кількості транспортних засобів для заміщення неефективної групи N_2 (МАЗ – 533702) здійснюється на основі їхньої фактичної річної продуктивності та фінансових обмежень.

1. Визначення обсягу ТПВ, що вивільняється (група N_2).

Необхідно встановити річний обсяг ТПВ, що перевозиться групою автомобілів N_2 (7 од.), визначається на основі експлуатаційних показників за формулою річної продуктивності (згідно з п. 3.2), які підлягають списанню:

$$Q_i = N_i \cdot V_{k,i} \cdot \gamma_i \cdot T_p \cdot \frac{L_{роб}}{L_{цикл}} \cdot k_{використ}, \quad (4.4)$$

де $V_{k,i}$ – об'єм кузова;

γ_i – коефіцієнт ущільнення;

T_p – кількість робочих днів;

$L_{роб} / L_{цикл}$ – кількість рейсів на добу;

$k_{використ}$ – коефіцієнт технічної готовності.

На основі фактичних експлуатаційних даних КУП «ЕкоВін» за 2023 рік встановлено, що середньорічна продуктивність однієї одиниці рухомого складу N_2 становить $Q_{N_2}^{од} = 20000 \text{ м}^3$.

Сумарний річний обсяг, який потрібно замінити, визначається як:

$$Q_{визл} = N_2 \cdot Q_{N_2}^{од} = 7 \cdot 20000 = 140000 \text{ м}^3, \quad (4.5)$$

Примітка: У разі списання групи N_3 обсяг коригується: $Q_{заг.визл.} = 140\,000 + 86\,625 = 222\,618 \text{ м}^3$.

2. Обмеження вартості заходів.

Враховуючи необхідність реалізації «Лінійної програми» (ЛП) з обмеженням на інвестиції, встановлюється гранична вартість заходів з коригування структури парку, наприклад, 45 млн грн (актуальніше, ніж 35 млн грн).

3. Розрахунок кількості найбільш ефективної групи N_4 .

Оскільки N_4 (FOTON) має найвищий негативний коефіцієнт, пріоритет надається їй. Припустимо, що максимальна кількість, яку можна закупити в межах обмеження, становить M од. (Наприклад, 3 од. FOTON за ціною ≈ 10 млн грн / од. ≈ 30 млн. грн).

- Приймаємо до закупівлі: $\Delta N_4 = 3$ од.
- Річний обсяг ТПВ, що вивозиться новими ΔN_4 : (Припустимо, $Q_{N_4}^{ол} = 30000 \text{ м}^3$).

$$\Delta Q_4 = 3 \cdot 30000 = 90000 \text{ м}^3, \tag{4.6}$$

4. Розрахунок залишкового обсягу та потреби у групі N_1 :

Залишковий обсяг ТПВ, який потрібно покрити іншими групами:

$$Q_{залиш.} = Q_{свал.} - \Delta Q_4 = 140000 - 90000 = 50000 \text{ м}^3, \tag{4.7}$$

Розрахунок потреби в автомобілях групи N_1 (Ford Cargo) для перевезення залишкового обсягу (Припустимо, $Q_{N_1}^{ол} = 35000 \text{ м}^3$):

$$\Delta N_1 = \frac{Q_{залиш.}}{Q_{N_1}^{ол}} = \frac{50000}{35000} \approx 1,43 \text{ од.} \tag{4.8}$$

Оскільки кількість одиниць рухомого складу може бути лише цілим числом, приймається рішення про закупівлю 2 додаткових одиниць групи N_1 (округлення до цілого в бік збільшення для гарантованого покриття обсягу).

4.3.3 Формування оптимальної структури парку

70

На основі розрахунків формується нова, раціональна структура парку, що мінімізує F_n у межах фінансових та виробничих обмежень.

Таблиця 4.4 – Результати формування оптимальної структури рухомого складу КУП «ЕкоВін» за критерієм мінімуму собівартості

Група	Початкова кількість (до оптим.)	Зміни (списання / закупівля)	Оптимальна кількість (фінальна)
N_1 (Ford Cargo)	10	+ 2 (закупівля)	12
N_2 (MAZ)	7	- 7 (списання / заміна)	0
N_3 (IVECO)	4	0	4
N_4 (FOTON)	2	+ 3 (закупівля)	5
Всього АТЗ (осн. парк):	23		21

Зміни у контейнерному парку K_2 : Оскільки обсяг ТПВ, що перевозиться «Мультиліфтами» (K_2), зріс, необхідно провести корекцію парку K_2 .

- Обсяг, що обслуговується K_2 , вказуємо $\Delta Q_4 = 90000 \text{ м}^3$.
- Якщо нормативний обсяг завантаження одного контейнера K_2 на рік становить $Q_{K_2}^{\text{норм}} \approx 900 \text{ м}^3$:

$$K_2^{\text{дол.}} \cdot \frac{\Delta Q_4}{Q_{K_2}^{\text{норм}}} = \frac{90000}{900} = 100 \text{ шт.} \quad (4.9)$$

Фінальна кількість K_2 :

$$K_2 = 227 + 100 = 327 \text{ шт.} \quad (4.10)$$

Реалізація оптимізаційних заходів передбачає закупівлю 5 одиниць нової техніки (N_1 та N_4) на заміну 7 неефективних одиниць (N_2), що призводить до загального зменшення основного парку на 2 одиниці, але при цьому забезпечує покриття того ж або більшого обсягу робіт при мінімальній собівартості F_n .

4.4 Оцінка економічної ефективності реалізації оптимізаційних заходів

71

Метою оцінки ефективності є кількісне визначення фінансової вигоди КУП «ЕкоВін» від впровадження оптимальної структури рухомого складу (табл. 4.4), отриманої за критерієм мінімуму собівартості F_m . В основі розрахунку використані методики [4, 10, 24, 32].

4.4.1 Розрахунок змін постійних витрат

Загальні витрати на перевезення ТПВ (загальні, $\sum B_{ит}$) поділяються на постійні ($B_{пост}$) та змінні ($B_{змін}$). Оптимізація структури основного парку (з 23 до 21 од.) призводить до скорочення загальної кількості рухомого складу на підприємстві з 26 до 24 од.

Таблиця 4.5 – Узгодження кількості рухомого складу для економічного розрахунку

Параметр	Початковий стан	Оптимальний стан	Різниця
Основний парк (АТЗ, табл. 4.4)	23 од.	21 од.	- 2 од.
Загальний рухомий склад (табл. 1.1)	26 од.	24 од.	- 2 од.
Пояснення:	23 осн. + 3 допоміжні (N_5, N_6)	21 осн. + 3 допоміжні	

Зміна структури парку (зменшення з 26 до 21 од.) впливає на постійні витрати за формулою:

$$\sum B_{ит} = B_{пост} + B_{змін}, \quad (4.11)$$

Постійні витрати, які щорічно несе КУП «ЕкоВін» транспортних засобів, визначаються сумою таких статей:

$$B_{\text{влас}} = A_{\text{вир}} + B_{\text{заг.госп}} + T_{\text{п}} + B_{\text{стр}} + B_{\text{тех.ог}} + \Pi_{\text{м}} \quad (4.12)$$

1. Амортизаційні відрахування ($A_{\text{вир}}$)

Річна сума амортизаційних відрахувань розраховується з урахуванням заміни застарілої техніки N_2 на нові N_1 та N_3 .

$$A_{\text{вир}} = \sum_i B_{\text{влас},i} \cdot \frac{K_{\text{мис}}}{T_{\text{вик}}} \cdot A_{\text{вт},i} \quad (4.13)$$

Вихідний парк (26 од.): $A_{\text{вир}}^{\text{вих}} \approx 18\,200\,000$ грн.

Скоригований парк (24 од.): $A_{\text{вир}}^{\text{скор}} \approx 17\,800\,000$ грн.

2. Транспортний податок ($T_{\text{п}}$) та інші фіксовані витрати

Розрахунок транспортного податку ($T_{\text{п}}$), витрат на страхування ($B_{\text{стр}}$), технічний огляд ($B_{\text{тех.ог}}$) та податку на майно ($\Pi_{\text{м}}$) проводиться пропорційно зміні кількості та типу рухомого складу.

$$T_{\text{п}} = \sum_i N_i \cdot C_{\text{тп}} \cdot A_{\text{вт},i} \quad (4.14)$$

Сумарні витрати на $T_{\text{п}}^{\text{вих}}$, $B_{\text{стр}}^{\text{вих}}$, $B_{\text{тех.ог}}^{\text{вих}}$, $\Pi_{\text{м}}^{\text{вих}}$ для 26 од. $\approx 2\,950\,000$ грн.

Сумарні витрати на $T_{\text{п}}^{\text{скор}}$, $B_{\text{стр}}^{\text{скор}}$, $B_{\text{тех.ог}}^{\text{скор}}$, $\Pi_{\text{м}}^{\text{скор}}$ для 24 од. $\approx 2\,862\,000$ грн.

3. Загальногосподарські (накладні) витрати ($B_{\text{заг.госп}}$)

Розраховуються за питомими річними витратами ($B_{\text{вт.тп}} = 510\,500$ грн.) на одиницю рухомого складу:

$$B_{\text{заг.госп}} = B_{\text{вт.тп}} \cdot A_{\text{вт}}, \quad (4.15)$$

Вихідний парк (26 од.): $B_{\text{заг.госп}}^{\text{вих}} = 510\,500 \cdot 26 = 13\,273\,000$ грн.

Скоригований парк (24 од.): $B_{\text{заг.госп}}^{\text{скор}} = 510\,500 \cdot 26 = 12\,252\,000$ грн.

4. Результати розрахунку постійних витрат.

73

Зведемо результати розрахунків постійних витрат у таблиці 4.5.

Таблиця 4.6 – Зведена таблиця постійних витрат КУП «ЕкоВін»

Стаття витрат	Вихідний парк (26 од.), (грн)	Скоригований парк (24 од.), (грн)	Різниця (ΔB), (грн)
Амортизація ($A_{вил}$)	17 800 000	18 200 000	-400 000
Транспортний податок та ін. фікс.	2 950 000	2 862 000	88 000
Загальногосп. витрати ($B_{заг.госп}$)	13 273 000	12 252 000	1 021 000
Сумарна $\sum B_{пост}$	34 023 000	33 314 000	709 000

Економія на постійних витратах:

$$\Delta B_{пост} = 34\,023\,000 - 33\,314\,000 = 709\,000 \text{ грн. / рік}$$

4.4.2 Розрахунок змін змінних витрат

Змінні витрати ($B_{змін}$) визначаються інтенсивністю експлуатації ефективніших груп (N_1 та N_2).

1. Фонд заробітної плати водіїв та вантажників ($ЗП_n$)

$$ЗП_n = \sum_i (C_{окл} + C_{искл}) \cdot n_{конт} \cdot n_{вик}, \quad (4.16)$$

Вихідний парк (26 од.): $ЗП_n^{max} \approx 32\,500\,000$ грн.

Скоригований парк (24 од.): $ЗП_n^{кор} \approx 28\,000\,000$ грн.

$$\Delta ЗП_n = 4\,500\,000 \text{ грн.}$$

2. Відрахування на соціальний податок (ССП)

При $\Pi_{\text{соц}} = 30,7\%$ від ФЗП.

$$B_{\text{соц}} = \text{ФЗП}_{\text{гр}} \cdot \frac{\Pi_{\text{соц}}}{100}, \quad (4.17)$$

Вихідний парк (26 од.): $B_{\text{соц}}^{\text{вих}} = 32\,500\,000 \cdot 0,307 = 9\,977\,500$ грн.

Скоригований парк (24 од.): $B_{\text{соц}}^{\text{скор}} = 28\,000\,000 \cdot 0,307 = 8\,596\,000$ грн.

$$\Delta B_{\text{соц}} = 1\,381\,500 \text{ грн.}$$

3. Витрати на паливо ($Z_{\text{пал}}$)

Розрахунок загальної витрати палива ($Q_{\text{пал}}$) здійснюється на основі норми H_S , пробігу S та поправочного коефіцієнта D (23,5%). Ефективна техніка забезпечує значне зниження витрат.

$$Q_{\text{пал}} = 360 \cdot (0,01 \cdot H_S \cdot S + 0,25 \cdot H_S \cdot K_{\text{зуп}} \cdot t_{\text{зуп}}) \cdot (1 + 0,01 \cdot D), \quad (4.18)$$

Вихідний парк (26 од.): $Q_{\text{вих}} \approx 600\,000$ л. $\rightarrow Z_{\text{пал}}^{\text{вих}} \approx 21\,850\,000$ грн.

Скоригований парк (24 од.): $Q_{\text{скор}} \approx 480\,000$ л. $\rightarrow Z_{\text{пал}}^{\text{скор}} \approx 17\,480\,000$ грн.

$$\Delta Z_{\text{пал}} = 4\,370\,000 \text{ грн.}$$

4. Витрати на мастильні матеріали, шини та ТО / ремонт

Витрати на мастильні матеріали ($Z_{\text{мм}}$), відновлення шин ($Z_{\text{вш}}$) та ТО / поточний ремонт ($Z_{\text{топр}}$) розраховуються на основі загального пробігу та нормативів.

Витрати на ці статті розраховуються на основі загального пробігу рухомого складу та діючих нормативів.

4.1. Витрати на мастильні матеріали ($Z_{\text{мм}}$)

Загальні витрати на мастильні матеріали визначаються на основі загальної витрати палива ($Q_{\text{пал}}$), ціни одиниці мастильного матеріалу ($C_{\text{ол}}$) та коефіцієнта

транспортно-заготівельних витрат ($K_{тр}$);

75

$$Z_{MM,i} = \sum_i (Q_{MM,i} \cdot C_{од.к} \cdot K_{тр}), \quad (4.19)$$

де $Q_{MM,i}$ – річна витрата i – го виду мастильного матеріалу.

4.2. Витрати на відновлення зносу та ремонт шин ($Z_{врш}$)

Ці витрати розраховуються на основі загального пробігу ($L_{заг}$), ціни одного комплекту шин (C_k) та норми на відновлення зносу ($H_{ш}$):

$$Z_{врш} = \frac{C_k \cdot H_{ш} \cdot n_{ш} \cdot L_{заг}}{100 \cdot 1000}, \quad (4.20)$$

де $n_{ш}$ – кількість шин на автомобілі.

4.3. Витрати на ТО та поточний ремонт ($Z_{топр}$)

Визначаються на основі нормативів витрат на 1000 км пробігу ($H_{топр}$) з урахуванням коригуючих коефіцієнтів (K_1, K_2, \dots):

$$Z_{топр} = \frac{H_{топр,i} \cdot L_{заг} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4}{1000}, \quad (4.21)$$

Сумарні інші змінні витрати (Мастила, Шини, ТО / Ремонт):

Вихідний парк (26 од.): $\approx 8\,100\,000$ грн.

Скоригований парк (24 од.): $\approx 7\,500\,000$ грн.

Δ Інші змінні = 600 000 грн.

4.4.3 Оцінка загального економічного ефекту

Для визначення сукупного річного економічного ефекту, отриманого внаслідок оптимізації, а також для розрахунку нової мінімальної собівартості перевезень, зведемо всі отримані показники постійних і змінних витрат до та після впровадження заходів у таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Зведена таблиця змінних витрат та економічного ефекту

Стаття витрат	Σ Вихідний парк (26 од.) (грн)	Σ Скоригований парк (24 од.) (грн)	Річна економія (Δ) (грн)
1	2	3	4
Фонд ЗП ($B_{зп}$)	32 500 000	28 000 000	4 500 000
ЄСП ($B_{єсп}$)	9 977 500	8 596 000	1 381 500
Паливо ($z_{пал}$)	21 850 000	17 480 000	4 370 000
Інші змінні (Мастила, Шини, ТО / ПР)	8 100 000	7 500 000	600 000
Всього змінні $\sum B_{змн}$	72 427 500	61 576 000	10 851 500
Всього постійні $\sum B_{пост}$	34 023 000	33 314 000	709 000
Всього загальні $\sum B_{заг}$	106 450 500	94 890 000	Σ11 560 500

1. Загальний річний економічний ефект (E):

$$E = \Delta B_{пост} + \Delta B_{змн} = 709\,000 + 10\,851\,500 = 11\,560\,500 \text{ грн. / рік} \quad (4.22)$$

2. Розрахунок мінімальної собівартості ($F_n^{своп}$):

Визначимо нову собівартість вивезення 1 м^3 ТПВ, при плановому річному обсязі перевезень $Q_{рлч} = 650\,000 \text{ м}^3$:

$$F_n^{своп} = \frac{\sum B_{заг}^{своп}}{Q_{рлч}} = \frac{94\,890\,000}{650\,000} \approx 145,98 \text{ грн. / м}^3 \quad (4.23)$$

Впровадження оптимальної структури парку дозволяє знизити собівартість F_n із $180,5 \text{ грн / м}^3$ (середня вихідна) до $145,98 \text{ грн / м}^3$, забезпечуючи загальний річний економічний ефект $11,56 \text{ млн. грн.}$

Проведене експериментальне дослідження на базі КУП «ЕкоВін» повністю підтвердило адекватність розробленої математичної моделі та методики оптимізації. За результатами розрахунків емпірично встановлено кількісний взаємозв'язок між структурою рухомого складу та собівартістю вивезення ТПВ, що дозволило сформуванню раціональної структури парку та розрахувати економічний ефект від її впровадження.

На етапі аналізу ефективності експлуатації (п. 4.1) рухомого складу було встановлено:

- Вихідний загальний рухомий склад КУП «ЕкоВін» становить 26 одиниць, з яких 23 одиниці – основний парк, згрупований у чотири групи ($N_1 - N_4$).
- Динаміка собівартості (F_n) протягом досліджуваного періоду (2023 – 2025 рр.) демонструє значну варіацію, що обґрунтовує необхідність множинного регресійного аналізу для кількісної оцінки впливу факторів N_i та K_j .
- Сформовано зведену матрицю вихідних даних (12 квартальних спостережень) для регресійного моделювання, що включає як незалежні змінні кількість АТЗ ($N_1 - N_4$) та контейнерів (K_1, K_2).

Методом найменших квадратів (МНК) було отримано емпіричне рівняння множинної регресії (4.3), що описує залежність собівартості F_n від структури парку.

- Оцінка значущості (t – критерій): Підтверджено статистичну значущість коефіцієнтів груп N_1 ($\alpha_1 = -2,85$) та N_4 ($\alpha_4 = -3,40$), які є найбільш економічно ефективними. Також підтверджено негативний вплив групи N_2 ($\alpha_2 = +1,55$) на зростання собівартості.
- Оцінка адекватності (F – критерій): Коефіцієнт детермінації R^2 склав 0,88, що свідчить про високу якість моделі, оскільки 88% варіації собівартості пояснюється зміною структури парку. Модель визнана статистично адекватною для подальшої оптимізації.

На основі отриманого рівняння чутливості та врахування виробничих обмежень була сформована оптимальна структура парку:

- Обґрунтовано списання / заміну: 7 одиниць неефективної групи N_2 (МАЗ) з найбільшим позитивним коефіцієнтом чутливості (+1,55). Обсяг, що вивільняється, становить 140 000 м³ на рік.

- Визначено заміщення: Для покриття цього обсягу та мінімізації F_n було визначено необхідність закупівлі 5 одиниць нової, ефективної техніки: 2 од. N_1 (Ford Cargo) та 3 од. N_4 (FOTON).

- Фінальний результат оптимізації: Загальний основний парк зменшується з 23 до 21 одиниці. Це призводить до зменшення загального рухомого складу підприємства з 26 до 24 одиниць.

Економічний розрахунок підтвердив фінансову доцільність впровадження оптимізаційних заходів:

- Економія на постійних витратах: Зменшення загального парку з 26 до 24 одиниць забезпечило річну економію постійних витрат ($\Delta B_{\text{пост}}$) у розмірі 709 000 грн.

- Економія на змінних витратах: Найбільш суттєва економія досягнута за рахунок зниження витрат на паливо та зменшення фонду заробітної плати (внаслідок скорочення штату водіїв): $\Delta B_{\text{змн}}$ склала 10 851 500 грн.

- Сукупний річний економічний ефект: Загальна річна економія від оптимізації становить 11 560 500 грн.

- Зниження собівартості: Впровадження оптимальної структури дозволяє знизити собівартість вивезення м³ ТПВ (F_n) з вихідних 180,5 грн / м³ до 145,98 грн / м³, досягаючи таким чином критерію мінімуму собівартості.

Магістерська робота була присвячена розробці та практична реалізація методики оптимізації структури парку АТЗ КУП «ЕкоВін» за критерієм мінімуму собівартості, в результаті чого отримано наступні ключові теоретичні та практичні результати.

Проведений аналіз функціонування КУП «ЕкоВін» встановив, що підприємство працює в умовах високого навантаження (3-тя категорія експлуатації) та стикається з проблемами морального і фізичного старіння ВТБ. Виявлено, що наявність застарілої техніки (група N_2) та існуюча одноетапна система збору ТПВ підвищують частку холостого пробігу і, як наслідок, зрощують собівартість. Це підтвердило актуальність дослідження, яке вимагає комплексної оцінки взаємозв'язку між параметрами парку та мінливістю зовнішнього середовища.

Критичний огляд наукових підходів показав, що традиційні методики не враховують комплексно динамічних факторів. Обґрунтовано необхідність застосування програмно-цільових методів на основі системного аналізу та теорії чутливості. Це дозволяє перейти від простого обліку експлуатаційних витрат до цілеспрямованого формування програми дій, що активно впливає на процес управління та підвищує конкурентоспроможність підприємства.

На основі принципів програмно-цільового планування (ПЦП) була розроблена математична модель функціонування системи збору та вивезення ТПВ. Модель обрана як цільова функція – мінімізація питомої вартості вивезення m^3 ТПВ ($F \rightarrow \min$). Модель вперше комплексно враховує експлуатаційні характеристики АТЗ, особливості контейнерного парку (K_j) та зовнішній параметр – обсяг перевезень (Q).

Враховуючи велику розмірність вхідних даних, для розв'язання задачі оптимізації обґрунтовано застосування методу оптимізації за чутливістю. Розроблена функція чутливості, побудована на основі зведених витрат на АТЗ та контейнери, дозволяє визначити вагомість (чутливість) кожної групи рухомого

складу до загальних витрат. Це є ключовим теоретичним кроком, що спрощує перехід до кінцевого формування раціональної структури парку.

Розроблена двоетапна структурна схема експериментального дослідження, що включає збір та обробку часових рядів (12 кварталних спостережень) собівартості та структури парку для формування впорядкованої матриці експериментальних даних (табл. 3.1). Як основний інструмент емпіричного встановлення взаємозв'язку обрано метод множинного регресійного аналізу, застосування якого, з перевіркою за t – критерієм Стьюдента та F – критерієм Фішера, забезпечує наукову достовірність отриманих функціональних залежностей.

Для практичної мінімізації цільової функції ($F \rightarrow \min$) розроблено алгоритм формування раціональної структури парку (рис. 3.3, 3.4), що поєднує положення теорії чутливості та класичні методи лінійного програмування («Симплекс-метод»). Алгоритм послідовно виконує початкове коригування, визначає обсяг ТПВ, що вивільняється, встановлює необхідну кількість ефективних груп та виконує фінальну оцінку вартості заходів.

Експериментальне дослідження на базі КУП «ЕкоВін» підтвердило адекватність моделі: коефіцієнт детермінації R^2 склав 0,88, довівши, що 88% варіації собівартості пояснюється зміною структури парку. Отримано емпіричне рівняння регресії (4.3), яке чітко встановило, що групи N_1 та N_4 мають статистично значущі від'ємні коефіцієнти (до -3,40), тоді як група N_2 має значущий позитивний коефіцієнт (+1,55).

На основі розрахунків сформовано оптимальну структуру парку, що передбачає списання 7 неефективних одиниць (N_2) та закупівлю 5 одиниць нової техніки ($2N_1$ та $3N_4$). Ця оптимізація зменшує загальний рухомий склад підприємства з 26 до 24 одиниць, при цьому забезпечуючи покриття того ж обсягу робіт. Сукупний річний економічний ефект від впровадження заходів склав 11 560 500 грн.. Завдяки цьому собівартість вивезення м³ ТПВ знижується з 180,5 грн/м³ до 145,98 грн/м³, повністю досягаючи критерію мінімуму собівартості.

1. Абдуллаєв І. Н., Червоний М. А., Митко М. В. Аналіз конкурентоспроможності транспортно – логістичних послуг автоперевізників на ринку для агропромислових комплексів. Матеріали Міжнародна науково-практична інтернет-конференція студентів, аспірантів та молодих науковців «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2026)». Вінниця, ВНТУ, 2025 URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2026/paper/view/26712>.
2. Бідняк, М. Н., Біліченко, В. В. Виробничі системи на транспорті: теорія і практика: монографія. Вінниця, 2006. — 176 с.
3. Босняк М. Г. Вантажні автомобільні перевезення: [навч. посібник для студентів спеціальності 7.100403 «Організація перевезень і управління на транспорті (автомобільний)» М. Г. Босняк. — К.: Видавничий Дім «Слово», 2010.- 408 с.
4. Біліченко В. В. Стратегії технічного розвитку автотранспортних підприємств [Електронний ресурс] : монографія / В. В. Біліченко, Є. В. Смирнов. – Електронні текстові дані (1 файл (PDF) : 7,57 Мбайт). – Вінниця : ВНТУ, 2019. – 144 с. – Режим доступу: <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/book/534>. (6,5/3,3 авт. арк.).
5. Вовк Ю.Я., Вовк І.П. Основи теорії транспортних процесів і систем. Навчальний посібник (курс лекцій). – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2021. – 104 с.
6. Вітлінський В.В. Економіко-математичні методи та моделі: оптимізація : навч. посібник [Електронний ресурс] / Вітлінський В. В., Терещенко Т. О., Савіна С. С. — К. : КНЕУ, 2016. — 303 с.
7. Взаємодія видів транспорту: навчальний посібник / М. І. Березовий, Т. В. Болвановська, В. В. Малашкін [та ін.] ; Український державний університет науки і технологій. – Дніпро, 2023. – 204 с.
8. Волобуєва Т. В. Взаємодія видів транспорту : методичні вказівки до

виконання курсової роботи для студентів, що навчаються за освітньо-професійною програмою «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)» підготовки бакалаврів із галузі знань 27 – «Транспорт» за спеціальністю 275 – «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)» / Т. В. Волобуєва, В. М. Сирота ; Одеська державна академія будівництва та архітектури. – Одеса : ОДАБА, 2021. – 69 с.

9. Дмитриченко М. Ф. Міжнародні перевезення: навч. Посібник / М. Ф. Дмитриченко, І. А. Вікович, І. Л. Самсін, Р. В. Зінько. - Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. - 308 с.

10. Дмитрієв І.А. Економіка підприємств автомобільного транспорту: навчальний посібник для самостійної роботи та поточного контролю знань студентів закладів вищої освіти / І.А. Дмитрієв, О.С. Іванілов, І.Ю. Шевченко., І.М. Кирчата – Х.: ФОП Бровін О.В., 2018. – 308 с.

11. Докуніхін В. З., Куцевська Н. Ф., Малишев В. В. Правила перевезення вантажів автомобільним транспортом. К.: Університет "Україна", 2021. - 208 с.

12. Застосування моделей і методів ергономіки і логістики в транспортних системах: монографія / [В. К. Доля, Ю. О. Давідіч, О. О. Лобашов та ін.]; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків: Видавництво «Лідер», 2016.- 332 с.

13. Закон України "Про автомобільний транспорт" із змінами і доповненнями, внесеними Законом України від 23 лютого 2006 року № 3492-IV.

14. Кашканов, В. А. Організація автомобільних перевезень: навчальний посібник / Кашканов В. А., Кашканов А. А., Варчук В. В. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 139 с.

15. Кислий В.М., Біловодська О.А., Олефіренко О.М., Соляник О.М. Л 69 Логістика: Теорія та практика: Навч. посіб. – К: Центр учбової літератури, 2010. – 360 с.

16. Крикавський, Є. В. Логістика та управління ланцюгами поставок [Електронний ресурс] : підручник / Є. В. Крикавський, О. А. Похильченко, М. Фертч. – Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2020. – 848 с.

17. Котлубай Олександр Михайлович. Теорія і методологія розвитку транспортно-технологічних систем перевезення вантажів [Текст] : наук. моногр. / Котлубай О. М. Нац. акад. наук України, Ін-т пробл. ринку та екон.-екол. дослідж. - О.: ІПРЕЕД НАН України, 2012. - 200 с.
18. Костюченко Л. М. Автомобільні перевезення у міжнародному сполученні: / Л. М. Костюченко, М. Р. Напетян. - К.: ВД «Слово», 2007. - 656 с.
19. Крячко К. В. Взаємодія видів транспорту : конспект лекцій. Ч. 1. / К. В. Крячко, В. В. Кулешов, Т. Т. Берестова. - Харків : УкрДАЗТ, 2010. - 100 с.
20. Кунда Н. Т. Конвенції та угоди у сфері міжнародних автомобільних перевезень навч. посібн. для студентів вищ. навч. закладів, які навч. за напрямком «Транспортні технології»/ Н. Т. Кунда, Н. М. Дашенко — К.: ВД «Слово», 2010. - 141 с.
21. Методичні вказівки до виконання магістерських кваліфікаційних робіт для студентів спеціальності 275 - «Транспортні технології (за видами) спеціалізації 275.03 — «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)» / Уклад. В.В. Біліченко, С.В. Цимбал, В.П. Кужель. — Вінниця: ВНТУ, 2023. - 83 с.
22. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Взаємодія видів транспорту» для студентів спеціальності 275 «Транспортні технології (за видами)» за спеціальністю 275.03 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)». Частина 1, 2 [Електронний ресурс] / уклад. М. В. Митко – Вінниця : ВНТУ, 2024. – (PDF, 43, 34 с.).
23. Методичні вказівки до практичних занять з курсу «Взаємодія видів транспорту» для студентів напряму підготовки з галузі 27 «Транспорт», спеціальності 275 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)» / розроб. В. В. Аулін, С. В. Лисенко, А. В. Гриньків, Д. В. Голуб ; за заг. ред. д-ра техн. наук В. В. Ауліна. – Кропивницький : ЦНТУ, 2019. – 47 с.
24. Митко М. В. Підвищення ефективності роботи автотранспортних підприємств удосконаленням структури виробничих підрозділів: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20 / Митко Микола Васильович. – К., 2019. – 251 с.

25. Митко, М., Бурлака, С., & Ярощук, Р. (2025). Аналіз технічних і технологічних форм взаємодії різних видів транспорту. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 349(2), с. 77-82.
26. Управління твердими побутовими відходами в умовах реформування місцевого самоврядування та розвитку міжмуніципального співробітництва: Навчально-практичний посібник / За заг. редакцією Толкованова В.В., Ілляш О.Е., Журавля Т.В., Голика Ю.С. – Київ, 2018. – 393 с.
27. Саук А. Управління твердими побутовими відходами. Успішні кейси в Україні : посібник. Київ : Проект ПРООН, 2021. 67 с. URL: <https://waste.in.ua/archive/monograph/vidhody.pdf> (дата звернення: 15.11.2025).
28. Оліскевич М. Організація автомобільних перевезень. Частина І. Вантажні перевезення. Навчальний посібник у двох частинах. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2017. - 336 с.
29. Організація виконання вантажних і складських операцій : навч. посіб. / О. В. Лаврухін, Д. В. Ломотько, Є. С. Альошинський [та ін.]; за заг. ред. С. В. Панченка. – Харків : УкрДУЗТ, 2015. – 181 с.
30. Організація та логістика перевезень : підручник / М. С. Ізтелеуова, І. В. Грицук, П. М. Арімбекова, Л. А. Тарандушка. Херсон : Олді-плюс, 2021. 264 с. (Електронний ресурс).
31. Планування міжмуніципальної системи інтегрованого поводження з твердими побутовими відходами [методичний посібник] / [А. М. Артов, В. Є. Сороковський] ; за заг. ред. В. Є. Сороковського ; Швейцарсько-український проект «Підтримка децентралізації в Україні» DESPRO. – К., 2016. – 103 с.
32. Перебийніс В.І., Болдирева Л.М., Перебийніс О.В. Транспортний менеджмент і транспортний маркетинг виробничо-комерційної діяльності: Монографія. Полтава: РВВ ПУСКУ, 2016. 201 с.
33. Практичні аспекти управління відходами в Україні. Посібник / Барінов М.О., Олексієвець І.Л., Родна Д.В., Журавель Т.В., Коломієць С.В., Козлова І. А., Пархоменко Г.П. – К.: «Поліграф плюс», 2021. – 118 с.

34. Прокудін Г.С. Моделі і методи оптимізації перевезень у транспортних системах / Г.С. Прокудін. – К.: НТУ, 2006. - 224 с.
35. С. Ю. Форнальчик. Моделювання транспортних потоків. Навчальний посібник / С. Ю. Форнальчик, В. В. Гілевич, І. А. Могіла. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2020, 216 с.
36. Яцківський Л.Ю., Зеркалов Д.В. Загальний курс транспорту: Навчальний посібник. Книга Київ, 2-е вид. Центр навчальної літератури, 2016. 608 с.
37. [vmr.gov.ua/komunalne-unitarne-pidpryemstvo-ekovin](https://www.vmr.gov.ua/komunalne-unitarne-pidpryemstvo-ekovin) [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – URL: <https://www.vmr.gov.ua/komunalne-unitarne-pidpryemstvo-ekovin> (дата звернення 02.10.2025).
38. youcontrol.com.ua [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – URL: https://youcontrol.com.ua/catalog/company_details/33810743/ (дат. звернен. 10.10.2025).
39. clarity-project.info/tenderer [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – URL: <https://clarity-project.info/tenderer/33810743>(дат. звернен. 15.10.2025).

Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

до магістерської кваліфікаційної роботи
зі спеціальності 275 – «Транспортні технології»
Освітньо-професійна програма – «Транспортні технології (на автомобільному
транспорті)»

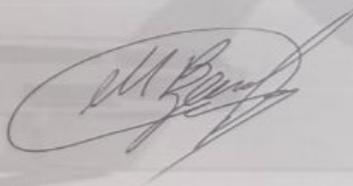
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ
ТА КОНТЕЙНЕРНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В СИСТЕМІ ЗБОРУ ТА
ПЕРЕВЕЗЕННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ В УМОВАХ
КОМУНАЛЬНОГО УНІТАРНОГО ПІДПРИЄМСТВА «ЕКОВІН»
МІСТО ВІННИЦЯ

Розробив студент гр. ІТТ-24м



Червоний М.А.

Керівник роботи: к.т.н., доцент



Митко М.В.

Мета дослідження. Метою магістерської кваліфікаційної роботи є на основі теоретичних та експериментальних досліджень розробити методику оптимізації структури рухомого складу і контейнерного забезпечення комунального унітарного підприємства «ЕкоВін», та емпірично обґрунтувати її ефективність за критерієм мінімуму собівартості вивезення 1 м³ твердих побутових відходів (ТПВ).

Завдання дослідження:

1. Провести аналіз і критично оцінити існуючі методику формування структури парку АТЗ та визначити чинники, що найбільше впливають на експлуатаційні витрати спеціалізованих автотранспортних підприємств;
 2. Обґрунтувати теоретичні положення, розробити математичну модель та визначити цільову функцію для оптимізації структури парку АТЗ та контейнерного забезпечення за критерієм мінімуму собівартості;
 3. Розробити алгоритм та методику проведення експериментального дослідження, спрямовані на емпіричне встановлення кількісного взаємозв'язку між структурою парку (кількістю одиниць за групами) та собівартістю транспортної операції (регресійний аналіз);
 4. На основі емпіричного рівняння регресії сформуувати раціональну (оптимальну) структуру рухомого складу КУП «ЕкоВін», яка відповідає мінімальній собівартості послуг при збереженні планового обсягу перевезень;
 5. Здійснити економічну оцінку отриманого ефекту від впровадження оптимальної структури парку та обґрунтувати фінансову доцільність запропонованих оптимізаційних заходів.
- Об'єкт дослідження** – є процес функціонування системи збору, транспортування та поводження з твердими побутовими відходами комунального унітарного підприємства «ЕкоВін», що розглядається як єдиний виробничо-технологічний комплекс.
- Предмет дослідження** – це взаємозв'язок між структурними параметрами рухомого складу, кількісним і якісним складом груп АТЗ та контейнерного забезпечення, і показниками економічної та експлуатаційної ефективності роботи парку, зокрема, собівартістю вивезення 1 м³ ТПВ (F_n).

Комунальне унітарне підприємство «ЕкоВін» забезпечує збір та вивезення ТПВ у місті Вінниця, адміністрація розташована за адресою: 21050, м. Вінниця, вул. Соборна, 59.

Виробнича база підприємства знаходиться у мікрорайоні Сабарів (вул. Сабарівське шосе, 7), займаючи загальну площу земельної ділянки 2,866 га. Розміщення виробничої бази КУП «ЕкоВін» наведено на рисунку А.1.



Рисунок А.1 – Місце розташування комунально унітарного підприємства «ЕкоВін» міста Вінниця

Таблиця А.1 – Структура та характеристика спеціалізованого рухомого складу КУП «ЕкоВін»

№	Модель/Тип Сміттєвоза	Призначення	Об'єм Кузова V_k, m^3	Кількість, од. (орієнт. на 2024 р.)	Середньодобовий пробіг $L_{доб}$, км (орієнт.)
1	Ford Cargo 1833D (Е-5/Е-6)	Основний парк (Збір ТПВ)	18	10	205
2	МАЗ-533702 (з ущільненням)	Збір ТПВ (Допоміжні маршрути)	17	7	200
3	IVECO Eurocargo (малий, маневрений)	Збір ТПВ (Вузькі ділянки, Центр)	10	4	150
4	FOTON KGB-80 (малий/середній)	Збір ТПВ	16	2	180
5	Спецтехніка Мультиліфт	Вивіз ВГВ та будівельних відходів	8 (контейнер)	3	190
6	Резервний та Допоміжний парк (включає ЗИЛ-432932)	Технічна допомога/ Резерв	Різний	3	100
Всього:				26	



Рисунок А.2 – Рухомий склад транспортних засобів (сміттєвозів) КУП «ЕкоВін» місто Вінниця

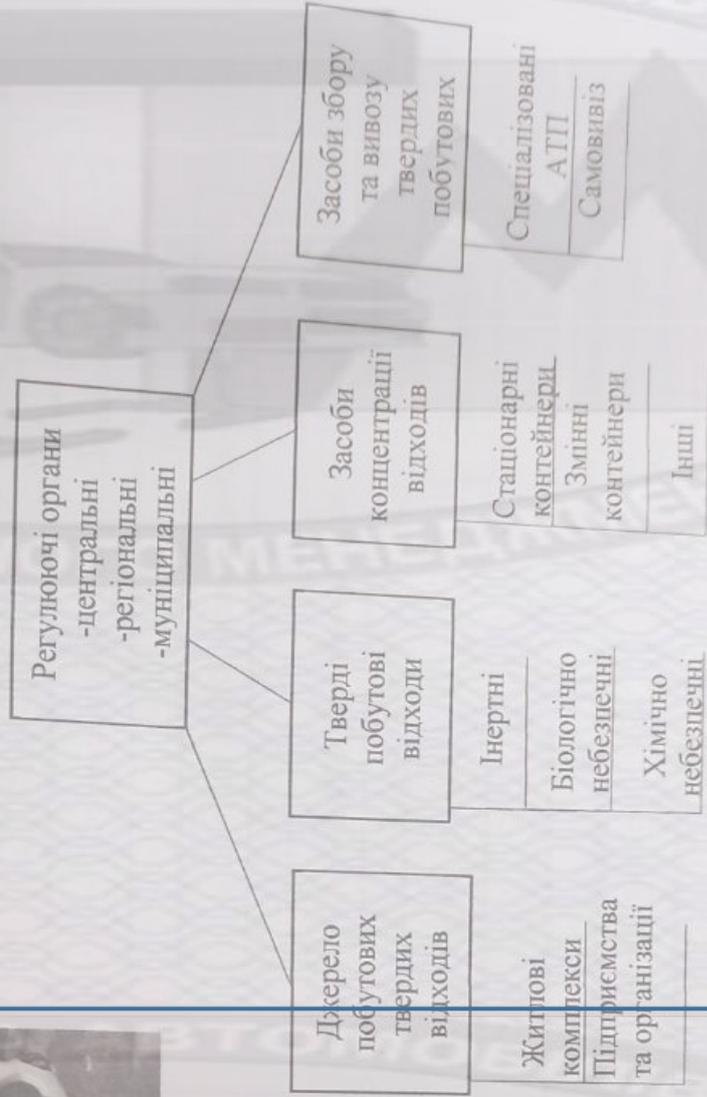


Рисунок А.3 – Система збору та вивезення твердих побутових відходів

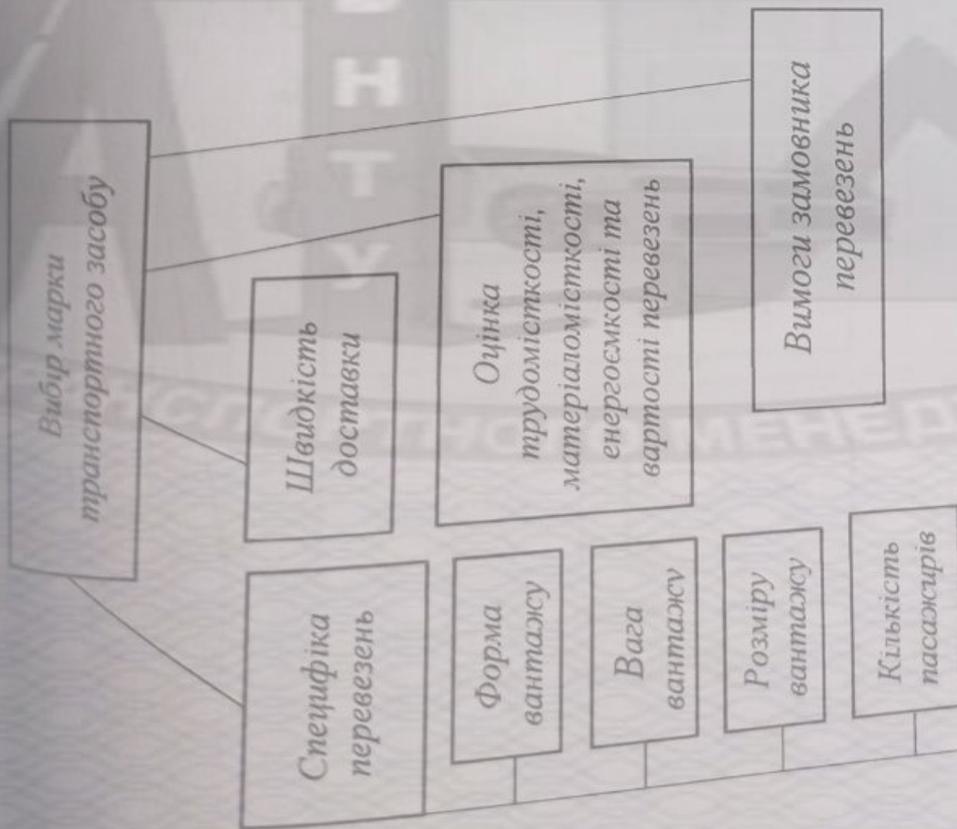


Рисунок А.4 – Фактори, що впливають на вибір марки транспортного засоби

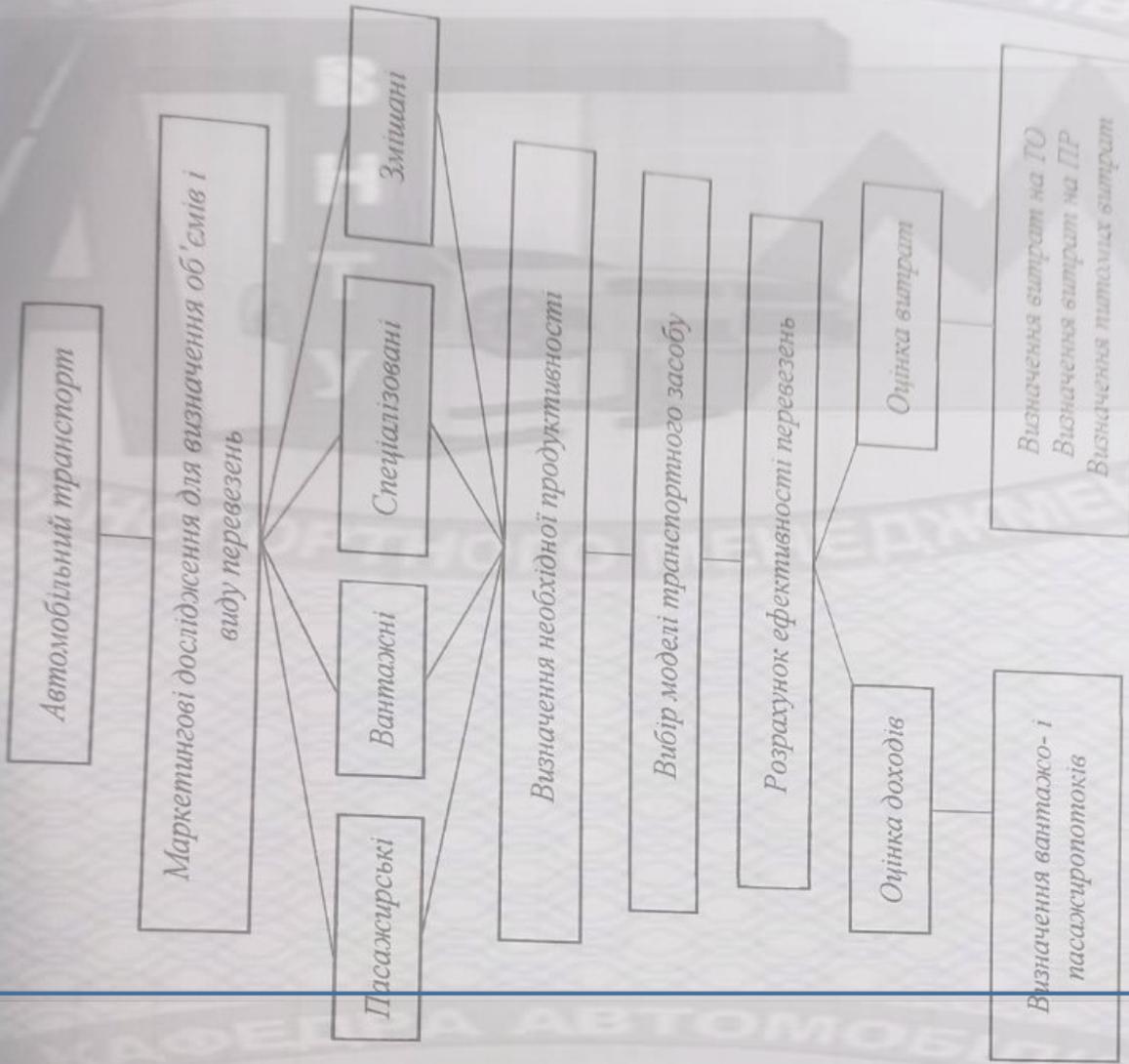


Рисунок А.5 – Модель вибору структури транспортних засобів

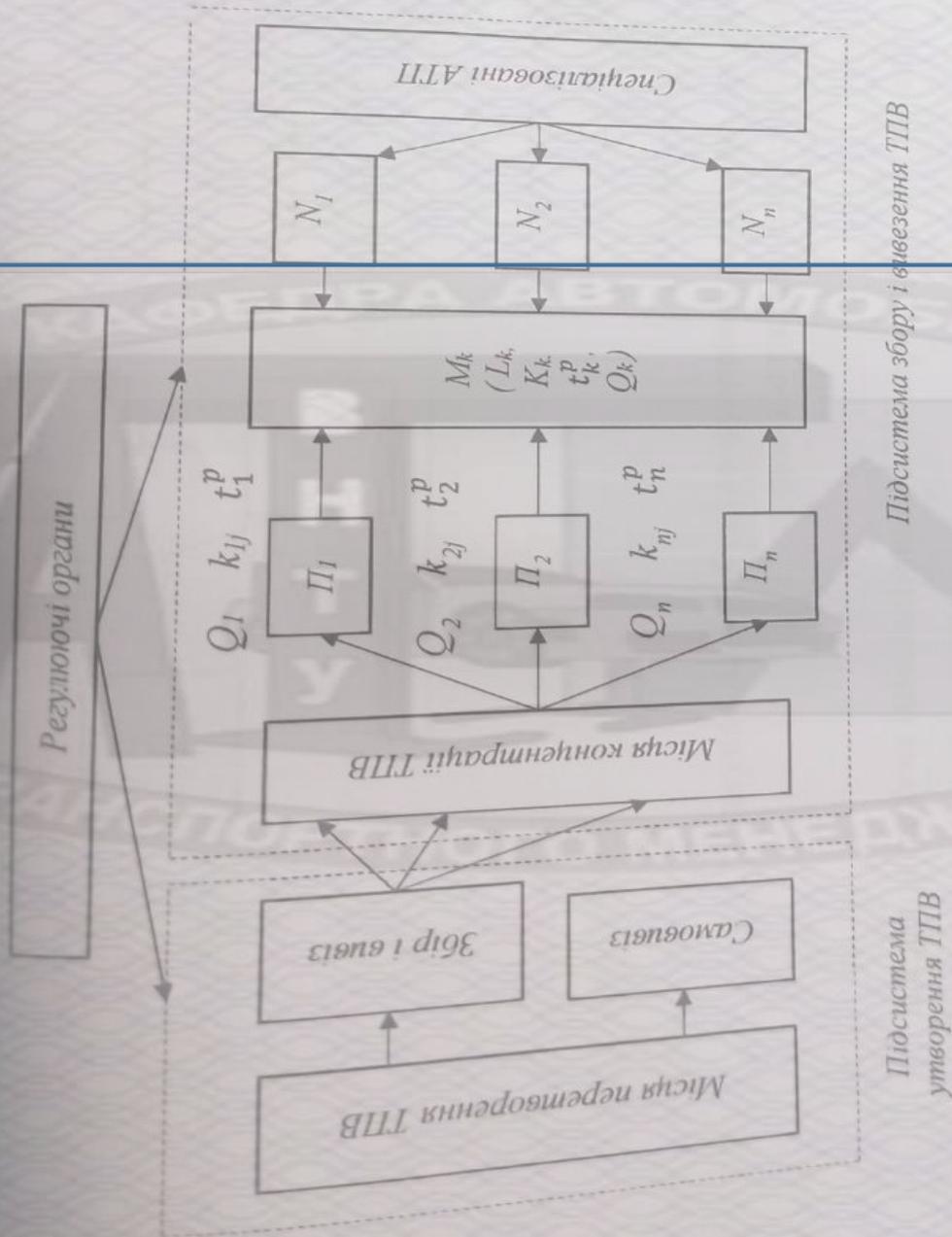


Схема відображає взаємозв'язок між пунктами концентрації та маршрутами:

- Q_n – обсяг ТПВ у n -му пункті концентрації.
- P_n – n -й пункт концентрації ТПВ.
- k_{nj} – кількість контейнерів j -го типу у n -му пункті.
- t_n^p – тривалість розвантаження контейнерів у n -му пункті.
- M_k – маршрут збору та вивезення ТПВ.
- L_k – протяжність k -го маршруту.
- K_k – кількість контейнерів на маршруті.
- t_k^p – тривалість розвантаження контейнерів на маршруті.
- Q_k – обсяг ТПВ, що вивозиться на k -му маршруті.
- N_j – кількість автомобілів k -го типу.

Рисунок А.6 – Схема системи збору та вивезення твердих побутових відходів (ТПВ)

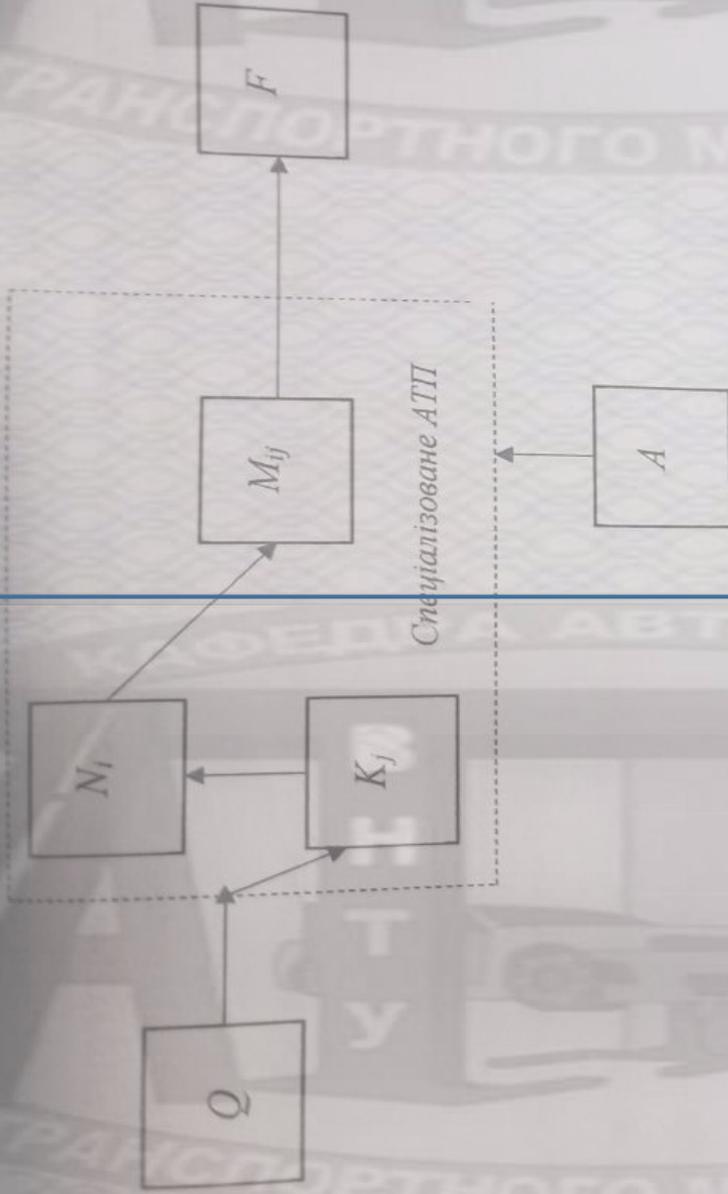


Рисунок А.7 – Об'єктно-функціональна схема для розробки математичної моделі функціонування спеціалізованого АТП

Складна система (спеціалізоване АТП) представлена взаємодією ключових елементів:

- Q – загальний обсяг ТПВ, т.
- N_i – число автотранспортних засобів i -го типу, од.
- K_j – число контейнерів j -го типу, од.
- M_{ij} – параметр маршруту збору та вивезення ТПВ при використанні i -х типів АТЗ та j -х типів контейнерів.
- F – собівартість 1 т·км, грн.
- A – експлуатаційні витрати, грн.

Математична модель: Цільова функція та обмеження

Встановити оптимальні структурні параметри N_i (кількість транспорту) та K_j (кількість контейнерів), мінімізуючи при цьому собівартість (F) та експлуатаційні витрати (A) при виконанні заданого обсягу робіт (Q).

1. Цільова функція (Мінімізація витрат). Основний критерій оптимізації:

$$F = f \cdot (N_i \cdot K_j) \rightarrow \min, \quad (A.1)$$

F – собівартість транспортування 1 м³ ТПВ;

N_i – число спеціалізованих автотранспортних засобів i -го типу, од.

K_j – число контейнерів j -го типу, од.

2. Обмеження за обсягом (Параметр Q). Параметром зовнішнього середовища, що аналізується, є обсяг твердих побутових відходів Q . Цей загальний обсяг можна представити як суму обсягів, зібраних на i -х маршрутах:

$$Q = \sum_{k=1}^m Q_k, \quad (A.2)$$

де: Q_k – обсяг перевезень на k -му маршруті;

m – кількість маршрутів.

Оптимальна структура рухомого складу формується на основі положень теорії чутливості через визначення вагомості коефіцієнтів рівняння регресії.

Деталізація цільової функції: Зведення витрат

Для розкриття та спрощення цільової функції F (формула А.1) усі експлуатаційні витрати зводяться до лінійної залежності від кількості одиниць рухомого складу та контейнерів.

1. Зведені витрати на рухомий склад (B_i).

Загальні витрати на експлуатацію i – і групи автомобілів (B_i) лінійно залежать від їхньої кількості N_i :

$$B_i = N_i \cdot a_i, \quad (A.3)$$

де a_i – зведені (наведені) витрати на один автомобіль i – і групи.

2. Зведені витрати на контейнери (B_{kj}).

Аналогічно, витрати на експлуатацію контейнерів j – і групи можна представити як:

$$B_{kj} = K_j \cdot b_j, \quad (A.4)$$

де b_j – зведені витрати на один контейнер j – і групи (приймається незмінним).

3. Формула питомих витрат (f_{ij}).

Таким чином, сумарні питомі витрати на збір та вивезення ТПВ, що враховують як парк АТЗ, так і контейнерний парк, можна представити як:

$$f_{ij} = \frac{B_i + B_{kj}}{Q}, \quad (A.5)$$

Цей вираз f_{ij} є основою для оптимізації структури парку (N_i, K_j) за чутливістю, мінімізуючи собівартість при заданому обсязі Q .

Формування масиву вихідних даних
-структура парку АТЗ по роках
-структура парку контейнерів по роках

Формування матриці даних:
Врахування взаємозв'язку кожного типу АТЗ
та контейнерів зі структурою витрат на
їхню експлуатацію

Приведення вихідних даних до базового періоду

Формування зведеної матриці вихідних
даних

Регресійний аналіз експериментальної
інформації

Оцінка похибки математичної моделі

Розробка рекомендацій по формуванню
оптимальної структури парку АТЗ та
контейнерів

Рисунок А.6 – Структурна схема загальної
методики проведення експериментального
дослідження

Вихідна експериментальна інформація має бути представлена у
формі, аналогічній таблиці А.2.

Таблиця А.2 – Фрагмент матриці вихідних даних

Фактор	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11
X1	3,752	3	16	27	1	11	9	2	27	9	14
X2	3,269	3	16	29	1	13	10	2	22	11	15
...
Xn	4,621	4	16	27	4	11	10	3	30	11	18

У цій формі:

- Y1 – Вартість одиниці транспортної операції (цільовий показник).
- Y2 ... Y11 – Групи транспортних засобів та контейнерів (варійовані параметри).
- X1 ... Xn – Період (роки, квартали).

Основна задача лінійного програмування (ЛП) має вигляд:

$$F = c_1 X_1 + c_2 X_2 + \dots + c_n X_n \rightarrow \max \quad (A.6)$$

6. *Головного транспортного задачу та кроки оптимізації ($F \rightarrow \min$) для перевезення твердих побутових відходів (ТПВ).*

Вихідні дані та мета:

- Відомі пункти збору та кількість ТПВ на них.
- Відомі тип і кількість транспортних засобів та їхні можливості.
- Необхідно перевезти ТПВ з пунктів збору на полігон побутових відходів.
- Відома вартість одиниці транспортної операції з кожного пункту.
- Мета: мінімізувати експлуатаційні витрати на перевезення.

2. **Визначено кроки алгоритму раціональної структури парку АТЗ та контейнерів:**

- **Початкове коригування структури:** На початковому етапі структура парку коригується шляхом видалення моделей груп N_2 та N_3 (імовірно, найменш ефективних).

- **Визначення обсягу ТПВ:** Визначається загальний обсяг ТПВ (Q), який необхідно вивезти.

- **Встановлення кількості:** Встановлюється кількість автомобілів і контейнерів тієї групи, яка максимально впливає на зменшення собівартості збору та вивезення 1 м^3 ТПВ (у даному випадку – група N_4).

- **Визначення та порівняння вартості:** Визначається вартість заходів щодо вдосконалення структури та порівнюється з обмеженнями моделі за вартістю.

- **Коригування та оцінка ефективності:** У разі задоволення обмежень коригується парк автомобілів і контейнерів, після чого проводиться оцінка ефективності впроваджених заходів.

Динаміка обсягу вантажу 2023 – 2025 рр., де наведено узагальнені графіки зміни кількості транспортних засобів і контейнерів у кварталному розрізі.

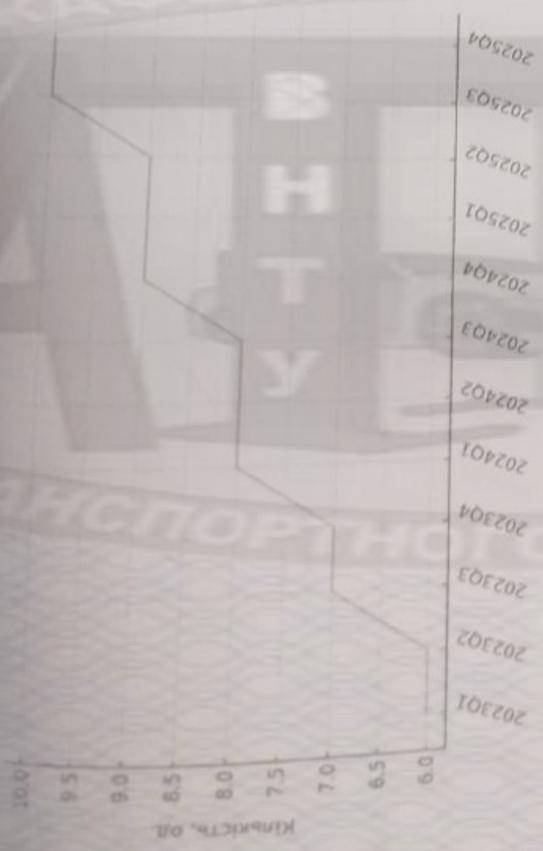


Рисунок А.7 – Динаміка кількості автомобілів групи N₁ (Ford Cargo), 2023 – 2025 рр.

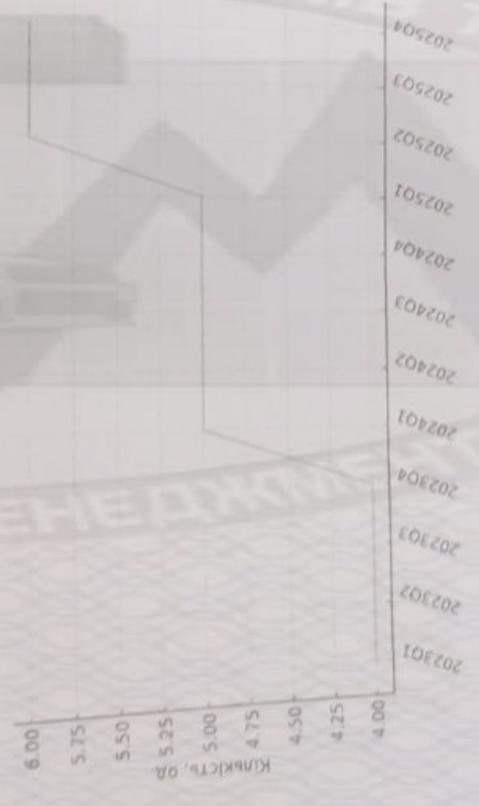


Рисунок А.9 – Динаміка кількості автомобілів групи N₃ (Iveco Eurocargo), 2023 – 2025 рр.

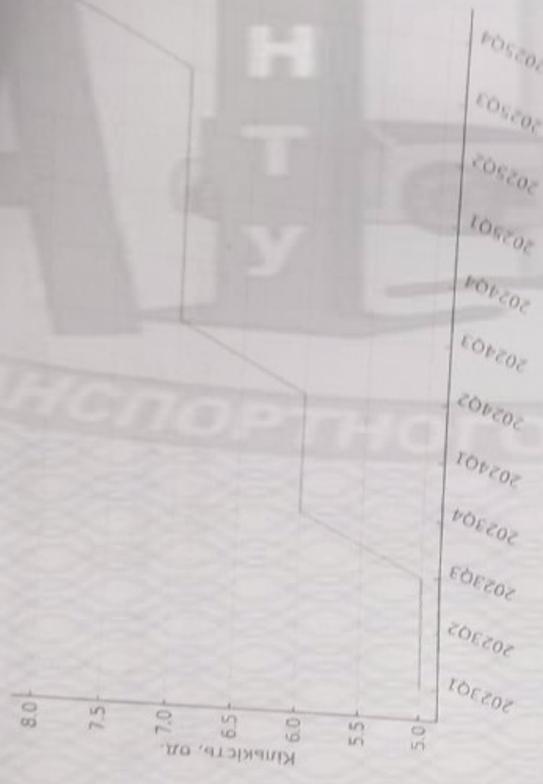


Рисунок А.8 – Динаміка кількості автомобілів групи N₂ (МАЗ – 533702), 2023 – 2025 рр.

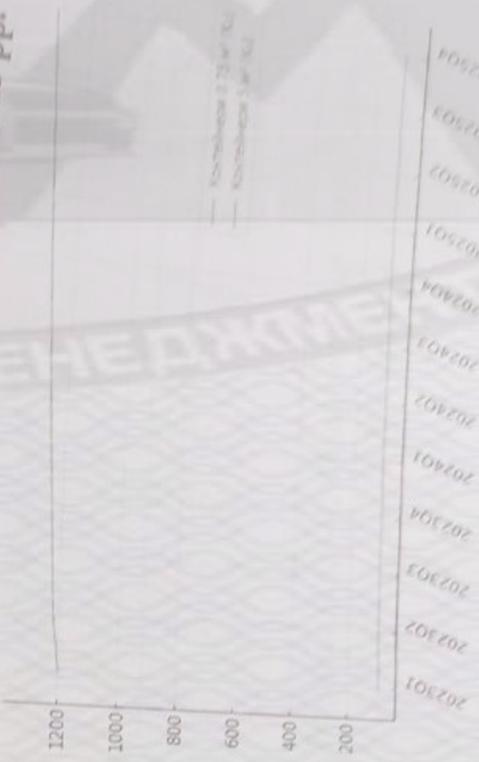


Рисунок А.10 – Динаміка кількості контейнерів групи K₁ та K₂

Динаміка економічних показників, де зображено експериментальні дослідження та аналіз;

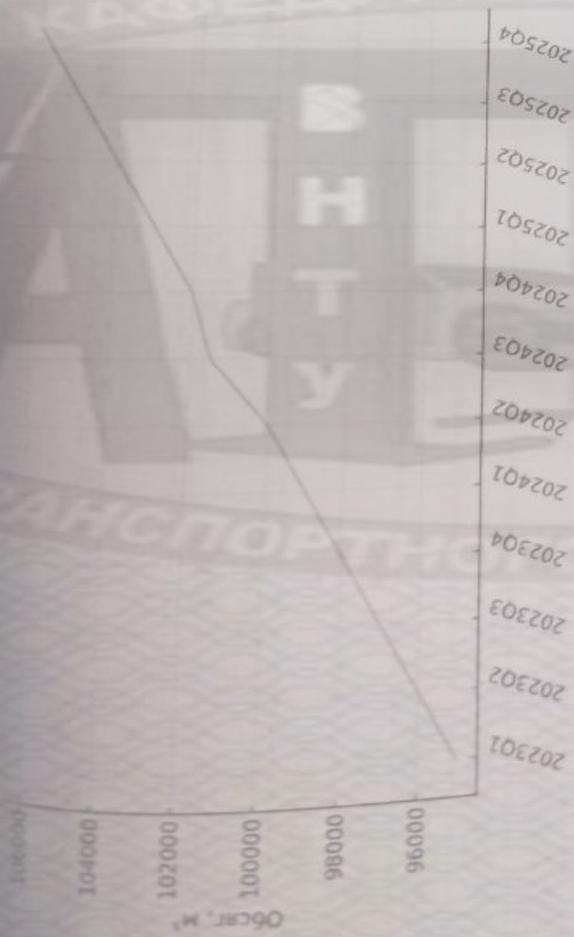


Рисунок А.11 – Динаміка обсягу транспортної роботи Q_n (м³), 2023 – 2025 рр.



Рисунок А.12 – Динаміка експлуатаційних витрат B_n (млн грн), 2023 – 2025 рр.

- ТТВ);
- транспортної роботи (обсягу зібраних і перевезених
 - експлуатаційних витрат;
 - собівартості транспортної операції.

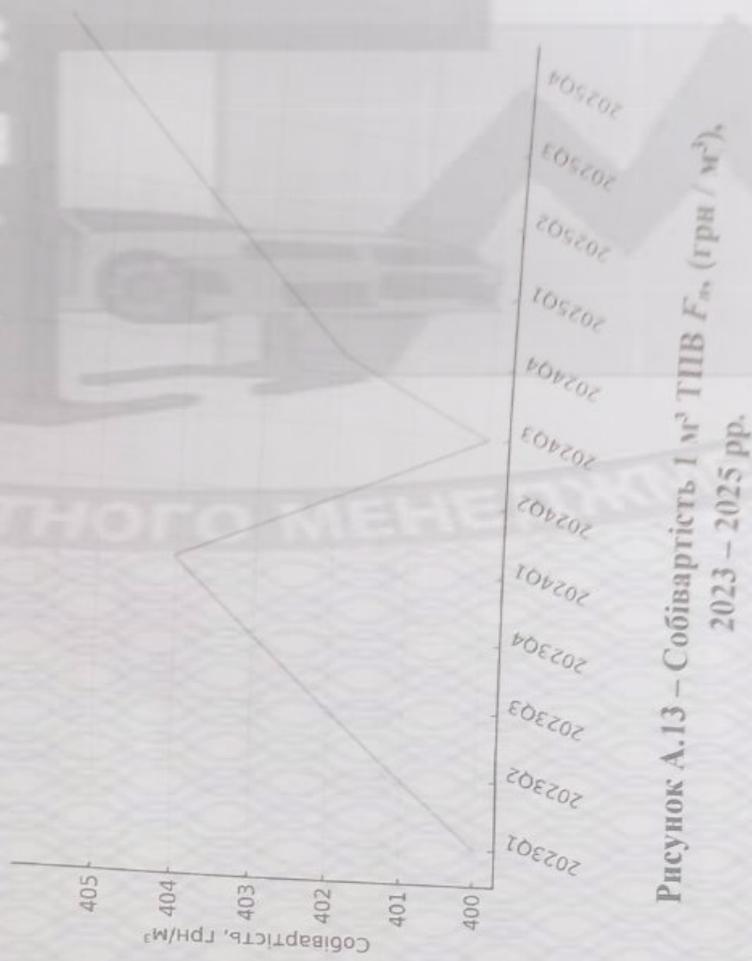


Рисунок А.13 – Собівартість 1 м³ ТТВ F_n (грн / м³), 2023 – 2025 рр.

Параметри рівнянь a_i, b_j були обчислені за «Методом найменших квадратів» (МНК). Результати розрахунків та статистична значущість коефіцієнтів наведені у таблиці А.3.

Таблиця А.3 – Результати розрахунку коефіцієнтів регресійної моделі

Змінна (Фактор)	Коеф. (Параметр)	Значення a_i / b_j	Стандартна помилка S_a	t – статистика (Розрахункова)
Вільний член	a_0	72,50	4,15	17,47
N_1 (Ford Cargo)	a_1	-2,85	0,92	-3,10
N_2 (MAZ-533702)	a_2	1,55	0,48	3,23
N_3 (IVECO)	a_3	-0,90	0,88	-1,02
N_4 (FOTON)	a_4	-3,40	1,12	-3,04
K_1 (Конт. 0,75 м ³)	b_1	0,005	0,001	5,00
K_2 (Конт. 5 м ³)	b_2	-0,015	0,004	-3,75

Таблиця А.4 – Узгодження кількості рухомого складу для економічного розрахунку

Параметр	Початковий стан		Різниця
	стан	Оптимальний стан	
Основний парк (АТЗ, табл. 4.4)	23 од.	21 од.	- 2 од.
Загальний рухомий склад (табл. 1.1)	26 од.	24 од.	- 2 од.
Пояснення:	23 осн. + 3 допоміжні (N_5, N_6)	21 осн. + 3 допоміжні	

На основі отриманих коефіцієнтів, рівняння множинної регресії, що описує залежність собівартості вивезення 1 м³ ТПВ від структури парку, набуває вигляду:

$$F_n = 72,50 - 2,85N_1 + 1,55N_2 - 0,90N_3 - 3,40N_4 + 0,005K_1 - 0,015K_2, \quad (A.7)$$

де: N_1, \dots, N_4 – кількість автомобілів в i -й групі;
 K_1, \dots, K_2 – кількість контейнерів у j -й групі.

Оптимізація основного парку (з 23 до 21 од.) скорочує загальний рухомий склад з 26 до 24 од., що впливає на загальні витрати, які поділяються на постійні ($B_{\text{пост}}$) та змінні ($B_{\text{змін}}$) складові за формулою:

$$\sum B_{\text{зат}} = B_{\text{пост}} + B_{\text{змін}}, \quad (A.8)$$

Оцінка економічного ефекту постійних витрат

Результати розрахунків зведено у таблицю А.5.

1). Для визначення сукупного річного економічного ефекту, отриманого внаслідок оптимізації структури парку (з 26 до 24 од.), проведено розрахунок змін у постійних та змінних витратах.

Таблиця А.5 – Зведена таблиця постійних витрат КУП «ЕкоВін»

Стаття витрат	Вихідний парк (26 од.), (грн)	Скоригований парк (24 од.), (грн)	Різниця (ΔB), (грн)
Амортизація ($A_{\text{вдп}}$)	17 800 000	18 200 000	- 400 000
Транспортний податок та ін. фікс.	2 950 000	2 862 000	88 000
Загальногосп. витрати ($B_{\text{заг. госп}}$)	13 273 000	12 252 000	1 021 000
Сумарна $\sum B_{\text{пост}}$	34 023 000	33 314 000	709 000

Економія на постійних витратах становить:

$$\Delta B_{\text{пост}} = 34\,023\,000 - 33\,314\,000 = 709\,000 \text{ грн. / рік}$$

Таблиця А.6 – Зведена таблиця змінних витрат та економічного ефекту

Стаття витрат	Σ Вихідний парк (26 од.) (грн)	Σ Скоригований парк (24 од.) (грн)	Річна економія (Δ) (грн)
1	2	3	4
Фонд ЗП ($B_{ЗП}$)	32 500 000	28 000 000	4 500 000
ЄСП ($B_{Соц}$)	9 977 500	8 596 000	1 381 500
Паливо ($З_{Пал}$)	21 850 000	17 480 000	4 370 000
Інші змінні (Мастила, Шини, ТО / ПР)	8 100 000	7 500 000	600 000
Всього змінні $\sum B_{Змін}$	72 427 500	61 576 000	10 851 500
Всього постійні $\sum B_{Пост}$	34 023 000	33 314 000	709 000
Всього загальні $\sum B_{Заг}$	106 450 500	94 890 000	Σ11 560 500

1. Загальний річний економічний ефект (E):

$$E = \Delta B_{Пост} + \Delta B_{Змін} = 709\,000 + 10\,851\,500 = 11\,560\,500 \text{ грн. / рік} \quad (\text{A.9})$$

2. Розрахунок мінімальної собівартості ($F_n^{скор}$):

Визначимо нову собівартість вивезення 1 м^3 ТПВ, при плановому річному обсязі перевезень $Q_{РГЧ} = 650\,000 \text{ м}^3$:

$$F_n^{скор} = \frac{\sum B_{Заг}^{скор}}{Q_{РГЧ}} = \frac{94890000}{650000} \approx 145,98 \text{ грн. / м}^3 \quad (\text{A.10})$$

Впровадження оптимальної структури парку дозволяє знизити собівартість F_n із 180,5 грн / м^3 (середня вихідна) до 145,98 грн / м^3 , забезпечуючи загальний річний економічний ефект 11,56 млн. грн.

ВИСНОВКИ

Магістерська робота була присвячена розробці та практична реалізація методики оптимізації структури парку АТЗ КУП «ЕкоВін» за критерієм мінімуму собівартості, в результаті чого отримано наступні ключові теоретичні та практичні результати.

Проведений аналіз функціонування КУП «ЕкоВін» встановив, що підприємство працює в умовах високого навантаження (3-тя категорія експлуатації) та стикається з проблемами морального і фізичного старіння ВТБ. Виявлено, що наявність застарілої техніки (група N_2) та існуюча одноетапна система збору ТПВ підвищують частку холостого пробігу і, як наслідок, зрощують собівартість. Це підтвердило актуальність дослідження, яке вимагає комплексної оцінки взаємозв'язку між параметрами парку та мінливістю зовнішнього середовища.

Критичний огляд наукових підходів показав, що традиційні методики не враховують комплексно динамічних факторів. Обґрунтовано необхідність застосування програмно-цільових методів на основі системного аналізу та теорії чутливості. Це дозволяє перейти від простого обліку експлуатаційних витрат до цілеспрямованого формування програми дій, що активно впливає на процес управління та підвищує конкурентоспроможність підприємства.

На основі принципів програмно-цільового планування (ПЦП) була розроблена математична модель функціонування системи збору та вивезення ТПВ. Модель обрана як цільова функція – мінімізація питомої вартості вивезення m^3 ТПВ ($F \rightarrow \min$). Модель вперше комплексно враховує експлуатаційні характеристики АТЗ, особливості контейнерного парку (K_j) та зовнішній параметр – обсяг перевезень (Q).

Враховуючи велику розмірність вхідних даних, для розв'язання задачі оптимізації обґрунтовано застосування методу оптимізації за чутливістю. Розроблена функція чутливості, побудована на основі зведених витрат на АТЗ та контейнери, дозволяє визначити вагомість (чутливість) кожної групи рухомого

складу до загальних витрат. Це є ключовим теоретичним кроком, що спрощує перехід до кінцевого формування раціональної структури парку.

Розроблена двоетапна структурна схема експериментального дослідження, що включає збір та обробку часових рядів (12 кварталних спостережень) собівартості та структури парку для формування впорядкованої матриці експериментальних даних (табл. 3.1). Як основний інструмент емпіричного встановлення взаємозв'язку обрано метод множинного регресійного аналізу, застосування якого, з перевіркою за t – критерієм Стьюдента та F – критерієм Фішера, забезпечує наукову достовірність отриманих функціональних залежностей.

Для практичної мінімізації цільової функції ($F \rightarrow \min$) розроблено алгоритм формування раціональної структури парку (рис. 3.3, 3.4), що поєднує положення теорії чутливості та класичні методи лінійного програмування («Симплекс-метод»). Алгоритм послідовно виконує початкове коригування, визначає обсяг ТПВ, що вивільняється, встановлює необхідну кількість ефективних груп та виконує фінальну оцінку вартості заходів.

Експериментальне дослідження на базі КУП «ЕкоВін» підтвердило адекватність моделі: коефіцієнт детермінації R^2 склав 0,88, довівши, що 88% варіації собівартості пояснюється зміною структури парку. Отримано емпіричне рівняння регресії (4.3), яке чітко встановило, що групи N_1 та N_4 мають статистично значущі від'ємні коефіцієнти (до -3,40), тоді як група N_2 має значущий позитивний коефіцієнт (+1,55).

На основі розрахунків сформовано оптимальну структуру парку, що передбачає списання 7 неефективних одиниць (N_2) та закупівлю 5 одиниць нової техніки ($2N_1$ та $3N_4$). Ця оптимізація зменшує загальний рухомий склад підприємства з 26 до 24 одиниць, при цьому забезпечуючи покриття того ж обсягу робіт. Сукупний річний економічний ефект від впровадження заходів склав 11 560 500 грн.. Завдяки цьому собівартість вивезення м³ ТПВ знижується з 180,5 грн/м³ до 145,98 грн/м³, повністю досягаючи критерію мінімуму собівартості.

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Підвищення ефективності використання рухомого складу та контейнерного забезпечення в системі збору та перевезення твердих побутових відходів в умовах комунального унітарного підприємства «ЕкоВін» місто Вінниця

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота

Підрозділ кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism (КП1) 15,2 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

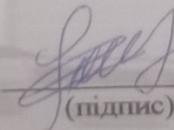
- Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- У роботі виявлено ознаки академічного плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Цимбал С.В., завідувач кафедри АТМ
(прізвище, ініціали, посада)

Кужель В.П., доцент кафедри АТМ
(прізвище, ініціали, посада)

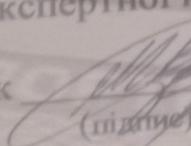
Особа, відповідальна за перевірку


(підпис)

Цимбал О.В.
(прізвище, ініціали)

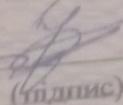
З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник


(підпис)

Митко М.В., доцент кафедри АТМ
(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач


(підпис)

Червоний М.А.
(прізвище, ініціали)