

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

## МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Підвищення ефективності роботи комунального унітарного підприємства «ЕкоВін» місто Вінниця шляхом покращення паливної економічності автомобілів»

Виконав: здобувач 2-го курсу, групи  
1АТ-24м спеціальності 274 –  
Автомобільний транспорт  
Освітньо-професійна програма –  
Автомобільний транспорт  
О.М. Берчій О.М.

Керівник: к.т.н., доцент каф. АТМ  
В.О. Огневий В.О.  
 «25» 11 2025 р.

Опонент: к.т.н., доц кафедри АТМ  
Бакалець Д.В.  
 «05» 12 2025 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри АТМ

к.т.н., доц. Цимбал С.В.

«5» 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 – 274 – Автомобільний транспорт  
 Освітньо-професійна програма – Автомобільний транспорт

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

« 25 » 09 2025 року

### **ЗАВДАННЯ** НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ

Берчій Олегу Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення ефективності роботи комунального унітарного підприємства «ЕкоВін» місто Вінниця шляхом покращення паливної економічності автомобілів

керівник роботи Огневий Віталій Олександрович, к.е.н., доцент,  
 затверджені наказом ВНТУ від «24» вересня 2025 року № 313.

2. Строк подання здобувачем роботи: 30.11.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Вимоги до конструкції та експлуатації автотранспортних засобів (діючі міжнародні, державні, галузеві стандарти та технічні умови заводів-виробників автомобільної техніки); законодавство України в галузі безпеки руху; район експлуатації автомобілів – Україна; досліджувані моделі АТЗ – автомобілі комунального унітарного підприємства «ЕкоВін»; об'єкт дослідження – технологічний процес збирання та транспортування ТПВ; похибка прогнозування досліджуваних показників не більше – 10%.

4. Зміст текстової частини:

1 Сучасні проблеми при експлуатації та обліку паливно-мастильних матеріалів на підприємствах комунального транспорту.

2 Удосконалення математичної моделі зміни витрати палива спеціального автомобіля в технологічному режимі експлуатації.

3 Методика експериментальних досліджень.

4 Оцінка ефективності впровадження результатів досліджень.

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

1-3 Тема, мета та завдання дослідження.

4 Структура експлуатаційних витрат АТП.

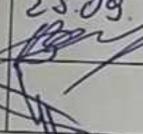
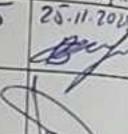
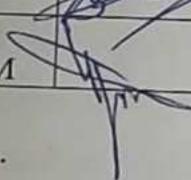
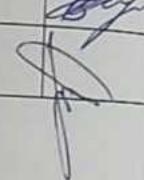
5 Порівняння даних нормативної та експериментальної витрати палива.

6 Витратомір палива.

7 Результати аналізу методів визначення витрати палива автомобілів.

- 8 Режими роботи спеціальних автомобілів для збирання та транспортування ТПВ
- 9 Структурна схема моделі зміни витрати палива спеціальних автомобілів для транспортування ТПВ
- 10 Схема підключення вимірювального обладнання.
- 11 Експериментальні дослідження на спеціальному автомобілі БМ-53229-1
- 12 Зміна тиску в гідросистемі під час завантаження контейнера з ТПВ.
- 13 Залежність тиску робочої рідини від маси підіймаемого вантажу
- 14 Зміна годинної витрати палива на об'єкті дослідження
- 15 Порівняння експериментальної і теоретичної годинної витрати палива
- 16 Час здійснення операції підйому/опускання контейнера з ТПВ у технологічному режимі експлуатації
- 17 Зміна годинної витрати палива від маси вантажу та обертів двигуна
- 18 Порівняння розрахункових та експериментальних даних
- 19 Алгоритм визначення норми витрат палива спеціального автомобіля для збирання та транспортування ТПВ
- 20 Алгоритм реалізації розробленої методики на АТП
- 21 Річні питомі витрати спеціального автомобіля для збирання і транспортування ТПВ

#### 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ/підрозділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розв'язання основної задачі	Огневий В.О., доцент кафедри АТМ	25.09.2025 	25.11.2025 
Визначення ефективності запропонованих рішень	Буренніков Ю.Ю., професор кафедри АТМ		

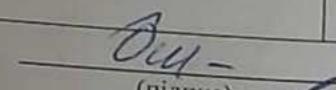
7. Дата видачі завдання « 25 » вересня 2025 р.

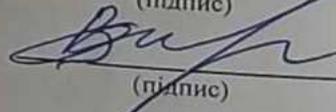
#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	П
1	Вивчення об'єкту та предмету дослідження	25.09-29.09.2025	Вс
2	Аналіз відомих рішень, постановка задач	30.09-20.10.2025	Вс
3	Обґрунтування методів досліджень	30.09-20.10.2025	Вс
4	Розв'язання поставлених задач	21.10-10.11.2025	Вс
5	Формування висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів	11.11-16.11.2025	Вс
6	Виконання розділу/підрозділу «Визначення ефективності запропонованих рішень»	17.11-24.11.2025	Вс
7	Нормоконтроль МКР	25.11-30.11.2025	Вс
8	Попередній захист МКР	01.12-04.12.2025	Вс
9	Рецензування МКР	05.12-09.12.2025	Вс
10	Захист МКР	10.12.2025-12.12.2025	

Здобувач

Керівник роботи

  
(підпис)

  
(підпис)

Берчій О.М.

Огневий В.О.

## АНОТАЦІЯ

УДК 656.078

Берчій О.М. Підвищення ефективності роботи комунального унітарного підприємства «ЕкоВін» місто Вінниця шляхом покращення паливної економічності автомобілів. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 274 – Автомобільний транспорт, Вінниця: ВНТУ, 2025. 104 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 25 назв; рис.: 29; табл. 9.

В магістерській кваліфікаційній роботі пророблено питання впливу маси завантажуваних відходів на витрату палива спеціальних автомобілів для збирання і транспортування ТПВ під час експлуатації в технологічному режимі.

У розділі 1 розглянуто сучасні проблеми при експлуатації та обліку паливно-мастильних матеріалів на підприємствах комунального транспорту.

В розділі 2 розглянута математична модель зміни витрати палива спеціального автомобіля в технологічному режимі експлуатації та проведено її удосконалення.

В розділі 3 описана методика проведення експериментальних досліджень.

В розділі 4 приведено результати експериментальних досліджень та здійснена оцінка ефективності впровадження результатів досліджень в виробництво.

Ілюстративна частина складається з 22 слайдів.

**Ключові слова:** паливна економічність, двигун, технічний стан, автомобіль, технологічний режим експлуатації.

## ABSTRACT

UDC 656.078

Berchiy O.M. Increasing the efficiency of the municipal unitary enterprise "EcoVin" city of Vinnytsia by improving the fuel efficiency of cars. Master's qualification work in the specialty 274 - Motor transport, Vinnytsia: VNTU, 2025. 104 p.

In Ukrainian speech Bibliography: 25 titles; Fig.: 29; table 9.

The master's qualification work examines the impact of the mass of loaded waste on the fuel consumption of special vehicles for collecting and transporting solid waste during operation in technological mode.

Section 1 examines current problems in the operation and accounting of fuels and lubricants at municipal transport enterprises.

Section 2 examines the mathematical model of changes in fuel consumption of a special vehicle in the technological mode of operation and its improvement.

Section 3 describes the methodology for conducting experimental research.

Section 4 presents the results of experimental research and evaluates the effectiveness of implementing research results into production.

The illustrative part consists of 22 slides.

**Keywords:** fuel efficiency, engine, technical condition, car, technological mode of operation.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ОБЛІКУ ПАЛИВНО-МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ПІДПРИЄМСТВАХ КОМУНАЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ.....	11
1.1 Загальна характеристика функціонування системи поводження з твердими комунальними відходами у великих містах.....	11
1.2 Особливості експлуатації та нормування витрат палива спеціальних автомобілів під час транспортування твердих побутових відходів.....	18
1.3 Методи визначення витрат палива на автомобілях.....	23
1.4 Аналіз діяльності комунального унітарного підприємства «ЕкоВін».....	29
1.5 Опис роботи спеціального автомобіля для збирання та транспортування ТПВ в технологічному режимі експлуатації.....	36
1.6 Висновки до першого розділу.....	39
РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЗМІНИ ВИТРАТИ ПАЛИВА СПЕЦІАЛЬНОГО АВТОМОБІЛЯ В ТЕХНОЛОГІЧНОМУ РЕЖИМІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ.....	41
2.1 Цілі та завдання математичного моделювання.....	41
2.2 Вибір та обґрунтування підходу до математичного моделювання	42
2.3 Математичне моделювання підсистеми "гідравлічний насос - гідроциліндр".....	46
2.4 Математичне моделювання підсистеми "двигун внутрішнього згорання - гідравлічний насос".....	53
2.5 Розробка комп'ютерної програми.....	55
2.6 Висновки до другого розділу.....	56
РОЗДІЛ 3 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ..	57
3.1 Загальна методика експериментальних досліджень.....	57

3.2 Аналіз факторів, що впливають на витрату палива спеціального автомобіля для збирання та транспортування ТПВ під час роботи в технологічному режимі експлуатації.....	58
3.3 Методика планування експерименту.....	60
3.4 Обладнання для проведення експериментальних досліджень.....	64
3.5 Методика оцінки адекватності математичної моделі.....	67
3.6 Висновки до третього розділу.....	70
<b>РОЗДІЛ 4 ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ</b>	
<b>РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ .....</b>	<b>71</b>
4.1 Результати експериментальних досліджень впливу досліджуваних факторів на витрату палива в технологічному режимі.....	71
4.2 Результати аналітичного дослідження витрати палива на спеціальному автомобілі для збирання та транспортування ТПВ.....	78
4.3 Оцінка адекватності математичної моделі.....	80
4.4 Рекомендації щодо коригування норми витрати палива в технологічному режимі експлуатації спеціальних автомобілів для збирання і транспортування ТПВ.....	82
4.5 Економічний ефект від впровадження розробленої методики.....	88
4.6 Висновки до четвертого розділу.....	96
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>97</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>99</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>102</b>
Додаток А Ілюстративна частина .....	
Додаток Б Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень.....	

## ВСТУП

**Актуальність роботи.** Проблема поводження з відходами виробництва і споживання дедалі гостріше постає в Україні. З розвитком ринкової економіки в Україні і збільшенням конкуренції на ринку транспортування твердих побутових відходів (ТПВ), кожне автотранспортне підприємство, що експлуатує спеціальні автомобілі, змушене боротися за конкурентоспроможність пропонованих послуг. Оптимізація та скорочення матеріальних витрат на експлуатацію рухомого складу (РС) є найбільш пріоритетним напрямком для підвищення ефективності діяльності автотранспортного підприємства (АТП). Однією з основних статей витрат на транспортування ТПВ є витрати на паливно-мастильні матеріали, зокрема, на паливо. Для ведення статистичної та оперативної звітності, визначення собівартості перевезень та інших видів транспортних робіт, планування потреб підприємства в забезпеченні нафтопродуктами та ін. на АТП необхідно визначати норму витрати палива автомобілем. Спеціальні автомобілі для збирання і транспортування ТПВ експлуатуються в двох режимах: транспортному (транспортування ТПВ) і технологічному (збирання ТПВ). Чинні методичні рекомендації щодо визначення норми витрат палива та існуючі надбавки до неї, не враховують усі умови експлуатації спеціальних автомобілів під час роботи в технологічному режимі, тому на АТП, норми, як правило, розраховуються за верхньою межею, що не дає змоги оперативно виявити перевитрату палива і визначити її причину. Таким чином, дослідження спрямовані на коригування чинних методичних рекомендацій щодо визначення норми витрати палива є актуальними.

Вирішення важливого науково-практичного завдання підвищення ефективності перевезення твердих побутових відходів можливе шляхом оперативного коригування норм витрати палива в технологічному режимі експлуатації спеціальних автомобілів для збирання та транспортування ТПВ.

Питанню визначення маси відходів, що завантажуються спеціальним автомобілем для збирання і транспортування ТПВ в місцях збору, присвячено роботи багатьох зарубіжних науковців.

Однак, залишаються не розробленими питання впливу маси завантажуваних відходів на витрату палива спеціальних автомобілів для збирання і транспортування ТПВ під час експлуатації в технологічному режимі.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Робота виконувалась у відповідності з напрямками наукових досліджень кафедри автомобілів та транспортного менеджменту.

**Мета і завдання дослідження.** Мета роботи - підвищення ефективності перевезення твердих побутових відходів спеціальними автомобілями за рахунок оперативного коригування норм витрати палива.

Відповідно до поставленої мети в роботі вирішуються наступні завдання:

- провести дослідження сучасних проблем при експлуатації спеціальних автомобілів для збирання та транспортування ТПВ;
- провести аналіз факторів, що впливають на витрату палива в технологічному режимі експлуатації;
- розробити математичну модель зміни навантаження на колінчастому валу двигуна спеціального автомобіля для збирання та збору і транспортування ТПВ в технологічному режимі експлуатації під впливом маси вантажу, що піднімається, з урахуванням специфіки роботи спеціального обладнання;
- провести експериментальні дослідження та встановити закономірності впливу маси відходів, що завантажуються, та обертів двигуна базового шасі на витрату палива спеціальних автомобілів у технологічному режимі експлуатації;
- розробити методику диференційованого коригування норм витрати палива та алгоритми практичного використання розробленої методики на автотранспортному підприємстві;
- провести техніко-економічний аналіз впровадження розробленої методики на автотранспортному підприємстві.

**Об'єкт дослідження** - технологічний процес збирання та транспортування ТПВ.

**Предметом дослідження** є спеціальний автомобіль для збирання та транспортування ТПВ.

**Методи дослідження.** У теоретичних дослідженнях застосовані наступні методи: кореляційно-регресійний аналіз, планування, регресійний аналіз, планування експерименту, активний натурний експеримент. Експериментальні дослідження в лабораторних умовах проводили на спеціально виготовленому обладнанні за розробленими методиками, з використанням теорії планування багатофакторного експерименту.

**Наукова новизна одержаних результатів:**

- удосконалено математичну модель зміни навантаження на колінчастому валу двигуна спеціального автомобіля для збирання та транспортування ТПВ, яка за багатопараметровою характеристикою двигуна встановлює кількісні показники витрати палива в технологічному режимі експлуатації залежно від маси вантажу, з урахуванням специфіки роботи спеціального підйомного обладнання;

- дістали подальшого розвитку закономірності зміни витрати палива в технологічному режимі експлуатації спеціального автомобіля для збирання і транспортування ТПВ в залежності від маси підіймаємого вантажу та обертів двигуна базового шасі.

**Практичне значення одержаних результатів.**

Застосування методики диференційованого коригування норм витрат палива, дасть змогу скоротити експлуатаційні витрати автотранспортних підприємств за рахунок коректного обліку паливно-мастильних матеріалів, а також дасть змогу оперативно виявляти перевитрату палива та визначати причини її появи.

**Достовірність теоретичних положень** забезпечується прийнятою методологією дослідження, що включає в себе сучасні наукові методи: кореляційно-регресійний аналіз, планування, регресійний аналіз, планування

експерименту, активний натурний експеримент, а також апробацією під час обговорення результатів на міжнародних науково-практичних конференціях. Це дало змогу забезпечити доказовість і обґрунтованість розроблених підходів та отриманих результатів.

**Апробація результатів роботи.** Проміжні результати досліджень були опубліковані серед матеріалів XVIII міжнародної науково-технічної конференції “Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту”, Вінниця 2025 р.

**Публікації.** Матеріали магістерської роботи висвітлені у 1 опублікованій науковій праці, з яких 1 – опублікована праця апробаційного характеру [1].

## **РОЗДІЛ 1 СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ОБЛІКУ ПАЛИВНО-МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ПІДПРИЄМСТВАХ КОМУНАЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ**

1.1 Загальна характеристика функціонування системи поводження з твердими комунальними відходами у великих містах

На сьогоднішній день в Україні найбільш гостро стоїть проблема управління відходами, утвореними від діяльності населення і підприємств. За даними статистики, кожен житель України утворює в середньому 15 тон твердих побутових відходів (ТПВ) щорічно. Система утилізації та знешкодження в країні перебуває на дуже низькому рівні, як наслідок, кількість накопичених відходів на полігонах розміщення ТПВ постійно збільшується, що неминуче погіршує екологічну та санітарно-епідеміологічну обстановку в країні, веде до збільшення витрат на транспортування ТПВ і на обслуговування звалищ і полігонів розміщення ТПВ.

Здебільшого, у всіх містах країни існує змішана система збору ТПВ, тому що відсутня культура поділу відходів на різні компоненти. На сьогодні тільки в деяких державних і приватних установах застосовується роздільна система збору відходів - на етапі збору відбувається сортування за видами: папір (картон), пластмаси, скло, метал, харчові відходи та ін.

В Україні загалом практично не розвинений ринок з оброблення та знешкодження промислових і комунальних відходів, а також їхньої переробки у вторинну сировину. Отже, розвиток роздільної системи збору ТПВ зупиняється відсутністю рентабельності цієї галузі, а також досить низькою екологічною культурою населення. Проведені експериментальні дослідження щодо впровадження селективного збору відходів від населення в різних містах України показали, що до розвитку в цьому напрямку не готові й наявні спеціалізовані автотранспортні підприємства, що експлуатують комунальну техніку [7].

Система збору ТПВ в Україні функціонує таким чином. На першому етапі ТПВ потрапляють у пункти збору ТПВ - спеціально обладнані контейнерні майданчики. Накопичення ТПВ здійснюється в баках або контейнерах різної місткості. На сьогоднішній день використовуються спеціальні контейнери об'ємом 0,75-1,1 м<sup>3</sup> (баки), контейнери закритого типу об'ємом 6-8 м<sup>3</sup>, підземні (заглиблені) контейнери об'ємом 5 м<sup>3</sup> і контейнери відкритого типу об'ємом від 15 до 27 м<sup>3</sup> [2].

Аналіз зарубіжного досвіду показав, що більшість застосовуваних на сьогоднішній день контейнерів для збору ТПВ від населення виготовляються з пластмас. Вони, порівняно з контейнерами, виготовленими з листової сталі, мають низку переваг: менша маса контейнера, менше прилипання відходів до контейнера, легше очищення контейнерів після використання. Також при використанні пластмасових контейнерів при мінусових температурах, відходи не примерзають до стінок і дна контейнера, оскільки коефіцієнт зчеплення пластмаси з льодом мінімальний.

У більшості міст України для збору ТПВ від населення досі застосовують сталеві контейнери. Вони надійніші й безпечніші і в разі загоряння в них сміття, мають більший ресурс, однак, дорожчі, ніж пластмасові контейнери. Але, слід зазначити, що, зі збільшенням екологічної культури населення та економічною обстановкою в країні, спостерігається тенденція переходу на пластмасові контейнери ("Євроконтейнери"). Також перехід на "Євроконтейнери" обумовлюється, в деяких випадках, необхідністю використання мобільних, невеликих спеціальних автомобілів для збирання та транспортування ТПВ. Низький рівень очищення дворових проїздів від снігу в зимовий період і відсутність організованих паркувальних просторів не дає змоги автомобілям із великою вантажопідйомністю здійснювати збір твердих побутових відходів на контейнерному майданчику.

Наразі транспортування ТПВ здійснюється спеціально обладнаним автомобільним транспортом, що виключає втрати відходів по шляху проходження і забруднення навколишнього середовища.

Збирання та видалення ТПВ в містах і населених пунктах здійснюється спеціалізованими автотранспортними підприємствами (АТП) у терміни, передбачені санітарними правилами прибирання населених місць [5]. Періодичність вивезення твердих побутових відходів встановлюється з урахуванням сезонів року, кліматичної зони, епідеміологічної обстановки.

Перевантаження ТПВ з контейнерів проводиться шляхом механізованого спорожнення в кузов спеціального автомобіля. Після завантаження ТПВ доставляються до пункту переробки або до місця їх розміщення.

Під час вибору спеціальних автомобілів для збирання та транспортування ТПВ АТП враховують такі критерії, як місткість кузова, необхідний ступінь ущільнення ТПВ залежно від їхньої вихідної середньої щільності, дальність вивезення ТПВ, розвиненість дорожньої мережі та її пропускна здатність, експлуатаційні витрати та ін.

Для організації збирання і транспортування ТПВ від місць накопичення до місць використання, знешкодження або розміщення (полігону ТПВ) застосовують пряму (одноетапну) або двоетапну системи. Пряма система передбачає транспортування ТПВ в один етап від виробника до споживача відходів. У разі двоетапної організації системи збирання і транспортування ТПВ застосовуються сміттєперевантажувальні станції (СПС).

У першому випадку, транспортування ТПВ здійснюється спеціальними автомобілями малої та середньої вантажопідйомності безпосередньо на полігони розміщення відходів або до переробників.

При двоетапній організації вивезення відходів застосовується така система: збір і транспортування ТПВ від виробника відходів до СПС здійснюється спеціальними автомобілями малої та середньої вантажопідйомності; на СПС відбувається часткове попереднє сортування відходів та їх перевантаження в транспортні автомобілі з великою вантажопідйомністю, які здійснюють транспортування ТПВ на кінцевий пункт розміщення.

Система із застосуванням двоетапного збирання відходів економічно та екологічно ефективніша [7].

Вибір маршрутів руху спеціального автомобіля для збирання та транспортування ТПВ в загальному вигляді виглядає таким чином. Відомі розташування вантажовідправників і вантажоодержувачів, дислокація парку рухомого складу, обсяги вивезення, характеристики транспортної мережі та умов руху на ній. Необхідно знайти оптимальний маршрут руху, що задовольняє певним вимогам АТП. Аналіз зарубіжних досліджень показав, що у світі гостро стоїть проблема оптимізації маршрутів руху спеціальних автомобілів для збирання та транспортування ТПВ з метою економії ресурсів, підвищення паливної економічності автомобілів і поліпшення екологічної обстановки. За кордоном для цих цілей активно застосовуються різні ГІС-системи моніторингу транспорту [9].

На сьогодні в Україні процес визначення оптимального маршруту на АТП не систематизований і часто визначається самим водієм-оператором автомобіля з урахуванням миттєвих потреб замовника. Однак, ведуться дослідження, спрямовані на оптимізацію планування маршрутів спеціальних автомобілів [7].

Також важливим науково-практичним завданням є забезпечення безпеки транспортування відходів автомобільним транспортом. Поводження з небезпечними відходами, зокрема й транспортування ТПВ.

Причому, при дослідженні цього питання, було виявлено деякі протиріччя в нормативних документах:

- небезпечні відходи та небезпечні вантажі мають різну класифікацію (відходи - за ступенем небезпеки, небезпечні вантажі - за фізико-хімічними та біологічними властивостями);

- транспортування небезпечних відходів підлягає обов'язковому ліцензуванню, на відміну від перевезення небезпечних вантажів;

- відсутні чіткі критерії віднесення небезпечних відходів до небезпечних вантажів, і, як наслідок, межі регулювання процесу перевезення ТПВ транспортним законодавством.

У деяких регіонах України, місцеві виконавчі органи державної влади прирівнюють ТПВ до небезпечного вантажу. До речовин, небезпечних для довкілля, належать рідкі та тверді речовини - забруднювачі водного середовища, а також розчини та суміші цих речовин. Однак, за формальними ознаками, віднесення ТПВ до 9 класу небезпечних вантажів за класифікацією, не має під собою підстав.

Облік руху відходів має здійснюватися за масою в тоннах [6]. У зв'язку з цим, усі полігони розміщення ТПВ були обладнані стаціонарними ваговими пунктами. На полігоні здійснюється процедура подвійного зважування: при в'їзді (заповнений автомобіль) і при виїзді (спорожнений автомобіль). Різниця в масі завантаженого і спороженого транспортного засобу (ТЗ) відображає масу відходів, розміщених на полігоні. Ця процедура вимагає досить великих матеріальних та експлуатаційних витрат, точності обліку при русі великої кількості спеціальних автомобілів територією полігона.

У зв'язку з відсутністю технічної можливості контролю маси відходів у місцях завантаження ТПВ від населення та виробників (контейнерних майданчиках) збір здійснюється за обсягом, пропорційно кількості вивезених баків.

У результаті, відбувається неузгодженість даних в обліку руху відходів, збільшується ризик розвантаження автомобіля в непередбачених місцях і, як наслідок, утворення несанкціонованих звалищ.

В умовах зростаючої конкуренції транспортних компаній на перший план виходять завдання створення та вдосконалення методів оперативного управління перевезеннями відходів автомобільним транспортом. Ефективність функціонування автомобільного транспорту оцінюється системою техніко-експлуатаційних показників, що характеризують кількість і якість виконаної роботи. Процес управління перевезеннями є складним і багатокритеріальним завданням, від вирішення якого залежить один з основних показників - якість перевезень [2].

На сьогоднішній день, у регіональних операторів відсутня можливість отримання актуальної інформації про рух відходів у регіонах, що значно ускладнить процес організації системи поводження з відходами та знизить її ефективність. Необхідна розробка інтелектуальної системи управління перевезеннями ТПВ, яка дасть змогу контролювати й управляти транспортним процесом, визначати оптимальні маршрути руху спеціальних автомобілів і знизить екологічний збиток від неефективного та некваліфікованого транспортування відходів.

Особливістю України є висока частка транспортних витрат у собівартості послуг. Це наслідок неефективності логістичних бізнес-процесів. Нераціонально сплановані маршрути та відсутність контролю транспорту істотно збільшує витрати автотранспортних підприємств. Оскільки в Україні спостерігається дефіцит фахівців у галузі логістики, то завдання оптимізації витрат на експлуатацію рухомого складу, в останні роки, вирішується за допомогою впровадження на підприємствах систем супутникового моніторингу автомобілів на основі ГЛОНАСС [3].

Моніторинг руху спеціальних автомобілів для збирання та транспортування ТПВ, на сьогоднішній день, здійснюється за допомогою встановлених бортових навігаційних терміналів супутникового моніторингу GPS/ГЛОНАСС. Однак, ці системи дають змогу контролювати лише основні експлуатаційні показники транспортного засобу: загальну витрату палива, час руху та стоянки, маршрут руху. Відсутня можливість контролю витрати палива окремо в технологічному або транспортному режимах роботи. У свою чергу, час роботи автомобіля в технологічному режимі, становить понад 50% від загального часу роботи машини на рейсі. Ці системи, в більшості випадків, призначені тільки для контролю поточних показників транспортного засобу і не призначені для здійснення планування та організації автомобільних перевезень.

З розвитком ринкової економіки в Україні та збільшенням конкуренції на ринку транспортування ТПВ, кожне із спеціалізованих автотранспортних підприємств змушене боротися за конкурентоспроможність пропонованих їм

послуг. Для підприємств перевізників ТПВ гостро стоять питання підвищення ефективності діяльності та оптимізації витрат, пов'язаних з перевізним процесом.

Існує кілька способів підвищення ефективності діяльності спеціалізованого АТП [7]:

1. скорочення матеріальних витрат (на технічне обслуговування, поточний ремонт, ПММ, шини, накладних витрат та ін.);
2. поліпшення техніко-економічних показників (коефіцієнта використання вантажопідйомності, пробігу, коефіцієнта випуску та ін.);
3. розширення переліку пропонованих послуг (закриття люків контейнерів, їхня санітарна обробка, ремонт та ін.);
4. впровадження власних СПС (збільшення продуктивності роботи ПС, ущільнення вантажу).

Оптимізація і скорочення матеріальних витрат на експлуатацію рухомого складу бачиться найбільш пріоритетним для підвищення ефективності діяльності автотранспортного підприємства [3].

Витрати на експлуатацію вантажних комерційних автомобілів визначаються такою сукупністю витрат:

$$P_e = P_{\Pi} \cdot P_{\text{мм.рр}} \cdot P_{\text{ТОтаР}} \cdot P_{\text{Ш}} \cdot P_{\Pi} \cdot P_{\text{однораз}} \cdot P_{\text{ЗП}} \cdot P_A \cdot P_{\text{ін}} \quad (1.1)$$

де  $P_{\Pi}$  - витрати на паливо,

$P_{\text{мм.рр}}$  - витрати на мастильні матеріали та робочі рідини,

$P_{\text{ТОтаР}}$  - витрати на технічне обслуговування та ремонт,

$P_{\text{Ш}}$  - витрати на шини,

$P_{\Pi}$  - податки,

$P_{\text{однораз}}$  - разові витрати, пов'язані з введенням АТЗ в експлуатацію,

$P_{\text{ЗП}}$  - витрати на оплату праці ремонтних робітників і водіїв,

$P_A$  - амортизація,

$P_{\text{ін}}$  - інші витрати.

Згідно з раніше проведеними дослідженнями [3] було складено структуру витрат на експлуатацію рухомого складу АТП (рисунок 1.1).

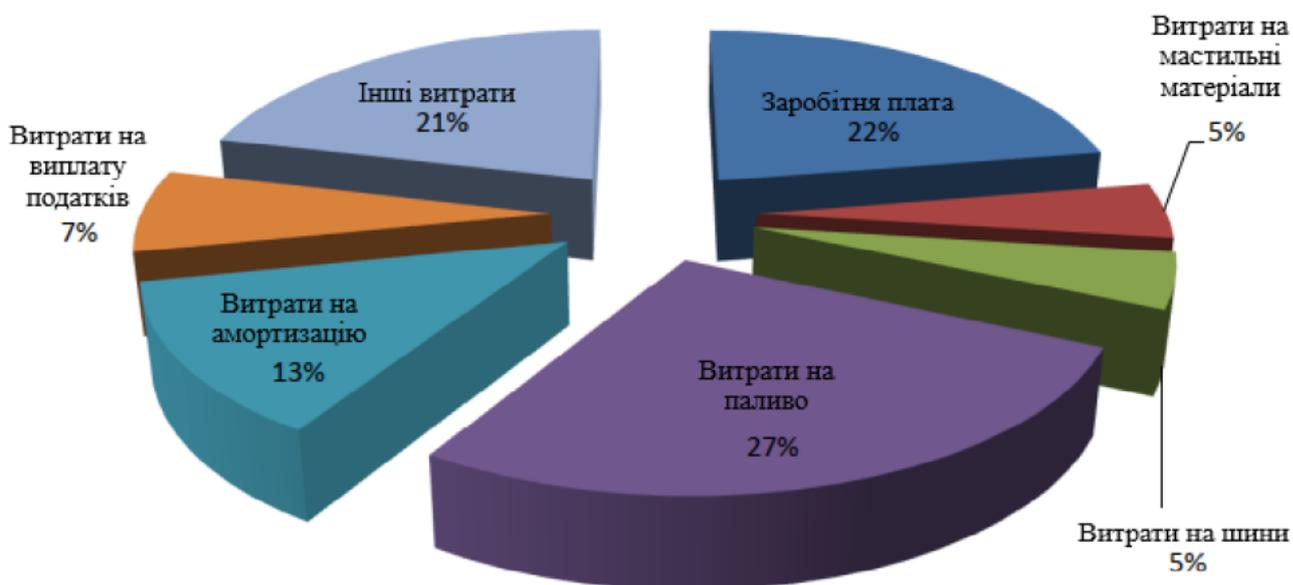


Рисунок 1.1 - Структура експлуатаційних витрат АТП.

Однією з основних статей витрат на транспортування ТПВ є витрати на паливо, які можуть сягати 30% у структурі загальних витрат.

На підставі проведеного дослідження визначено, що найбільш дієвим і раціональним способом підвищення ефективності діяльності АТП є визначення шляхів зниження витрат на паливо.

## 1.2 Особливості експлуатації та нормування витрат палива спеціальних автомобілів під час транспортування твердих побутових відходів

Однією з основних статей витрат на транспортування ТПВ є витрати на паливо. Нині зниження фактичної витрати палива не приведе до реальної економії не призведе до реальної економії. Причиною є відсутність об'єктивного, науково обґрунтованого нормативу. Навіть застосування спеціалізованого обладнання - засобів інструментального контролю фактичної витрати палива не

дає змоги досягти високої паливної економічності без об'єктивно встановленого ліміту споживання палива [6].

На автомобільному транспорті нормативні витрати палива застосовують для ведення статистичної та оперативної звітності, визначення собівартості перевезень та інших видів транспортних робіт, планування потреб підприємств у забезпеченні нафтопродуктами, здійснення розрахунків з оподаткування підприємств, здійснення режиму економії та енергозбереження споживаних нафтопродуктів, проведення розрахунків з користувачами транспортних засобів, водіями тощо [8].

Проблема коригування норм витрат палива на автомобільному транспорті досить широко розроблена. Зарубіжними вченими проведено дослідження, спрямовані на встановлення закономірностей зміни витрат палива автомобілів у різних умовах експлуатації [3]. Однак, у проведених дослідженнях практично не зачіпалася експлуатація спеціальних автомобілів та їхня робота в технологічному режимі.

На сьогоднішній день норма витрати палива спеціальних автомобілів для збирання та транспортування ТПВ

$$Q = (0,01 \cdot H_S \cdot S + Q_1 \cdot n) \cdot (1 + D) + 0,25n \quad (1.2)$$

де  $Q$  - норма витрати палива за добу, л;

$H_S$  - лінійна норма витрати палива, л/100 км;

$S$  - середньодобовий пробіг машини, км;

$n$  - середньозмінна кількість рейсів;

$D$  - сумарна відносна надбавка до лінійної витрати палива;

$Q_1$  - витрати палива при роботі спецобладнання, л/год.

Сумарна відносна надбавка до лінійної витрати палива обчислюється в частках одиниці і визначається за формулою:

$$D = D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5 + D_6 \quad (1.3)$$

де  $D_1$  - надбавка під час роботи спецмашин у межах міста з частими зупинками. Приймається до 10% при середній кількості зупинок понад однієї на 1 км загального пробігу;

$D_2$  - надбавка на роботу спецмашин у зимовий період. Надбавка розраховується окремо для кожного регіону країни за кліматичними районами, згідно з даними, наведеними в додатку до рекомендацій. Змінюється в межах 5..20% залежно від регіону;

$D_3$  - надбавка для автомобілів, що перебувають у тривалій експлуатації. Враховує автомобілі старше 5 років - до 5% і старше 8 років - до 10%;

$D_4$  - надбавка під час роботи в містах з великою щільністю населення. Розраховується виходячи з щільності населення в регіоні і становить від 5 до 25%;

$D_5$  - надбавка на виконання транспортної роботи з перевезення технологічного вантажу (води, технологічного матеріалу, відходів тощо) і становить до 10%;

$D_6$  - надбавка для машин циклічної дії, що розвантажують зібране сміття і забруднення на звалища (сміттєвози, підмітально-прибиральні машини, пилососи тощо), надбавка за кожен цикл розвантаження становить = 0,25 л/цикл.

Спеціальний автомобіль для збирання та транспортування ТПВ працює в двох основних режимах: транспортний режим (вивезення ТПВ) і технологічний режим (збирання ТПВ). У транспортному режимі він переміщується між контейнерними майданчиками та полігоном розміщення ТПВ, а в роботі задіяно тільки базове шасі. У технологічному режимі здійснюється завантаження/розвантаження кузова за допомогою спеціального обладнання.

Збільшення пробігу не завжди призводить до збільшення експлуатаційної витрати палива. Одночасно з цим встановлено, що збільшення кількості циклів повного завантаження/розвантаження, також не завжди призводить до збільшення експлуатаційної витрати палива.

Для визначення реальної експлуатаційної витрати палива під час виконання транспортної роботи спеціальним автомобілем для збирання і транспортування

ТПВ було проведено натурний експеримент на сміттєвозі БМ-53229-1 на базі шасі КамАЗ-65115.

Згідно з приписами ГОСТу шини автомобіля не мали пошкоджень і зносу протектора понад 50%, тиск у них відповідав нормі. Застосовувалися мастильні матеріали, рекомендовані заводом-виробником транспортного засобу. Вікна та вентиляційні люки під час проведення випробувань були закриті. Перед випробуваннями агрегати і вузли автомобіля прогрівалися пробігом не щонайменше 30 км за швидкості руху 60 км/год. Випробування проводилися за температури +20...+23 °С і тиску 743-749 мм. рт. ст., швидкість вітру не перевищувала 3 м/с.

Для проведення випробувань було обрано досвідчених водіїв, зі стажем водіння не менше 5 років.

Вимірювання витрати палива проводилося методом "доливання бака до повного". Порожній автомобіль виїжджав на маршрут. На заправній станції заповнювався паливний бак до кришки. Після цього він прямував за маршрутом. Після закінчення маршруту на тій самій колонці заливалося паливо в бак до кришки. Таким чином, визначали кількість витраченого палива [6]. Як вимірювальну дорожню ділянку було обрано кільцевий маршрут. Дорога, на якій проводився експеримент, мала гладке, сухе і чисте асфальтобетонне покриття. Під час проведення випробувань спеціальний автомобіль для збору та транспортування ТПВ рухався в одному напрямку. Експеримент проводився протягом 3 змін. За цей час автомобіль здійснив 8 рейсів.

Рекомендовану ГОСТом операційну карту міського циклу на дорозі не використовували, оскільки метою експерименту було виявлення впливу різних факторів на витрату палива, а не контрольну витрату палива.

Під час експерименту в журналі спостережень додатково фіксували масу відходів, що завантажуються, об'єм і кількість баків, що піднімаються, час роботи спеціального обладнання і час руху між контейнерними майданчиками. Вимірювання маси ТПВ проводилося в процесі завантаження бортовим вимірювальним пристроєм. Під час в'їзду на полігон розміщення ТПВ

автомобіль проходив контрольне зважування на стаціонарних платформних вагах ВСА, з похибкою до 10 кг. Досліджуваний автомобіль проходив процедуру зважування двічі: при в'їзді і при виїзді з полігона. Проводився аналіз даних, отриманих за допомогою бортової системи зважування і визначених на стаціонарних платформних вагах. Відхилення даних не перевищувало 3 %.

Завдання проведення експерименту полягало у визначенні кількості палива, необхідної для здійснення транспортної роботи, і порівнянні її з нормативною. Також необхідно було визначити вплив маси перевезених відходів, що перевозяться, на витрату палива.

За чинними методичними рекомендаціями було розраховано нормативну витрату палива автомобіля на кожному рейсі і проведено порівняння з експериментальними даними (рисунок 1.2). З отриманих даних видно, що нормативна витрата палива може перевищувати реальну експлуатаційну на 40%.

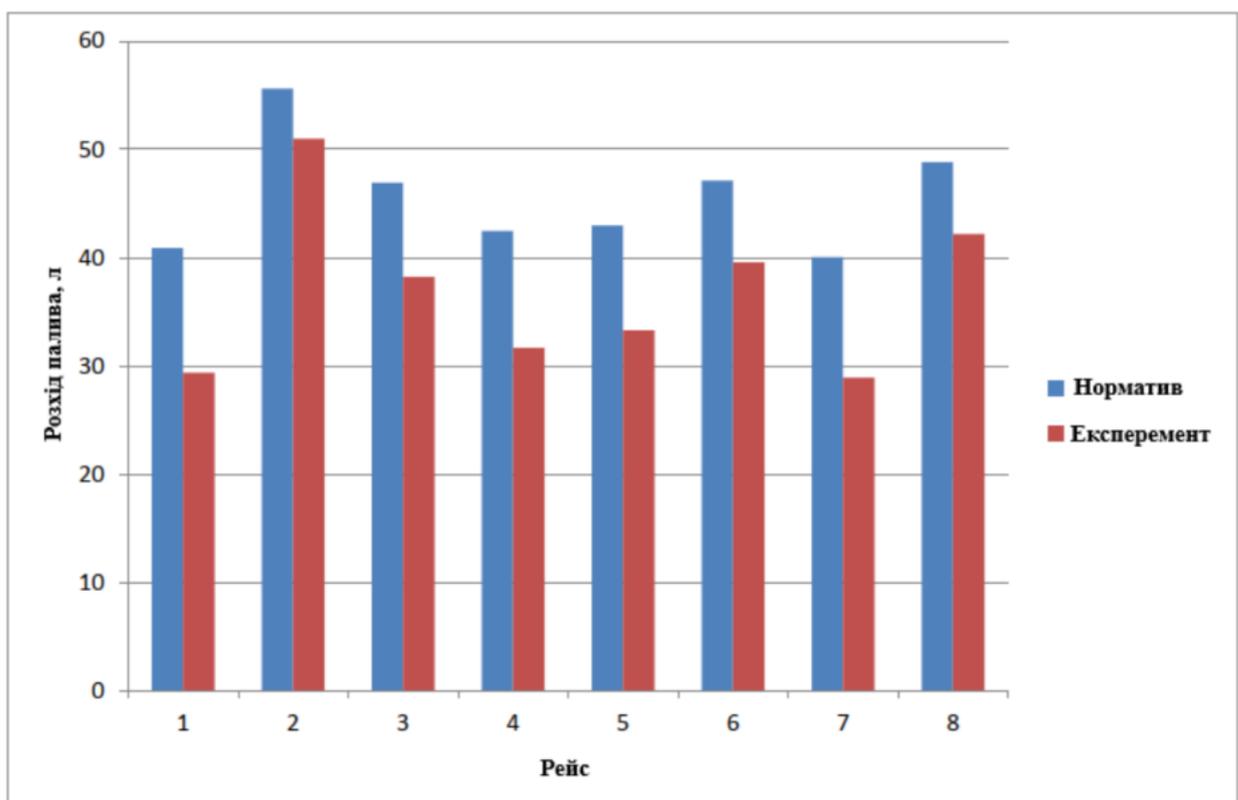


Рисунок 1.2 - Порівняння даних нормативної та експериментальної витрати палива

Маса відходів на досліджуваних рейсах змінювалася від 3880 до 7220 кг, обсяг вивезених відходів - від 69,5 до 101,5 м<sup>3</sup>, а щільність ТПВ варіювалася від 46,3 до 74,6 кг/м<sup>3</sup>. Було встановлено, що виконана робота і кількість палива, необхідна для виконання одного циклу завантаження/розвантаження автомобіля, змінювалися залежно від маси вивезених відходів і кількості завантажених баків, а витрата палива в технологічному режимі експлуатації  $Q_1$  становить до 25-30% від загальної витрати палива. Існуючі надбавки не відображають і не враховують усіх умов експлуатації спеціальних автомобілів для збирання і транспортування ТПВ в технологічному режимі роботи, тому на АТП норми, як правило, розраховуються за верхньою межею, що не дає змоги оперативно виявити перевитрату палива і визначити причину цієї перевитрати: поганий технічний стан спеціального обладнання, витоки в гідравлічній системі, некваліфіковане водіння, розкрадання тощо.

Таким чином, дослідження спрямовані на коригування чинних методичних рекомендацій щодо визначення норми витрат палива спеціальних автомобілів для збирання і транспортування ТПВ залежно від маси та обсягу вивезених відходів є актуальними.

### 1.3 Методи визначення витрат палива на автомобілях

Існують різні методи визначення витрати палива. На автомобільному транспорті для визначення експлуатаційної витрати палива набули поширення такі методи:

1. об'ємний, за рівнем палива в баку;
2. об'ємний, з використанням витратомірів палива;
3. з використанням бортових систем контролю;
4. "Доливкою до повного";
5. Масовий (ваговий).

Обсяг палива в баку автомобіля визначається за допомогою датчика рівня палива (рисунок 1.3). Може застосовуватися як штатний датчик показчика рівня

палива, так і додатковий - у системах контролю витрат палива і моніторингу транспорту [17].



Рисунок 1.3 – Датчик рівня палива в баці

Існує кілька видів датчиків рівня палива: поплавковий резисторний - штатний; і позаштатні - поплавковий магнітострикційний, ємнісний і ультразвуковий [17].

За способом перетворення сигналу розрізняють: аналогові, частотні та цифрові. Аналогові датчики рівня палива прості за конструкцією і надійні в експлуатації, але схильні до впливу перешкод і стрибків напруги. Частотні - краще захищені від зовнішніх впливів і видають більш стабільні показання. Цифрові датчики рівня палива є найбільш точними. Вони захищені від зовнішніх факторів. Їхня вартість не значно перевищує вартість частотних або аналогових.

Точність методу визначається, в основному, метрологічними характеристиками вимірювального засобу - датчика рівня. Вимірювання фактичної витрати палива на автомобілі здійснюється за допомогою системи, що складається з двох основних підсистем - датчика рівня палива і модуля реєстрації, обробки, зберігання і передачі даних.

Основна складність під час використання цього методу - це апаратна реалізація другої підсистеми, тобто апаратури реєстрації, зберігання і дистанційного передавання даних [19].

На сьогоднішній день існує досить велика кількість різних за принципом роботи, формою та технічними здібностями витратомірів палива. Більшість витратомірів, що продаються на вітчизняному ринку, є імпортними виробами або частково, або повністю. Вітчизняні витратоміри, на жаль, поступаються імпортним, крім того їх кількість на ринку скорочується [18].

Датчик витрати палива є проточним приладом обліку загального обсягу палива, що проходить через камеру згоряння під час роботи транспортного засобу.

Існує 2 види витратомірів: однокамерні та диференціальні.

Однокамерні датчики витрати палива встановлюються на магістраль подачі палива в двигун (рисунок 1.4).



Рисунок 1.4 - Однокамерний витратомір палива DFM.

При цьому для коректного підрахунку палива на дизельному двигуні необхідно перенести зворотну магістраль, якою невитрачене паливо якою невитрачене паливо надходить в бак, до витратоміра.

Такі датчики коштують дешевше диференціальних і їх можна встановлювати на автомобілі, де конструкція двигуна дає змогу перенести зворотну паливну магістраль без наслідків, інакше необхідна установка диференціального датчика витрати палива.

Диференціальний датчик витрати палива - це двокамерний виріб, що складається з двох відкаліброваних однокамерних витратомірів, один з яких встановлюється на канал подачі палива, а інший - на канал "обратки" палива (рисунок 1.5).



Рисунок 1.5 - Диференціальний витратомір палива DFM.

Вбудована електроніка враховує різницю між прямим і зворотним потоками палива і видає показник фактичної витрати.

Схема підключення витратоміра з двома датчиками на дизельний двигун представлено на рисунку 1.6 [19].

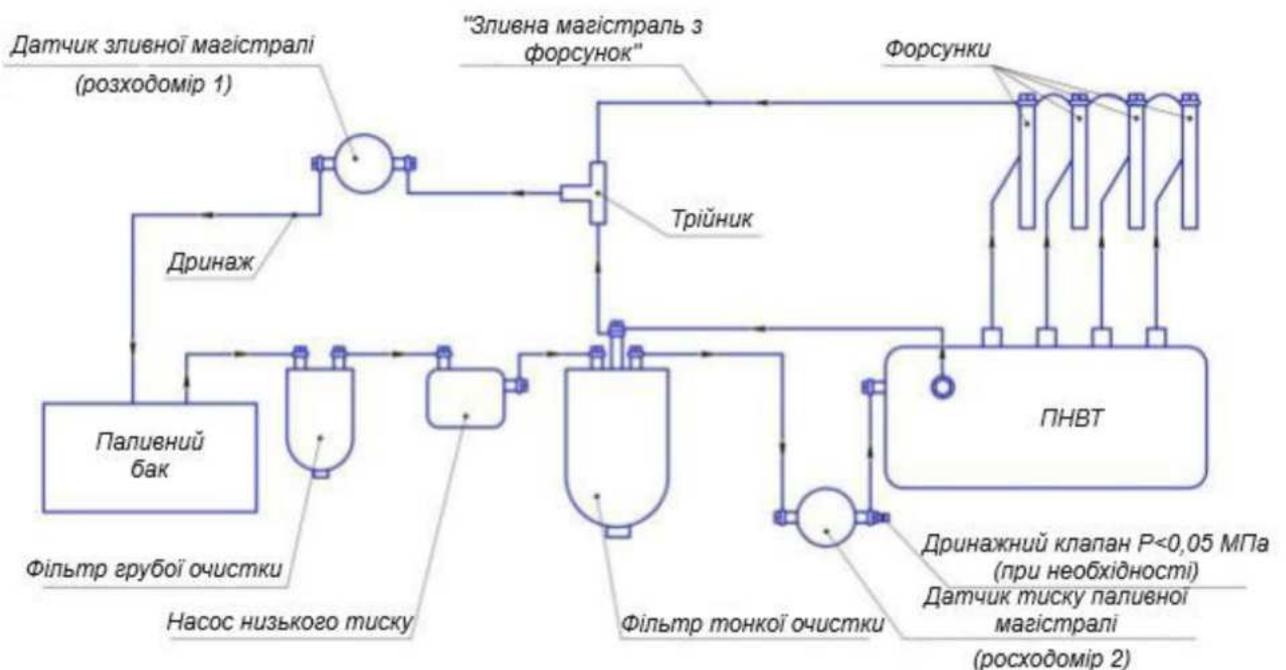


Рисунок 1.6 - Схема підключення витратоміра з двома датчиками.

Існує досить багато нюансів, пов'язаних із роботою витратомірів з двома датчиками, наприклад: проведення дослідів з енергетичної оцінки з лопатевими витратомірами на двигунах із системою Common Rail у більшості випадків не дає позитивних результатів. Під час роботи на холостому ходу розкручується більше датчик зливу палива в бак, і на початку дослідів витратомір більше часу показує нуль. З усього вищевикладеного можна зробити висновок, що перераховані вище прилади для вимірювання витрати палива мають такі недоліки, як незручність експлуатації, відсутність обліку зливу палива з форсунок і ПНВТ, невеликий діапазон вимірювань та ін. [21]. Мобільні витратоміри мають низьку точність вимірювання споживання палива двигунами внутрішнього згоряння, а стаціонарні витратоміри, що мають досить високу точність вимірювань, непридатні під час дорожніх експериментальних досліджень. Найчастіше, вони використовуються при стендових випробуваннях за відсутності впливу дорожніх факторів (вібрацій і коливань автомобілів) [23].

Вимірювання поточної витрати палива та обчислення на її основі сумарного об'єму витраченого палива за допомогою цього методу, характеризується високою вартістю, вимогами до чистоти палива, залежністю показань від фізико-хімічних властивостей палива і низкою інших факторів, які стримують поширення цього способу контролю витрат палива [24].

Одним із можливих способів вимірювання є використання бортових систем контролю витрати палива автомобіля [20]. Досить велика кількість сучасних транспортних засобів мають на борту шину CAN (англ. Controller Area Network). Ця шина слугує для передавання інформації між різними пристроями та датчиками автомобіля, зокрема й інформації щодо витрати та рівня палива в баку.

Перевагою цього методу є відсутність необхідності додаткових датчиків.

Основний недолік цих систем у високій похибці вимірювань, оскільки вони призначені, в першу чергу, для вимірювання миттєвої витрати палива на основі показань датчика рівня палива в баку і датчиків системи управління подачею палива [23]. Також, застосування цього методу неможливе на

транспортних засобах, у яких відсутня шина CAN, тобто на більшості спеціальних автомобілів для збирання та транспортування ТПВ.

Суть методу "доливання до повного" зводиться до вимірювання кількості палива, що доливається в бак автомобіля до заповнення після закінчення виконання кількості транспортної роботи. Цей метод передбачає необхідність повністю заправити паливний бак паливом перед початком виконання транспортної роботи. Таким чином, кількість палива, що доливається буде відповідати витраті палива на транспортну роботу, що передувала доливці. Доливання перед і після транспортної роботи має здійснюватися на одному і тому ж майданчику, що дасть змогу виключити вплив нахилу автомобіля [19].

Однак, істотний недолік цього методу - це неприпустимо велике значення відносної похибки при певних (відносно малих) величинах пробігу, тобто при малій витраті палива. Також за такого методу випробувань виникають випадкові похибки, пов'язані з неточністю доливання бака і визначення рівня заповнення бака.

Масовий (ваговий) метод заснований на вимірюванні фактично витраченого палива автомобілем шляхом зважування вимірювальної ємності з паливом, при цьому робота двигуна здійснюється з даної вимірювальної ємності. Для зважування нафтопродуктів застосовуються шкальні або циферблатні ваги. Маса нафтопродукту визначається як різниця між масою брутто і масою тари. Для зниження впливу зовнішніх умов на похибку вимірювань вагові пристрої повинні бути захищені від вітру та опадів. Похибка вимірювань залежить від точності вагового обладнання. При цьому способі вимірювання існує можливість визначати досить малу зміну ваги палива, тобто невелику витрату.

Даний метод досить дешевий, не вимагає впровадження змін і додаткових пристроїв у конструкцію автомобіля, також має високу точність.

За результатами аналізу було сформульовано критерії порівняння методів: точність, універсальність, простота впровадження, вартість. Дані аналізу методів вимірювання витрати палива в технологічному режимі експлуатації

спеціального автомобіля для збирання та транспортування ТПВ були структуровані та подані в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Результати аналізу методів визначення витрати палива автомобілів.

Метод	Критерії порівняння			
	Точність при незначних змінах	Універсальність	Простота впровадження	Вартість
Об'ємний, по рівню палива в баку	Низька	Так	Важко	Середня
Об'ємний, з використанням витратомірів палива	Низька	Ні	Важко	Велика
З використанням бортових систем	Низька	Ні	Легко	Низька
«Доливанням до повного»	Низька	Так	Легко	Низька
Масовий (ваговий)	Висока	Так	Легко	Низька

За результатами проведеного аналізу було встановлено, що масовий (ваговий) метод вимірювання витрати палива під час проведення експериментальних досліджень на спеціальному автомобілі для збирання та транспортування ТПВ під час роботи в технологічному режимі експлуатації є найкращим.

#### 1.4 Аналіз діяльності комунального унітарного підприємства «ЕкоВін»

Комунальне унітарне підприємство «ЕкоВін» – це підприємство, що є багатофункціональним спеціалізованим підприємством, де діяльність його спрямована на організацію найбільш якісної системи збору та вивезення побутових відходів, санітарного очищення міста, прибирань в місцях громадського відпочинку (площі, сквери, бульвари), прибирання шляхів міста, а також утримання міського полігону побутових відходів.

Комунальне унітарне підприємство «ЕкоВін» (КУП «ЕкоВін») є спеціалізованим підприємством з питань поводження з відходами та забезпечення належного санітарного стану об'єктів благоустрою м. Вінниця.

Підприємство належить до комунальної власності територіальної об'єднаної громади м. Вінниця відповідно до рішення Вінницької міської ради за № 1263 від 05.07.2005 р. «Про створення міського комунального унітарного підприємства із вивезення твердих побутових відходів «ЕкоВін» та управляється своєю діяльністю відповідно до Господарського та Цивільного кодексу України, Законами України «Про місцеве самоврядування в Україні», а також рішенням Вінницької міської ради їх виконавчого комітету і розпорядженням міського голови, та іншими нормативно-правовими актами України.

Засновником та власником комунально унітарного підприємства є територіальна громада міста Вінниці в особі Вінницької міської ради та здійснює керування за діяльності даного підприємства. А також органом, на який покладено функції управління (керування) цим підприємством, є також Департамент комунального господарства та благоустрою Вінницької міської ради. КУП «ЕкоВін» було створено на базі колишнього комунального автотранспортного підприємства КАТП-0128.

Місце знаходження адміністрації підприємства КУП «ЕкоВін» – 21050, м. Вінниця, вул. Соборна, 59. Само підприємство розташоване у мікрорайоні Сабарів, на півдні міста (правого берегу Південного Бугу), за адресою: вул. Сабарівське шосе 7, м. Вінниця. Площа земельної ділянки підприємства складає 2,866 га (гектарів).

Для вивезення вантажів - твердих побутових відходів та забезпечення ряду переліку виконуваних комунально унітарним підприємством робіт залучає свою техніку, яка на підприємстві наявні у кількості 26 транспортних засобів (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Рухомий склад КУП «ЕкоВін»

Модель транспортного засобу	Кількість транспортних засобів на 28.09.2025 р.	Середньодобовий пробіг, км
ЗИЛ-ММЗ-554	2	120
ЗИЛ-43336	2	190
ЗИЛ-432932	3	203
МАЗ-533702	6	205
МАЗ-5340-В2	2	200
КАМАЗ-65115	6	200
КАМАЗ-55102	1	50
Ford Cargo 1833D «Е-5»	4	205
Всього:	26	

Зараз основну частину рухомого складу складають вантажні спеціалізовані автомобілі, які призначені для механізованого завантаження твердих побутових відходів з контейнерів в бункер, їх ущільнення в бункері, транспортування та механізованого розвантаження в місцях знешкодження та утилізації. Внаслідок збільшення території та чисельності жителів міста Вінниця, в подальшому планується збільшення обсягів збору та вивезення побутових відходів, санітарного очищення міста та утримання міського полігону в м. Вінниця.

На полігоні протягом кількох днів проводилося спостереження за активністю спеціальних автомобілів для збору та транспортування ТПВ. Під час спостережень фіксувалися такі параметри: порядковий номер, час прибуття, марка базового шасі, державний реєстраційний знак, вид завантаження, додаткові відомості. Для усунення повторень автомобілів у списку проводилося порівняння державних реєстраційних знаків. Аналіз даних проводився за кількістю автомобілів і видом завантаження. Також було проведено порівняння з раніше отриманими даними аналогічного дослідження.

Дані щодо розподілу комунальних машин за полігоном м. Вінниця представлені на рисунку 1.7.

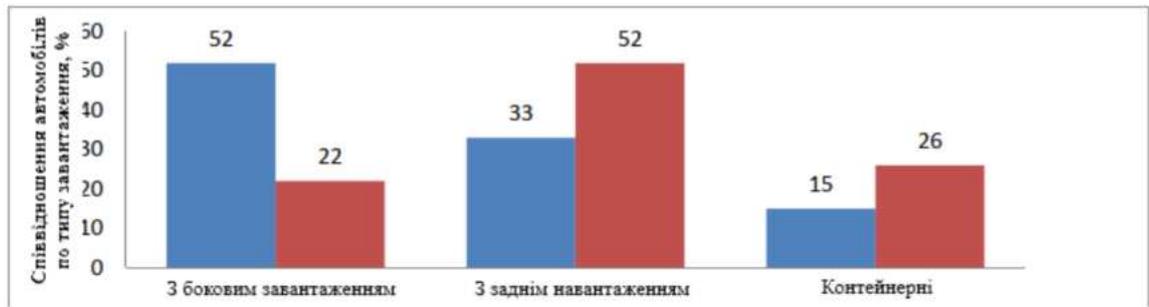


Рисунок 1.7 – Розподілення спеціальних автомобілів по типу завантаження в м. Вінниці в 2022 та 2024р.

Для проведення експериментальних досліджень було обрано найбільш поширений автомобіль із заднім завантаженням БМ-53229-1 (рисунок 1.8).



Рисунок 1.8 - Об'єкт досліджень. Спеціальний автомобіль БМ-53229-1.

Спеціальний автомобіль для збирання та транспортування ТКО БМ-53229-1 вироблений на базі шасі КамАЗ-65115 використовується з метою навантаження ТПВ, які знаходяться в спеціальних контейнерах. У задній частині машини розміщені завантажувальні пристрої, призначені для контейнерів різного об'єму від 0,8 м<sup>3</sup> до 7,5 м<sup>3</sup>. Об'єм кузова - 18,5 м<sup>3</sup>. Маса завантажуваних ТПВ - не більше 11000 кг. На шасі КамАЗ-65115 встановлено дизельний двигун КамАЗ-740.65, об'ємом 11760 см<sup>3</sup>, максимальною потужністю 176 кВт (при 1900 хв<sup>-1</sup>), максимальний крутний момент 980 Нм (при 1300 хв<sup>-1</sup>).

Автомобілі працюють в 3-й категорії умов експлуатації, умови зберігання автомобілів – відкрита стоянка без підігрівання.

Кількість рухомого складу зараз недостатня для того, щоб утримувати виробничі потужності підприємства з ТО і ремонту автомобілів в повному обсязі. Тому, стає гостре питання щодо вдосконалення структури виробничих підрозділів з ТО і ремонту автомобілів в КУП «ЕкоВін».

Виробничо-технічна база підприємства КУП «ЕкоВін» складається із 5-ти постів ТО і ПР, має зону щоденного обслуговування, агрегатну, слюсарно-механічну та зварювально-жерстяницьку ділянки, які призначені для виконання комплексу робіт з обслуговування та ремонту агрегатів і вузлів автомобілів.

На території підприємства розташовані адміністративний корпус, відкрита площадка для зберігання автомобілів, контрольно-пропускний пункт та котельня.

Зона ТО і ПР обладнана оглядовими канавами для обслуговування та ремонту автомобілів, верстаками, стелажми, спеціальним інструментом та технологічним обладнанням для виконання робіт з ТО і ПР.

В агрегатній та слюсарно-механічній ділянках проводиться ремонт агрегатів (двигунів, коробок передач, редукторів задніх мостів, а також виконання слюсарно-механічних робіт). Ділянки мають верстаки, стелажі та шафи, спеціальний інструмент для виконання вказаних робіт.

Зварювально-жерстяницька ділянка обладнана для виконання робіт зі зварювання та жерстяництва. Однак, наявне обладнання не відповідає повному переліку необхідного технологічного обладнання для виконання даних робіт і є частково застарілим, що в свою чергу зменшує якість робіт.

Щоденне обслуговування автомобілів проводиться не в спеціалізовано обладнаній зоні. В наявності є ручна мийка високого тиску. Відсутній повний перелік потрібного обладнання для виконання прибирально-мийних робіт.

Директором комунального унітарного підприємства «ЕкоВін» – є Гриневич Петро Олександрович, який очолює підприємство, згідно даних з 15.01.2018 року.

Для забезпечення транспортно-виробничої діяльності комунально унітарне підприємство в своєму розпорядженні налічує наявність транспортних

засобів, а також додаткове обладнання та їх механізми, що забезпечує виконання та обслуговування великого спектру роботи, що належить виконувати КУП «ЕкоВін». Це відповідає чинному законодавства України у сфері обслуговування та забезпечення, щодо вимог для Вінницької міської територіально об'єднаної громади.

Розміщення комунального унітарного підприємства «ЕкоВін» наведено на рисунку 1.9

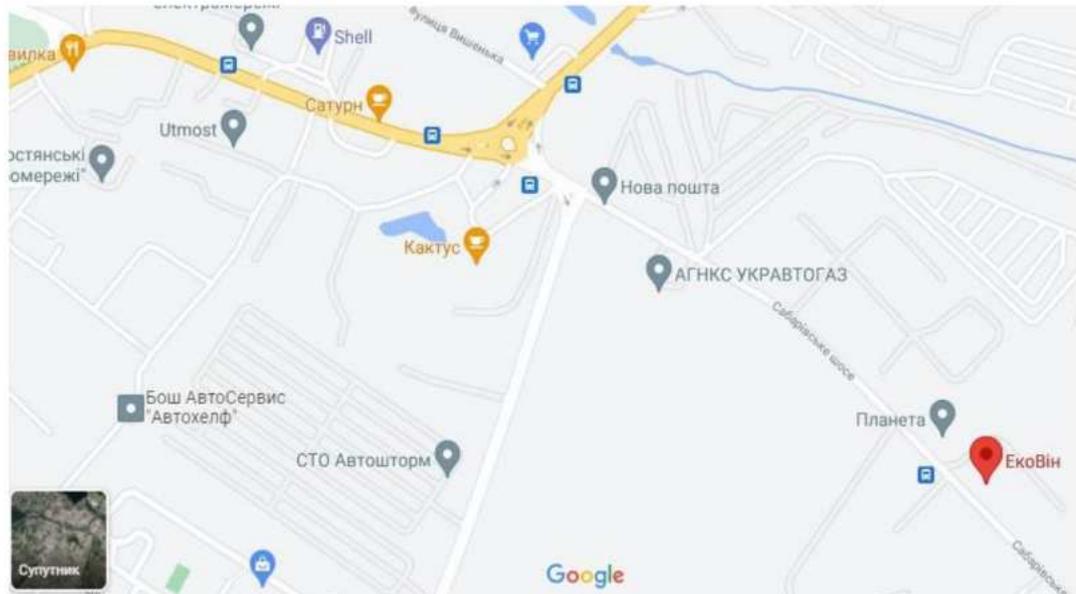


Рисунок 1.9 – Розташування комунально унітарного підприємства «ЕкоВін» міста Вінниця

Метою діяльності підприємства КУП «ЕкоВін» – це здійснення діяльності, що відповідає вимогам законодавству України і правилам благоустрою в населених пунктах, різного поводження із відходами на території Вінницької міської об'єднаної громади та утримання їх в належному стані. А також приведення до санітарно-гігієнічного стану всіх населених пунктів громади до належного рівня, які відповідають санітарним нормам та правилам санітарної очистки території. Підприємство виконує дії, щодо перевезення, збирання побутових відходів, обробки, утилізації, зберігання, а також знешкодження їх за різними технологічно-контрольними операціями. Сюди ж відноситься і утримання побутових, промислових полігонів та інших їх відходів. Будівництво

для переробки заводів або станцій багатьох типів та видів, які можуть залучати інвесторів і інвестиції, як вітчизняні або іноземні капітали.

Також потрібно ще сказати, що комунально унітарне підприємство може надавати консультативні, експертні, інформаційні та інших інтелектуальні послуги, щодо впровадження, розробки та розвитку новітніх технологій на комерційно – посередницькій діяльності, а також використання техніки та обладнання. Надання платних послуг юридичним та фізичним особам по питанням сфери своєї діяльності, що не суперечать чинному законодавству України. Виконання усіх замовлень у повному їх обсязі Вінницької міської ради та уповноважених ними органів та права на відкриття свої поточних розрахунків і затверджувати положення для них.

Підприємство КУП «ЕкоВін» має своє майно, яке складається з основних фондів та оборотних коштів, має цінності, які є на самостійному балансі підприємства. Майно комунального підприємства це є власність, яка належить Вінницькій міській об'єднаній територіальній громаді та передається у користування на правах його господарювання. І для більш кращого забезпечення повноцінної діяльності КУП «ЕкоВін» був створений статутний капітал та їхній розрахунковий рахунок і рахунок коштів для бюджету Вінницької міської територіально-об'єднаної громади.

Плануванням діяльності та розподілом коштів на підприємстві займається заступник директора з економіки та працівники планово-економічного відділу, до складу якого входять: начальник планово-економічного та економіст. А також здійснюють його облік та керування діяльністю виробничо – господарської частини, дотримуються своєчасної виплати заробітної плати для працівників, що виконують організацію їхньої праці на підприємстві.

Рухомий склад транспортних засобів (сміттєвозів) працює в КУП «ЕкоВін» переважно у 1 – 2 зміни за робочим тижнем, а середній час перебування транспортних засобів у нарядах або при виконанні робіт, може досягати від 8 до 12 годин. Середньодобовий пробіг досягає від 150 до 400 км за добу, в залежності від умов роботи та кількості вивезення вантажів із твердих побутових відходів.

## 1.5 Опис роботи спеціального автомобіля для збирання та транспортування ТПВ в технологічному режимі експлуатації

Режими роботи спеціальних автомобілів для збирання і транспортування ТПВ, основні вузли, бортові системи та їхні властивості, що впливають на паливну економічність автомобіля, представлені на рисунку 1.10.

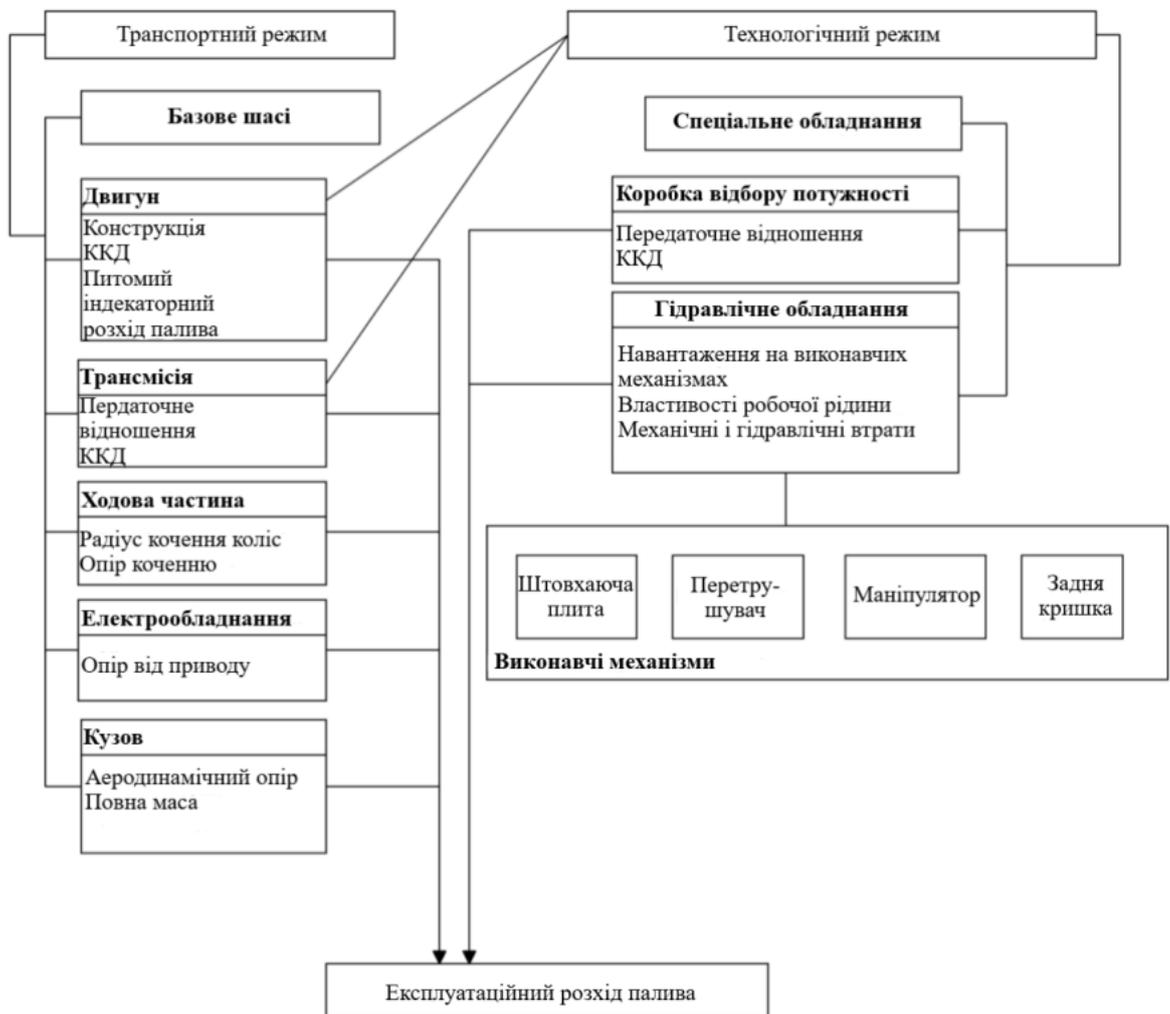


Рисунок 1.10 - Режими роботи спеціальних автомобілів для збирання та транспортування ТПВ.

Транспортний режим обумовлюється роботою базового шасі для виконання транспортної роботи з перевезення вантажу.

Технологічний режим роботи можна розділити на п'ять основних етапів роботи:

1. підйом/опускання бака з ТПВ;
2. пресування ТПВ в кузові;
3. розвантаження кузова;
4. відкриття заднього борту;
5. робота системи в режимі холостого ходу.

Робота машини в технологічному режимі здійснюється таким чином. Двигун працює на постійних обертах, коробка передач перебуває у нейтральному положенні. Оператор вмикає коробку відбору потужності, яка приводить у дію гідронасос гідравлічної системи автомобіля. Коробка відбору потужності керується дистанційно з кабіни водія за допомогою електропневматичного клапана.

Оператор автомобіля керує важелями гідророзподільника і приводить у дію виконавчі механізми. При нейтральному положенні важелів управління гідророзподільника напірна лінія з'єднана зі зливною магістраллю і робоча рідина (РР) з насоса надходить у бак. При переміщенні важелів керування гідророзподільником, золотники гідророзподільника переходять у крайні положення, і РР під тиском надходить до виконавчих пристроїв [23]. На кожному етапі як виконавчого пристрою, що здійснює роботу, виступають гідравлічні циліндри двосторонньої дії, що відрізняються геометричними параметрами.

Процес завантаження та розвантаження спеціального автомобіля для збирання та транспортування ТПВ здійснюється таким чином. Автомобіль під'їжджає на контейнерний майданчик, на якому встановлено заповнені відходами контейнери. Водій-оператор встановлює автомобіль у положення зручне для завантаження контейнерів. Заповнений контейнер фіксується в завантажувальному пристрої, за допомогою якого здійснюється підйом і розвантаження контейнера в завантажувальний ківш. Із ковша відходи переміщуються ущільнювальною плитою в кузов і ущільнюються. Для підвищення ступеня ущільнення відходів виштовхувальну плиту встановлюють

на відповідному положенні від задньої кришки і нею підтискають відходи, переміщувани ущільнювальною плитою [21]. Розвантаження відходів відбувається при відкритій задній кришці за допомогою виштовхувальної плити або самоскидно при підйомі кузова.

Процеси завантаження, розвантаження, пресування твердих побутових відходів залежать насамперед від маси завантажуваних відходів. Під час підйому перевантаженого контейнера з ТПВ, зусилля, що виникає в гідравлічному циліндрі, зростає, відповідно збільшується навантаження на валу насоса і колінчастому валу двигуна базового шасі автомобіля. Таким чином, за постійної частоти обертання двигуна, зростає подача палива для подолання заданого навантаження. Аналогічно витрата палива змінюється під час ущільнення і розвантаження відходів залежно від маси завантажуваних відходів.

Маса відходів, що завантажуються, не впливає на витрату палива під час відкривання заднього борту і роботі системи в режимі холостого ходу. Витрата палива під час цих операцій приймається постійною.

Таким чином, необхідно розробити математичну модель, яка пов'язувала б витрату палива автомобіля з процесами завантаження/розвантаження ТПВ, і методику диференційованого коригування норм витрат палива спеціальних автомобілів для збирання та транспортування ТПВ для оптимізації роботи та коректного обліку паливно-мастильних матеріалів на АТП.

Під час роботи автомобіля в технологічному режимі задіяно таке обладнання: двигун, коробка передач і спеціальне обладнання. Спеціальне обладнання включає: коробку відбору потужності, гідравлічне обладнання та виконавчі механізми. До складу гідравлічного обладнання автомобіля входять: гідравлічний насос, гідророзподільник, запобіжні клапани, гідроциліндри, фільтри, масляний бак, трубопроводи [23]. До складу виконавчих механізмів входять: маніпулятор, штовхаюча плита, плита, що подає, плита, що пресує, задня кришка.

Обладнання, задіяне в технологічному режимі експлуатації, розглянуто на прикладі об'єкта дослідження. На автомобілі БМ-53229-1 на базі шасі КамАЗ-

65115 встановлено десятиступінчасту коробку передач моделі 154, що складається з основної п'ятиступінчастої коробки передач і переднього двоступеневого редуктора дільника передач. На правий установчий люк картера коробки передач встановлюється коробка відбору потужності (КОМ). Відбір потужності відбувається під час стоянки автомобіля.

Гідросистема автомобіля БМ-53229-1 складається з двох контурів, з'єднаних з одним баком. Перший контур гідросистеми складається з насоса, гідророзподільників, гідроциліндрів пресувальної плити і подавальної плити, дроселя, запобіжних клапанів. Другий контур гідросистеми складається з насоса, всмоктувального фільтра, крана кульового, гідророзподільника, гідроциліндрів перекидача з дроселями, гідроциліндрів заднього борту з дроселями і зворотним клапаном, гідроциліндра виштовхувальної плити. Для забезпечення необхідного ступеня ущільнення сміття в кузові виштовхувальна плита чинить відповідний опір зусиллю пресування за рахунок встановлення в зливній магістралі гідроклапана тиску, налаштованого на 0,8 МПа.

Регулювання обертів холостого ходу в режимі відбору потужності може здійснюватися як педаллю подачі палива, так і важелем регулювання обертів холостого ходу, розташованим на рульовій колонці. Функції важеля регулювання обертів холостого ходу (в окремих комплектаціях автомобілів) можуть здійснювати перемикач регулювання холостих обертів. Також регулювання на деяких моделях автомобілів може здійснюватися за допомогою пневматичного циліндра, розташованого під капотом автомобіля.

## 1.6 Висновки до першого розділу

На основі проведеного аналізу було зроблено такі висновки:

1. Підвищення ефективності діяльності АТП найбільш дієво і раціонально за рахунок зниження витрат на паливо, які можуть досягати 30% від загального обсягу експлуатаційних витрат.

2. Дослідження, спрямовані на диференційоване коригування чинних норм витрат палива в технологічному режимі експлуатації спеціальних автомобілів для збирання та транспортування ТПВ, є актуальними.

3. Обрано метод вимірювання витрати палива під час проведення експериментальних досліджень. На основі проведеного аналізу встановлено, що ваговий (масовий) метод є найкращим. Обрано об'єкт дослідження - найбільш поширений спеціальний автомобіль із заднім завантаженням БМ-53229-1 на базі шасі КамАЗ-65115.

4. Встановлено необхідність розроблення математичної моделі зміни навантаження на колінчастому валу двигуна спеціального автомобіля для збирання і транспортування ТПВ та визначення закономірності зміни витрати палива в технологічному режимі експлуатації спеціального автомобіля для збирання та транспортування ТПВ від зовнішніх факторів.

5. Для практичного застосування результатів дослідження необхідна розробка методики диференційованого коригування норм витрат палива спеціальних автомобілів для збирання та транспортування ТПВ для оптимізації роботи та коректного обліку паливно-мастильних матеріалів на АТП.

## **РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЗМІНИ ВИТРАТИ ПАЛИВА СПЕЦІАЛЬНОГО АВТОМОБІЛЯ В ТЕХНОЛОГІЧНОМУ РЕЖИМІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

### 2.1 Цілі та завдання математичного моделювання

Метою моделювання процесу витрати палива в технологічному режимі експлуатації спеціальних автомобілів для збирання та транспортування ТПВ є прогнозування експлуатаційної витрати палива при здійсненні технологічних операцій із завантаження та розвантаження кузова, з урахуванням маси ТПВ та частоти обертання двигуна базового шасі.

Під час моделювання процесу витрати палива доцільно використовувати раціональну математичну модель. Раціональні моделі (формули) строго логічно впливають із законів фізики, відображають закономірність розвитку досліджуваного явища, пояснюють зв'язки з внутрішніми і зовнішніми факторами. Вони мають загальний характер і дають змогу теоретично дослідити всі сторони явища [24].

Завдання розробки математичної моделі:

- вибір параметрів, залежностей і змінних, що характеризують роботу спеціального обладнання;
- вибір припущень під час створення математичної моделі;
- формалізація процесів, що відбуваються в гідросистемі та двигуні автомобіля, та отримання математичних співвідношень;
- розробка комп'ютерної програми на основі математичної моделі;
- перевірка адекватності моделі реальному об'єкту.

Під час моделювання необхідно враховувати такі параметри:

- величину навантаження на виконавчому механізмі;
- час операції;
- тип двигуна;
- частота обертання двигуна базового шасі;

- ККД гідравлічної системи, гідравлічного насоса, гідроприводу;
- геометричні характеристики гідросистеми та виконавчих механізмів;
- температуру робочої рідини;
- просторове положення завантажувального пристрою.

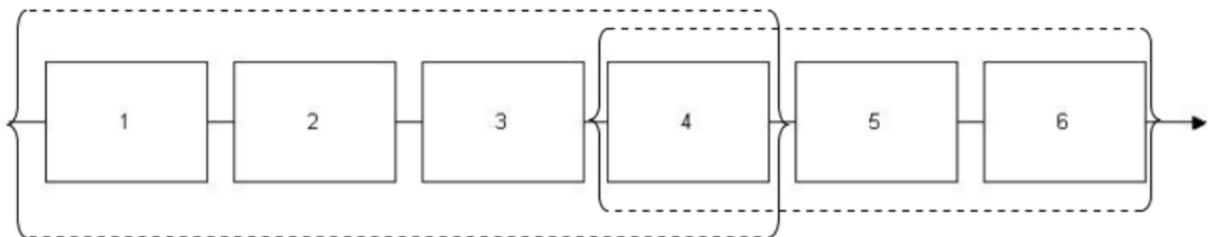
На наступному етапі необхідно вибрати підхід і математичний опис моделі, що найповніше задовольняє заданим вимогам.

## 2.2 Вибір та обґрунтування підходу до математичного моделювання

Система приводу спеціального обладнання автомобіля для збирання та транспортування ТПВ складається з набору транспортування ТПВ складається з набору взаємопов'язаних елементів. Тому математична модель такої системи повинна відображати як динаміку функціонування окремих елементів, так і системи в цілому [20].

Модель зміни витрати палива спеціальних автомобілів для збирання та транспортування ТПВ у технологічному режимі транспортування ТПВ в технологічному режимі експлуатації була представлена сукупністю роботи двох підсистем (рисунок 2.1):

- підсистема "двигун внутрішнього згоряння - гідравлічний насос" (позиції 1-4, рисунок 2.1);
- підсистема "гідравлічний насос - гідроциліндр" (позиції 4-6, рисунок 2.1).



1 - двигун, 2 - коробка передач, 3 - коробка відбору потужності, 4 - гідравлічний насос, 5 - гідророзподільник, 6 - гідроциліндр.

Рисунок 2.1 - Структурна схема моделі

Двигун внутрішнього згоряння (1) через коробку передач (2) і коробку відбору потужності (3) приводить у рух вал гідравлічного насоса (4). Насос нагнітає робочу рідину в гідророзподільник (5). Рідина під тиском надходить у робочий гідроциліндр (6). У разі, коли одночасно працюють кілька гідроциліндрів, потік рідини ділиться.

Для кожного елемента структурної схеми моделі необхідно скласти математичний опис.

Підсистему "гідравлічний насос - гідроциліндр" необхідно розглядати як гідропривод, що складається з елементів: гідравлічний насос, гідророзподільник, гідроциліндр. На сьогоднішній день математичне моделювання гідроприводів і процесів, що протікають у них, широко розроблено дослідниками.

Кожен учений балансує між прагненням врахувати більшість факторів і фізичних процесів, що протікають у гідроприводі, і мінімального ускладнення моделі. Для зниження кількості припущень, моделювання процесів, що відбуваються в досліджуваному гідроприводі, доцільно будувати на основі законів збереження маси, енергії та кількості рухів [6].

До найпростіших належать моделі гідроприводу, для яких характерні такі допущення:

- рідина нестислива;
- течія рідини розглядається як одновимірна та квазістаціонарна;
- температура РР постійна, тобто процес ізотермічний;
- приведена маса постійна.

Робота спеціального обладнання автомобіля в реальних умовах експлуатації здійснюється за постійної зміни температури навколишнього повітря, і, відповідно, температури робочої рідини. Таким чином, припущення про сталість температури РР під час моделювання системи "гідравлічний насос-гідроциліндр" приймати не можна.

Згідно з підходом, що розглядається в наукових роботах гідравлічна рідина вважається стисливою в зосередженому об'ємі (зазвичай у гідродвигуні). Також відмінність підходу від більш простих - це врахування зміни ентропії

(температури) рідини. Якщо теплота до рідини на кордонах і в об'ємі не підводиться (як, наприклад, у гідросистемі досліджуваного автомобіля), то врахування зміни ентропії дасть змогу визначити розподіл температури в полі тиску.

У складніших моделях враховуються хвильові процеси в трубопроводах.

Для математичного моделювання гідроприводу спеціального автомобіля для збирання та транспортування ТПВ достатньо вважати рідину стисливою в зосередженому об'ємі, оскільки в завдання не входить вивчення гідравлічних ударів, швидкості відкриття/закриття клапанів, тому значно ускладнювати модель урахуванням хвильових процесів немає необхідності.

Розроблена математична модель дасть змогу прогнозувати зміну тиску, температури та густини РР залежно від режиму роботи спеціального обладнання, маси вантажу, що піднімається, і просторового положення маніпулятора.

У моделі прийнято такі припущення: рідина стислива в зосередженому об'ємі, течія рідини квазістаціонарна в об'ємі, що розглядається, хімічний склад взаємодіючих речовин і матеріалів гідросистеми постійний, зміна температури враховується для кожного замкнутого об'єму окремо (тобто за постійного об'єму), процес подачі РР відбувається практично миттєво, впливом хвильових явищ у трубопроводах нехтуємо, подача насоса постійна.

Під час моделювання підсистеми "двигун внутрішнього згорання - гідравлічний насос" було обрано підхід побудови паливної характеристики автомобіля за допомогою багатопараметрової характеристики двигуна. Цей підхід ґрунтується на такому. Під час моделювання підсистеми "гідравлічний насос - гідроциліндр" визначається залежність потужності  $N_H$ , необхідної для роботи спеціального обладнання, від навантаження на штокові гідроциліндра. Крім того, відомі передаточні числа приводу насоса від колінчастого вала двигуна  $\eta_{np}$  і робоча частота обертання двигуна  $n$ . Тоді для низки обраних значень маси відходів, що піднімаються, можна визначити потужність двигуна  $N_H$ :

$$N_H = N_{\text{насос}} / \eta_{\text{пр}} \quad (2.1)$$

За цими даними знаходяться на МПХ двигуна (у координатах  $M_{e-n}$ ) відповідні точки перетину ординати частоти обертання з лініями постійної потужності або обчислюється крутний момент, виходячи з отриманих значень потужності та частоти обертання. Таким чином, виходить характеристика моменту опору споживача, приведенного до валу двигуна. Перетин цієї характеристики з лініями постійних питомих витрат палива дає змогу побудувати залежності  $g_e = f_1(m_0)$  і  $G_T = f_2(m_0)$ . Потім з урахуванням густини палива ( $\rho_T$ ) і часу роботи спеціального обладнання ( $t_{\text{техн}}$ ) будується залежність витрати палива в технологічному режимі експлуатації  $Q_{\text{техн}}$  від маси відходів, що завантажуються ( $m_0$ ), тобто  $Q_{\text{техн}} = f_3(m_0)$  в літрах.

На рисунку 2.2 показано спосіб визначення питомої витрати палива на прикладі багатопараметрової характеристики дизеля КамАЗ-740. Аналізуючи зміни  $g_e$ , можна відзначити, що зниження навантаження на колінчастому валу двигуна при всіх частотах обертання призводить до зростання питомої витрати палива. Ступінь зростання витрат залежить від частоти обертання двигуна. На високих і низьких обертах спостерігається погіршення паливної економічності. Існує область мінімальних витрат палива, до якої і слід прагнути під час дослідження процесу витрати палива.

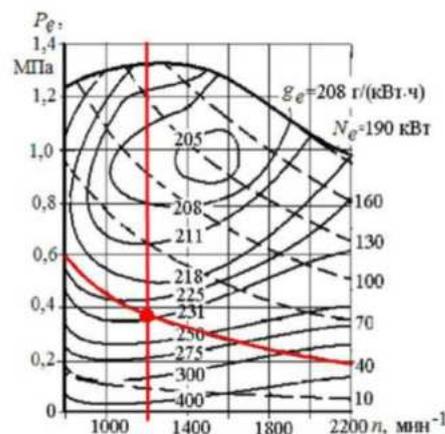


Рисунок 2.2 - Визначення питомої витрати палива за багатопараметровою характеристикою дизельного двигуна КамАЗ - 740.

У моделі прийнято такі допущення: частота обертання двигуна постійна; двигун повністю справний і прогрітий до робочих температур; процеси, що протікають у системі паливоподачі, розглядаються як ізотермічні; теплообмін з навколишнім середовищем не враховується.

Розглянутий підхід задовольняє вимогам цього дослідження і дає змогу повністю розв'язати поставлені завдання. Застосування більш складних підходів, що враховують газодинамічні та гідромеханічні процеси в двигуні [24], недоцільне, зважаючи на невиправдано великі трудовитрати під час моделювання.

Далі необхідно провести математичне моделювання роботи розглянутих підсистем.

## 2.3 Математичне моделювання підсистеми "гідравлічний насос - гідроциліндр".

### 2.3.1 Розрахунок гідравлічного приводу автомобіля.

Підсистему "гідравлічний насос - гідроциліндр" необхідно розглядати як гідропривод, що складається з елементів: гідравлічний насос, гідророзподільник, гідроциліндр.

Математичний опис функціонування насоса складається з двох підсистем рівнянь [68]:

а) підсистема, що описує зміну стану робочого тіла, включає [23]:

- рівняння швидкості зміни густини (питомого об'єму) робочого тіла;
- рівняння швидкості зміни тиску робочого тіла;
- швидкість зміни температури отримано за допомогою рівняння стану

Ван-дер-Ваальса;

б) підсистема, що описує рух твердих ланок, включає:

рівняння переміщення поршня насоса:

$$X_n = \frac{D}{2} \cdot \sin(\gamma) \cdot (1 - \cos(\beta)) \quad (2.2)$$

рівняння швидкості насоса [72]:

$$V_n = \Omega \cdot \frac{D}{2} \cdot \sin(\gamma) \cdot \sin(\beta) \quad (2.3)$$

де  $X_n$  – координата переміщення поршня насоса, м;

$V_n$  – швидкість переміщення поршня насоса, м/с;

$D$  – діаметр диска насоса, м;

$\Omega$  – кутова швидкість обертання валу насоса, м/с;

$\gamma$  – кут нахилу диска, град;

$\beta$  – кут повороту диска, град.

Математичний опис функціонування гідроциліндрів аналогічний до за структурою опису насоса і складається з двох підсистем рівнянь [22]:

а) підсистема, що описує зміну стану робочого тіла, включає:

- рівняння швидкості зміни густини (питомого об'єму) робочого тіла;
- рівняння швидкості зміни тиску робочого тіла; швидкість зміни

температури отримано за допомогою рівняння стану Ван-дер-Вальса.

б) підсистема, що описує рух твердих ланок, включає:

рівняння руху поршня гідроциліндра

$$\frac{dV_g}{dt} = \frac{1}{m_p} \cdot (S_p \cdot \Delta p - R_n - v \cdot V_g), \quad (2.4)$$

рівняння координати переміщення поршня гідроциліндра

$$\frac{dX_g}{dt} = V_g, \quad (2.5)$$

де  $X_g$  – координата переміщення поршня гідроциліндра, м;

$V_g$  – швидкість переміщення поршня гідроциліндра, м/с;

$m_p$  – маса штока з поршнем і гідроциліндра, кг;

$S_p$  – площа поршня, м<sup>2</sup>;

$R_n$  – навантаження на штоці, Н;

$\nu$  – коефіцієнт тертя, Н;

$\Delta p$  – перепад тиску в лівій і правій площині (відносно поршня) гідроциліндра, Па.

Гідророзподільник не має рухомих частин, являє собою проточну порожнину постійного об'єму, тому математичний опис його функціонування базується тільки на зміні стану робочого тіла.

Навантаження на штоку гідроциліндра  $R_n$  слід задавати з урахуванням просторового положення підйомного пристрою, тому необхідно провести розрахунок просторового положення завантажувального порталу автомобіля.

2.3.2 Розрахунок просторового положення підйомного пристрою спеціального автомобіля.

Розрахунок просторового положення підйомного пристрою проводиться з метою визначення зміни миттєвої витрати палива під час підйому контейнера з ТПВ. На рисунку 2.3 представлено кінематичну схему підйомного пристрою спеціального автомобіля із заднім завантаженням БМ-53229-1.

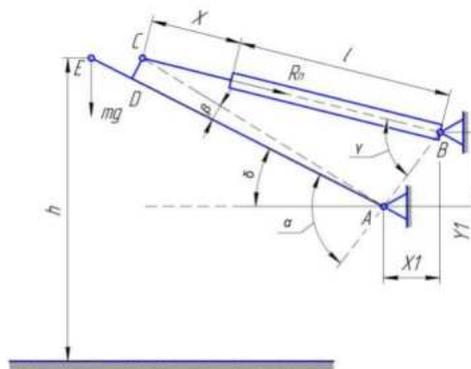


Рисунок 2.3 - Розрахункова схема підйомного пристрою спеціального автомобіля БМ-53229-1.

Підйомний пристрій є складною механічною системою, тому визначення реакцій зв'язків за допомогою рівнянь рівноваги є занадто громіздким і малопродатним.

У цьому разі доцільніше використовувати принцип можливих переміщень, згідно з яким умовою рівноваги системи сил, прикладених до підйомного пристрою, підпорядкованого стаціонарним двостороннім та ідеальним зв'язкам, полягає в рівності нулю суми елементарних робіт навантаження на штоку гідроциліндра зламу стріли і ваги вантажу на будь-якому можливому переміщенні системи з розглянутого положення:

$$m \cdot g \cdot dh + R_n \cdot dx = 0, \quad (2.6)$$

де  $R_n$  - сила, що діє на шток гідроциліндра, Н;

$d_x$  - можливе переміщення поршня гідроциліндра порталного завантаження, м;

$m$  - маса контейнера з ТПВ, кг;

$g$  - прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$d_h$  - можливе переміщення контейнера з ТПВ, м.

Тоді з формули (2.6), маса контейнера з ТПВ дорівнюватиме:

$$m = -\frac{R_n \cdot dx}{g \cdot dh}, \quad (2.7)$$

Для того, щоб пов'язати можливе переміщення поршня гідроциліндра  $d_x$  з можливим кутом переміщення порталу, необхідно скористатися теоремою косинусів:

$$AC^2 = (x + L)^2 + AB^2 - 2(x + L)AB \cos \gamma, \quad (2.8)$$

де  $x$  - переміщення штока гідроциліндра порталного завантаження, м;

$L$  - довжина гідроциліндра порталного завантаження, м;

$\gamma$  - кут між віссю гідроциліндра і прямою, що з'єднує точки кріплення рами порталу і гідроциліндра до кузова, град.

$AB$  є гіпотенузою в прямокутному трикутнику  $AOB$  і знаходиться як квадратний корінь із суми квадратів катетів:

$$AB = \sqrt{X_1^2 + Y_1^2}, \quad (2.9)$$

де  $X_1, Y_1$  - відстань між точками кріплення рами порталу і гідроциліндра порталного завантаження до кузова, м;

Аналогічно, з трикутника  $ACD$  знаходимо відстань між кріпленням порталу до кузова і шарніром гідроциліндра  $AC$  та кут  $\beta$ :

$$AC = \sqrt{AD^2 + CD^2}, \quad (2.10)$$

$$\beta = \arctg \frac{CD}{AD}, \quad (2.11)$$

Перетворивши рівняння (2.8):

$$2(x + L)AB \cos \gamma = (x + L)^2 + AB^2 - AC^2, \quad (2.12)$$

Відобразивши осі гідроциліндра порталного завантаження і порталу на пряму  $AB$ , виходить співвідношення:

Підставляючи вираз (2.13) у (2.12):

$$2AB[AB + AC \cos(\alpha + \beta)] = (x + L)^2 + AB^2 - AC^2, \quad (2.14)$$

Отримане рівняння (2.14) записується в диференціалах відносно  $x$  і  $\alpha$ :

$$-2AB \cdot AC \sin(\alpha + \beta) d\alpha = 2(x + L) dx, \quad (2.15)$$

Таким чином, переміщення поршня гідроциліндра  $d_x$  можна знайти за формулою:

$$dx = -\frac{AB \cdot AC \sin(\alpha + \beta)}{x + L} d\alpha, \quad (2.16)$$

Необхідно пов'язати можливе переміщення контейнера  $d_h$  з можливим кутом переміщення порталу  $d_\alpha$ :

$$dh = AE \cos \delta d\delta, \quad (2.17)$$

Оскільки  $d_\delta = d_\alpha$ , рівність (2.17) можна записати в такому вигляді:

$$dh = AE \cos \delta d\delta, \quad (2.18)$$

Підставляючи отримані співвідношення у формулу (2.7), масу контейнера з ТПВ можна визначити з виразу:

$$mgAE \cos \delta d\alpha = R_n \frac{AB \cdot AC \sin(\alpha + \beta)}{x + L} d\alpha, \quad (2.19)$$

Таким чином, масу контейнера з ТПВ під час підйому можна визначити за формулою:

$$m = R_n \frac{AB \cdot AC \sin(\alpha + \beta)}{AE \cos \delta (x + L) g}, \quad (2.20)$$

Визначити навантаження на штоку гідроциліндра залежно від просторового положення порталу можна з рівняння (2.20):

$$R_n = \frac{m \cdot AE \cos\delta(x + L)g}{AB \cdot AC \sin(\alpha + \beta)}, \quad (2.21)$$

Коефіцієнт  $k_{\text{ман}}$  можна представити у вигляді відношення геометричних характеристик підйомного пристрою (формула 2.21). Таким чином, вираз 2.21 можна представити у вигляді:

$$R_n = k_{\text{ман}} \cdot m \cdot g, \quad (2.22)$$

Тиск у штоковій порожнині гідроциліндра портального завантаження  $p_1$  можна представити у вигляді:

$$p_1 = \frac{R_n}{S_{\text{п}} - S_{\text{шт}}}, \quad (2.23)$$

де  $S_{\text{п}}$  - площа поршня гідроциліндра,  $\text{м}^2$ ;

$S_{\text{шт}}$  - площа штока гідроциліндра,  $\text{м}^2$ .

Підставляючи рівняння (2.22) у (2.23), можна визначити залежність тиску в штоковій порожнині гідроциліндра від маси контейнера з ТПВ в будь-який момент часу:

$$p_1 = \frac{k_{\text{ман}} \cdot m \cdot g}{S_{\text{п}} - S_{\text{шт}}}, \quad (2.24)$$

У розробленій математичній моделі моделювання динаміки підсистеми "двигун внутрішнього згоряння - гідравлічний насос" не проводилося. Таким чином, для визначення впливу зовнішніх факторів на витрату палива, модель необхідно доповнити відповідним розрахунком.

## 2.4 Математичне моделювання підсистеми "двигун внутрішнього згоряння - гідравлічний насос".

Під час розроблення математичної моделі витрати палива мають бути використані основні теоретичні залежності з теорії двигунів і експериментальні багатопараметрові характеристики за конкретним двигуном [22].

Для розрахунку годинної витрати палива необхідно питому витрату палива  $g_e$  помножити  $N_H$  на потужність [14]:

$$G_T = \frac{N_H \cdot g_e}{\rho_{\text{пал}}} \cdot 10^{-3}, \quad (2.25)$$

де  $G_T$  - годинна витрата палива при виконанні робіт у технологічному режимі експлуатації, л/год;

$g_e$  - питома витрата палива, кг/(кВт\*год);

$N_H$  - навантаження на колінчастому валу двигуна, кВт;

$\rho_{\text{пал}}$  - густина палива, кг/м<sup>3</sup>.

Під час моделювання підсистеми "двигун внутрішнього згоряння - гідравлічний насос", потужність двигуна необхідна для переміщення робочого гідроциліндра та підйому робочого гідроциліндра і підйому вантажу масою  $m_o$ :

$$N_H = \frac{p_1 \cdot Q}{\eta_{\text{пр}} \cdot \eta_n \cdot \eta_{\text{гс}}}, \quad (2.26)$$

де  $\eta_{\text{пр}}$  - об'ємний ККД приводу насоса від двигуна через коробку передач і коробку відбору потужності;

$\eta_{\text{гс}}$  - об'ємний ККД гідросистеми;

$\eta_n$  - об'ємний ККД насоса;

$Q$  - подача насоса, м<sup>3</sup>/сек.

Подача насоса розраховується [6]:

$$Q = V_0 \cdot n_H = V_0 \cdot n_{дв} \cdot z_{дв-н}, \quad (2.27)$$

де  $V_0$  - робочий об'єм насоса, м<sup>3</sup>,

$n_H$  - частота обертання вала насоса, сек<sup>-1</sup>;

$n_{дв}$  - частота обертання двигуна базового шасі, сек<sup>-1</sup>;

$z_{дв-н}$  - передаточне відношення від двигуна до насоса.

Таким чином, навантаження на двигуні базового шасі визначатиметься виходячи з формул (2.24) і (2.26):

$$N_H = \frac{m \cdot n_{дв} \cdot g \cdot V_0 \cdot z_{дв-н} \cdot k_{ман}}{(S_n - S_{шт}) \cdot \eta_{пр} \cdot \eta_H \cdot \eta_{гс}} \cdot 10^{-3}, \quad (2.28)$$

За МПХ досліджуваного двигуна визначається питома витрата палива  $g_e$  для заданої частоти обертання двигуна і розрахованого навантаження.

Кількість фактично витраченого палива під час завантаження контейнера з ТПВ визначається за формулою:

$$Q_{техн}^{заг} = \frac{g_e \cdot N_H}{\rho_{пал}} \cdot t_{заг} \cdot 10^{-3}, \quad (2.29)$$

де  $Q_{техн}^{заг}$  - кількість витраченого палива під час завантаження контейнера з ТПВ, л;

$t_{заг}$  - час завантаження контейнера з ТПВ, год.

Час роботи автомобіля в технологічному режимі можна представити як сумарний час виконання кожної технологічної операції

$$t_{техн} = t_{заг} + t_{п.з.заг} + t_{раз} + t_{прес}, \quad (2.30)$$

де  $t_{заг}$  - середній час операції із завантаження кузова, год;

$t_{п.з.заг}$  - час на підготовчо-заклучні операції із захоплення контейнера, год;

$t_{роз}$  - середній час операції з розвантаження кузова, год;

$t_{прес}$  - середній час операції пресування відходів, год.

Аналіз тривалості робочого циклу дає змогу виділити основну операцію робочого циклу машини в технологічному режимі експлуатації:  $t_{заг}$  - тривалість завантаження контейнера в кузов. Решта операцій циклу є допоміжними, мають імовірнісний характер і можуть бути враховані у вигляді коефіцієнта [24].

Тривалість підготовчо-заключних операцій під час завантаження контейнера і розвантаження кузова може бути враховане коефіцієнтом допоміжних операцій  $K_{доп.заг}$ . Цей коефіцієнт слід віднести до операції завантаження кузова  $t_{заг}$ . Величина коефіцієнта  $K_{доп.заг}$  встановлюється на підставі аналізу сумарного часу робочого циклу машини [24].

Математичну модель пропонується представити у вигляді нової залежності зміни витрати палива в технологічному режимі експлуатації спеціального автомобіля для збирання та транспортування ТПВ від маси відходів, що завантажуються, та обертів двигуна базового шасі.

$$Q_{техн} = \sum_{i=1}^k \frac{m_i \cdot \eta_{дв}^i \cdot g \cdot V_0 \cdot z_{дв-н} \cdot t_{заг}^i}{(S_n - S_{шт}) \cdot \eta_{пр} \cdot \eta_n \cdot \eta_{гс} \cdot 10^6} \quad (2.31)$$

де  $Q_{техн}$  - норма витрати палива в технологічному режимі експлуатації, л;

$k$  - кількість завантажених контейнерів з ТПВ;

$K_{доп.оп}$  - коефіцієнт, що враховує допоміжні операції під час завантаження кузова спеціального автомобіля.

Отриману модель пропонується використовувати як розрахункову під час визначенні норми витрати палива за рейс на автотранспортному підприємстві.

## 2.5 Розробка комп'ютерної програми

На основі отриманих математичних залежностей створено програмне забезпечення мовою програмування TurboPascal 7.0.

Програма розрахунку системи приводу спеціального обладнання має модульну структуру і складається з 6 модулів, які містять вихідні дані для розрахунку, опис процедур і функцій, рівняння, що описують роботу підсистем "двигун внутрішнього згоряння - гідравлічний насос" і "гідравлічний насос - гідроциліндр", алгоритми розрахунку допоміжних величин. Диференціальні рівняння гідравліки розв'язуються методом Рунге-Кутта.

Після запуску програми на екран виводяться такі параметри:  $p_1$ ,  $n$ ,  $T$  окремо для кожного замкнутого об'єму (робочі порожнини насоса, гідророзподільник, робочі порожнини гідроциліндрів) і значення обертів насоса і двигуна базового шасі, а також фактична витрата палива.

Відкриття і закриття золотників, що з'єднують гідророзподільник і гідроциліндри, проводиться за допомогою спеціальних алгоритмів, що імітують різні режими роботи. Також у програмі задано закон навантаження гідроциліндрів.

Крок розрахунку задається вручну, чим менший крок, тим, відповідно довша тривалість розрахунків. Було обрано крок  $1 \cdot 10^{-5}$  с, при цьому тривалість розрахунку повного висування штока одного гідроциліндра займала близько 30 хвилин на комп'ютері з процесором частотою 2 ГГц. Результати розрахунків зберігалися в текстовому файлі REZ.dat, який зручно аналізувати за допомогою програми MathCAD.

## 2.6 Висновки до другого розділу

1. Вибрано параметри та математичні залежності, що характеризують зміну витрати палива спеціального автомобіля для збору та транспортування ТПВ під час роботи спеціального обладнання.

2. Розроблено математичну модель зміни витрати палива спеціального автомобіля для збору та транспортування ТПВ у технологічному режим експлуатації, в якій вперше враховані фактори: маса вантажу та оберти двигуна базового шасі. Модель дозволяє визначати витрату палива в технологічний режим експлуатації спеціальних автомобілів.

3. На основі математичної моделі створено комп'ютерну програму.

## РОЗДІЛ 3 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 3.1 Загальна методика експериментальних досліджень

#### 3.1.1 Цілі та завдання експериментальних досліджень

Мета експериментальних досліджень - це перевірка адекватності математичної моделі реальному об'єкту, а також визначення чисельних значень параметрів математичної моделі.

Завданнями експериментальних досліджень є:

- оцінка впливу чинників на витрату палива в технологічному режимі експлуатації;
- перевірка закономірностей впливу роботи виконавчих механізмів на витрату палива спеціальних автомобілів для збирання та транспортування ТПВ в технологічному режимі експлуатації;
- транспортування ТПВ в технологічному режимі експлуатації;
- оцінка чисельних значень параметрів математичної моделі.

#### 3.1.2 Методи експериментальних досліджень

Для отримання дослідних даних проводився активний натурний експеримент. Під час нього, дослідник керує рівнем незалежних змінних (факторів) і вивчає безпосередньо об'єкт досліджень [21].

Таким чином, під час підготовки експерименту необхідно:

1. розробити план експерименту;
2. визначити кількість рівнів кожного фактора, за яких змінюється параметр оптимізації;
3. скласти матрицю плану експерименту і визначити кількість вимірювань у кожній точці матриці;

4. визначити перелік необхідного обладнання та оцінити похибку вимірювань;

5. обрати методики обробки результатів натурних випробувань. На основі активного натурального експерименту розв'язували завдання 1-3.

3.2 Аналіз факторів, що впливають на витрату палива спеціального автомобіля для збирання та транспортування ТПВ під час роботи в технологічному режимі експлуатації

Аналіз літературних джерел і раніше виконаних досліджень дозволив сформулювати перелік чинників, що впливають на витрату палива спеціального автомобіля для збирання та транспортування ТПВ в технологічному режимі експлуатації: маса завантажуваних відходів -  $X_1$ ; частота обертання двигуна базового шасі -  $X_2$ ; температура робочої рідини -  $X_3$ ; технічний стан систем і обладнання автомобіля -  $X_4$ ; природно-кліматичні умови -  $X_5$ .

Фактори  $X_1$  і  $X_2$  - керовані, таким чином, впливаючи на них можна домогтися зміни фактичної витрати палива під час роботи автомобіля в технологічному режимі експлуатації. На сьогоднішній день на більшості автотранспортних підприємств діє система планово-попереджувального ремонту, це має на увазі, що автомобіль, виїжджаючи на лінію, повністю справний. Отже, фактор  $X_4$  - не впливатиме на витрату палива під час експлуатації. Навіть під час експлуатації в зимовий період, гідравлічна система спеціального автомобіля прогривається до робочої температури вже під час завантаження перших двох контейнерів з ТПВ, відповідно, істотного впливу на витрату палива під час роботи в технологічному режимі фактор  $X_3$  надавати не буде. Таким чином, експеримент доцільно проводити за прогрітої гідравлічної системи до робочої температури. Природно-кліматичні умови  $X_5$  - некерований фактор, але він справляє значний вплив на процес сумішоутворення в двигуні базового шасі. Тому цей фактор необхідно враховувати під час розрахунку норм витрат палива на підприємстві.

До початку планування експерименту необхідно вибрати область визначення факторів, тобто верхню і нижню межі зміни кожного фактора під час роботи спеціального автомобіля для збирання і транспортування ТПВ в технологічному режимі експлуатації. Далі в області визначення виділити локальну підобласть для планування експерименту на реальному об'єкті. Вибір цієї підобласті складається з вибору основного рівня та вибору інтервалів варіювання.

Частота обертання двигуна  $X_2$  має область визначення від 600 до 2200 об/хв. Нижня межа обумовлена оборотами холостого ходу двигуна, а верхня - режимом номінальної потужності. Для проведення експериментальних досліджень межі локальної підобласті визначалися з умови можливості функціонування гідравлічної системи спеціального автомобіля в нормальному режимі. Цій умові відповідає частота обертання двигуна від 1200 до 1600 об/хв. Нульове значення було прийнято - 1400 об/хв.

Область визначення маси підіймаємого вантажу  $X_1$ , лежить у діапазоні від 500 кг до 3000 кг. Верхня межа обумовлена вантажопідйомністю навантажувального обладнання і є гранично допустимою масою підіймаємого вантажу. Нижня межа обумовлена масою порожнього контейнера. Під час вибору локальної підобласті для натурних досліджень верхню межу обирали з урахуванням об'єму підіймаємого контейнера і максимальної щільності ТПВ і становила 2000 кг. Як нульовий рівень було обрано центр підобласті - 1250 кг.

Інформація за керованими факторами  $X_1$  і  $X_2$  для реальних умов експлуатації (область визначення) і для експериментальних досліджень (підобласть визначення) представлена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Області та підобласті визначення факторів.

Фактор	Область визначення		Підобласть визначення	
	Нижня межа	Верхня межа	Нульовий рівень	Інтервал варіювання
Частота обертів двигуна базового шасі ( $X_1$ )	600 об/хв	2200 об/хв	1400 об/хв	$\pm 200$ об/хв
Маса вантажу ( $X_2$ )	500 кг	3000 кг	1250 кг	$\pm 750$ кг

Обидва фактори незалежні, тому що існує можливість встановлення кожного фактора на будь-який рівень незалежно від рівнів інших факторів і сумісні, тобто їхні комбінації здійсненні та безпечні. Таким чином, виконуються основні вимоги до сукупності факторів під час планування експерименту.

### 3.3 Методика планування експерименту

Було прийнято гіпотезу про те, що вихідна величина має лінійну залежність від факторів, тобто рівняння регресії двофакторної моделі буде матиме вигляд:

$$Y = f(X_1, X_2) = a_0 + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2, \quad (3.1)$$

де  $a_0, a_1, a_2$ , - параметри лінійного рівняння;

$X_1, X_2$ , - чинники, що впливають на значення величини.

Для оцінки параметрів лінійного рівняння множинної регресії необхідно перейти до рівняння у стандартизованому масштабі.

Представляємо змінні і як центровані та нормовані, тобто виражені як відхилення від середніх величин, поділені на стандартне відхилення:

$$x_1 = \frac{x_{1i} - \bar{X}_1}{\sigma_{X_1}}; \quad x_2 = \frac{x_{2i} - \bar{X}_2}{\sigma_{X_2}}; \quad y = \frac{Y_i - \bar{Y}}{\sigma_Y}, \quad (3.2)$$

Тоді рівняння множинної регресії набуде вигляду:

$$y = \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 \quad (3.3)$$

де  $\beta_1$  і  $\beta_2$  - стандартизовані коефіцієнти регресії (бета коефіцієнти)

Рівняння 3.3 не має вільного члена, оскільки всі змінні виражені через відхилення від середніх величин, а, як відомо:

$$a_0 = \bar{Y} - a_1 \cdot \bar{X}_1 - a_2 \cdot \bar{X}_2, \quad (3.4)$$

Стандартизовані коефіцієнти знаходяться методом найменших квадратів:

$$\sum_{i=1}^m (y_i - \hat{y}_i)^2 \rightarrow \min, \quad (3.5)$$

Або

$$\sum_{i=1}^m [y_i - (\beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2)]^2 \rightarrow \min, \quad (3.6)$$

де  $m$  - кількість дослідних точок.

Точка мінімуму знаходиться із системи рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{df}{d\beta_1} = 0; \\ \frac{df}{d\beta_2} = 0 \end{cases} \quad (3.7)$$

Отримуємо систему нормальних рівнянь, розв'язання яких дає значення параметрів рівняння множинної регресії:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^m y_i x_1 - \beta_1 \sum_{i=1}^m x_1 x_1 - \beta_2 \sum_{i=1}^m x_1 x_2 = 0; \\ \sum_{i=1}^m y_i x_2 - \beta_1 \sum_{i=1}^m x_1 x_2 - \beta_2 \sum_{i=1}^m x_2 x_2 = 0 \end{cases} \quad (3.8)$$

Тоді параметри і рівняння множинної регресії визначаються за формулами Крамера:

$$\beta_1 = \frac{\Delta\beta_1}{\Delta}; \beta_1 = \frac{\Delta\beta_1}{\Delta}, \quad (3.9)$$

Далі необхідно перевірити значущість кожного зі знайдених параметрів  $\beta_1$  і  $\beta_2$ . Із цією метою може використовуватися t-статистика Стюдента, дослідне значення якої обчислюється за формулою:

$$t_{\beta_i}^{\text{оп}} = \frac{\beta_i}{m_{\beta_i}}, (i = 0, 1 \dots n), \quad (3.10)$$

де  $m_{\beta_i}$  - середньоквадратична помилка коефіцієнта  $\beta_i$

$$m_{\beta_i} = \frac{\sigma_y \sqrt{1 - R_{yx_1x_2}^2}}{\sigma_{x_i} \sqrt{1 - R_{x_ix_1x_2}^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{m - n - 1}}, \quad (3.11)$$

де  $\sigma_y$  - середнє квадратичне відхилення для значень змінної  $y$ ;

$\sigma_{x_i}$  - середнє квадратичне відхилення для значень  $x_i$ ;

$R_{yx_1x_2}^2$  - коефіцієнт множинної детермінації для рівняння регресії в цілому;

$R_{x_ix_1x_2}^2$  - коефіцієнт множинної детермінації, що характеризує залежність між фактором  $x_i$  та іншими факторами рівняння регресії.

Дослідне значення критерію необхідно порівняти з його критичним значенням  $t_{\beta_1}^{\text{оп}}$  - точкою розподілу Стюдента  $t_{кр}(\alpha, k)$  за заданого рівня значущості  $\alpha$  і кількості ступенів свободи  $k=m-n-1$ . Значення рівня значущості було прийнято  $\alpha=0,05$ .

Гіпотезу про значущість коефіцієнта не відкидають, якщо відповідний фактор  $x_i$  залишається в рівнянні.

Від стандартизованої регресії можна перейти до рівняння регресії в натуральному масштабі, тобто отримати рівняння регресії:

$$Y = a_0 + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2, \quad (3.12)$$

Коефіцієнти регресії в натуральному масштабі знаходяться на основі - коефіцієнтів:

$$a_1 = \beta_1 \frac{\sigma_0}{\sigma_1}; \quad a_2 = \beta_2 \frac{\sigma_0}{\sigma_2}, \quad (3.13)$$

де  $\sigma_0 = \sigma_Y$ ,  $\sigma_1 = \sigma_{X_1}$ ,  $\sigma_2 = \sigma_{X_2}$

Далі необхідно перевірити адекватність знайденого рівняння регресії дослідним даним. Для перевірки значущості рівняння регресії в цілому можна використовувати F-статистику Фішера. Дослідне значення  $F_{\text{оп}}$  обчислюється за формулою:

$$F_{\text{оп}} = \left( \sum_{i=1}^m [f(X_{i1}, X_{i2}) - \bar{Y}]^2 / \sum_{i=1}^m [Y_i - f(X_{i1}, X_{i2})]^2 \right) \frac{(m - n - 1)}{n}, \quad (3.14)$$

де  $\bar{Y}$  - середнє дослідних значень випадкової величини  $Y$ .

Отримане значення порівнюють із критичним значенням  $F_{\text{кр}}(\alpha; (m-n-1); n)$  критерію Фішера. Рівняння регресії загалом вважається значущим у разі виконання нерівності  $F_{\text{оп}} > F_{\text{кр}}$ . В іншому випадку вважають, що рівнянням не можна користуватися як підставою для прийняття рішень.

Перевірка рівняння регресії на адекватність проводиться за середньою помилкою апроксимації.

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{|Y_i - f(X_{i1}, X_{i2})|}{Y_i} 100\%, \quad (3.15)$$

Рівняння регресії вважається адекватним, якщо середня помилка апроксимації не перевищує 12...15%.

### 3.4 Обладнання для проведення експериментальних досліджень

Обладнання, необхідне для проведення експерименту, можна розділити на три основні групи:

- обладнання для визначення маси вантажу;
- обладнання для визначення витрати палива;
- обладнання для визначення частоти обертання двигуна.

Для визначення маси відходів, що завантажуються, раніше була розроблена автоматична бортова система зважування, заснована на методі вимірювання маси відходів за величиною тиску робочої рідини в гідросистемі [23].

Пристрій складається з компактного персонального комп'ютера (КПК), терміналу, датчика тиску, датчика температури та проводу.

Термінал розроблено на основі аналого-цифрового перетворювача (АЦП) і додатково включає GSM-модуль, GPRS-модуль, GPS-модуль для визначення маршруту руху, швидкості руху на маршруті, пробіг, кількість рейсів (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Термінал

Сумарна похибка терміналу не перевищує 0,3%.

Для вимірювання тиску робочої рідини (PP) у гідросистемі спеціального автомобіля із заднім завантаженням використовувався датчик тиску DMP 330L (рисунок 3.2). Датчик призначений для використання в системах автоматичного контролю, регулювання та керування технологічними процесами в різних галузях промисловості. Похибка датчика тиску склала не більше 0,9%.

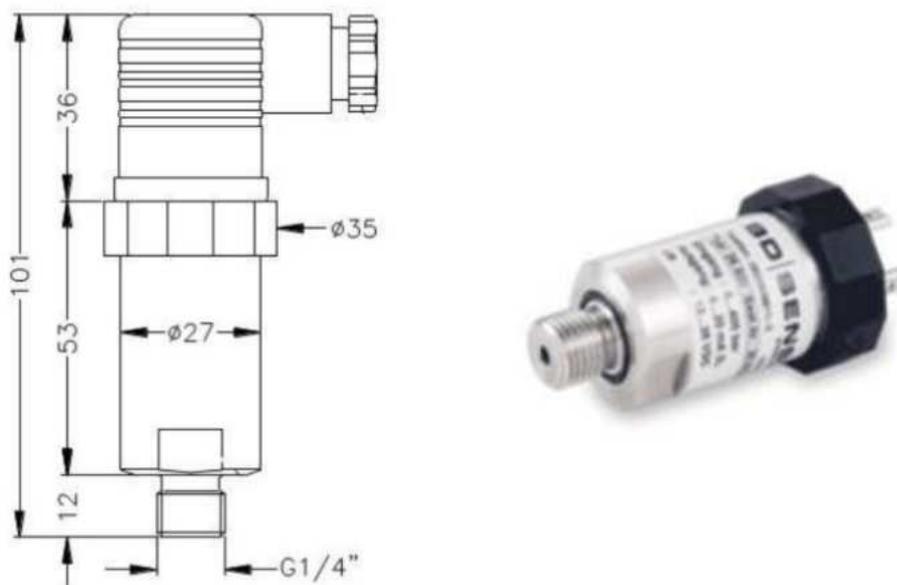


Рисунок 3.2 - Датчик тиску DMP 330L.

Датчик тиску встановлювався в напірну магістраль гідроциліндра підйому завантажувального порталу автомобіля. Місце встановлення датчика тиску вказано на малюнку 3.3.



Рисунок 3.3 - Місце встановлення датчика тиску.

Для вимірювання температури РР в масляний бак встановлюється датчик DS18B20 - цифровий термометр із програмованою роздільною здатністю, від 9 до 12-bit, яка може зберігатися в пам'яті приладу. Діапазон вимірювань від  $-55^{\circ}\text{C}$  до  $+125^{\circ}\text{C}$  і точністю  $0.5^{\circ}\text{C}$ . DS18B20 може живитися напругою лінії даних ("parasite power"), за відсутності зовнішнього джерела напруги, при цьому максимальна вимірювана температура становитиме  $+100^{\circ}\text{C}$ , що цілком достатньо. Прилад являє собою температурний датчик з цифровим перетворювачем температури і оперативною пам'яттю. Похибка датчика температури DS18B20 склала 0,4% [23].

Під час підйому контейнера з відходами в пам'яті КПК створюється файл, у який зберігаються дата і час підйому, координати місця підйому (GPS-модуль), показання датчиків, зафіксовані за допомогою АЦП. Зібрана у файл інформація про масу ТПВ зберігається в пам'ять КПК і відправляється через інтернет (GSM/GPRS-модуль) на віддалений сервер. Для кожного нового місця збору створюється новий файл для запису даних. Одночасно, можливе графічне відображення зміни тиску в гідроциліндрі на екрані КПК. Після закінчення завантаження ТПВ на борт автомобіля запис у файл припиняється, і він зберігається в пам'яті терміналу і, за необхідності, передається через інтернет на віддалений сервер.

Частоту обертання двигуна базового шасі фіксували за даними штатного електронного тахометра 251.3813 з діапазоном показань 0-4000 об/хв. Похибка тахометра в середньому вкладається в обмеження щодо точності вимірювань частоти обертання колінчастого вала двигунів автомобілів у технічних цілях.

Для визначення витрати палива застосовувався ваговий метод, розглянутий у розділі 1.4. Для проведення експериментальних досліджень було розроблено схему підключення вимірювального обладнання для дизельного двигуна (рисунок 3.4).

Для перемикання напрямку подачі та зливу палива в напірну і зливну магістралі паливної системи було встановлено трипозиційні крани, які давали змогу здійснити роботу двигуна з вимірювальної ємності.

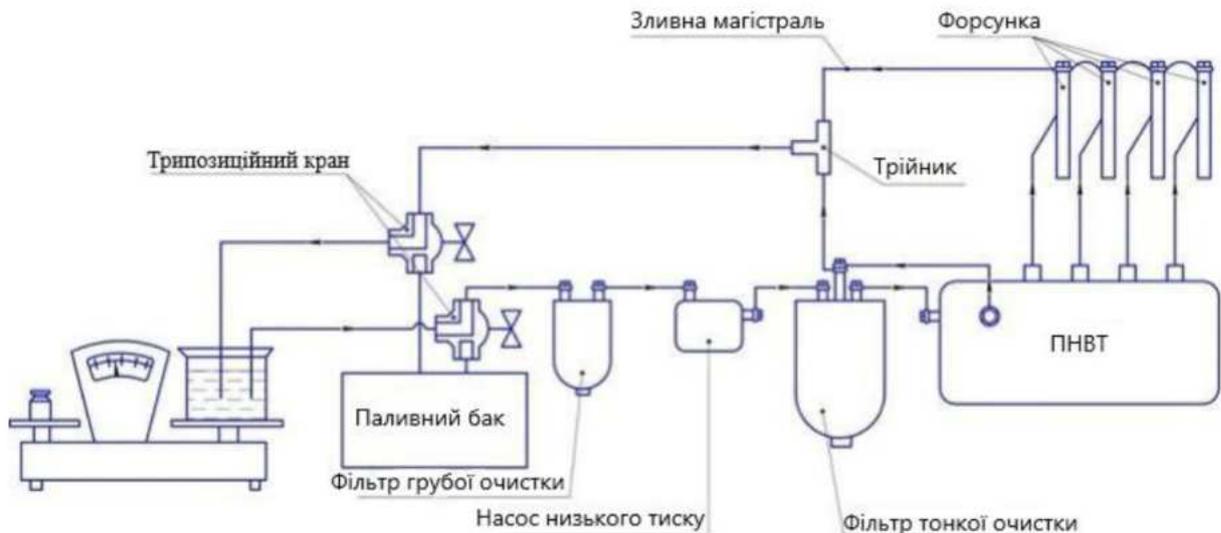


Рисунок 3.4 - Схема підключення вимірювального обладнання.

Маса витраченого палива фіксувалася на вагах з найбільшою межею зважування 60 кг і похибкою 0,2%. Під час проведення вимірювань ваги працювали від вбудованого акумулятора. Регулювання ваг за рівнем здійснювали за допомогою спеціальних ніжок, регульованих за висотою.

Час здійснення окремих операцій визначався за цифровим секундоміром із ціною поділки 0,01 с.

Таким чином, сумарна похибка системи вимірювання не перевищувала 3,15%.

### 3.5 Методика оцінки адекватності математичної моделі

Перевірка адекватності математичної моделі реальному об'єкту полягає у порівнянні даних, отриманих розрахунковим і експериментальним шляхом. Створена математична модель має якомога точніше описувати процеси, для того, щоб її можна було використовувати для аналітичних досліджень.

Для кожного фактора ( $X_1$ ,  $X_2$ ) необхідно оцінити середній розкид розрахункових та експериментальних значень вихідної величини  $Y$  відносно лінії регресії. Найпростіше вирішити це завдання можна за залишковими сумами квадратів, тобто шляхом порівняння дисперсій. Перевірка однорідності

дисперсій здійснювалася за допомогою критерію Фішера (F-критерій). Критерій Фішера являє собою порівняння відношення більшої дисперсії до меншої з табличною величиною F-критерію, за заданого рівня значущості  $\alpha$ .

Нехай генеральні сукупності, отримані розрахунковим і експериментальним шляхом, розподілені нормально. Тоді за незалежними вибірками для кожної точки експериментальних даних було розраховано дисперсію відтворюваності та дисперсію адекватності.

Дисперсія в кожному досліді, що складається з  $n$  повторних спостережень, визначається за формулою:

$$S^2 = \frac{\sum_{q=1}^n (y_q - \hat{y})^2}{n - 1}, \quad (3.16)$$

де  $\hat{y}$  - середнє значення вихідної величини;

$y_q$  - значення вихідної величини під час  $q$ -того спостереження в досліді;

$n$  - кількість повторних спостережень.

Дисперсію відтворюваності було отримано за формулою:

$$S_{(y)}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{q=1}^n (y_{iq} - \hat{y}_i)^2}{N(n - 1)}, \quad (3.17)$$

де  $N$  - кількість досліджуваних точок досліді.

Дисперсія адекватності, що характеризує розкид розрахункових і експериментальних даних, визначали за формулою:

$$S_{(y)}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_{iq} - y_i^p)^2}{N - K}, \quad (3.18)$$

де  $K$  - кількість визначуваних коефіцієнтів;

$y_{iq}$  -  $i$ -е значення вихідної величини в експерименті;

$y_i^p$  - і-е розрахункове значення вихідної величини.

За отриманими дисперсіями за заданого рівня значущості  $\alpha=0,05$  потрібно перевірити нульову гіпотезу  $H_0$ , яка полягає в тому, що дисперсії рівні між собою. Зрозуміло, дисперсії відрізняються, але завдання формулюється саме таким чином, тому що потрібно визначити значуще або незначуще розрізняються дисперсії. Якщо нульова гіпотеза підтвердиться, тобто дисперсії відрізняються незначущо, то математична модель зміни витрати палива в технологічному режимі роботи спеціального автомобіля для збирання та транспортування ТПВ адекватна реальному транспортування ТПВ адекватна реальним процесам. Якщо нульова гіпотеза буде відкинута, тобто дисперсії неоднакові, а відмінність дисперсій значуща, отже, математична модель потребує доопрацювання.

Як критерій перевірки нульової гіпотези про рівність дисперсій приймається відношення більшої дисперсії до меншої:

$$F = \frac{S_{\{y\}}^2}{S_{ад}^2}, \text{ якщо } S_{\{y\}}^2 > s_{ад}^2 \quad (3.19)$$

Або

$$F = \frac{S_{ад}^2}{S_{\{y\}}^2}, \text{ якщо } S_{\{y\}}^2 < s_{ад}^2 \quad (3.20)$$

де  $F$  - розрахункова величина  $F$ -розподілу.

Величина  $F$  має розподіл Фішера-Снедекора зі ступенями свободи  $n-1$  і  $N-K$ . Для перевірки нульової гіпотези про рівність дисперсій необхідно розрахункове значення  $F$  порівняти з табличним значенням критичної точки розподілу Фішера-Снедекора за таких самих ступенів свободи  $n-1$  і  $N-K$  і заданому рівні значущості  $\alpha$ . Було обрано рівень значущості  $\alpha=0,05$ .

Нульова гіпотеза підтверджується за умови:

$$F < F_{кр}(\alpha, n - 1, N - K) \quad (3.21)$$

При виконанні умови 3.15 математична модель зміни витрати палива в технологічному режимі експлуатації спеціального автомобіля палива в технологічному режимі експлуатації спеціального автомобіля адекватна реальному об'єкту. У разі невиконання умови (3.15) математична модель потребує доопрацювання.

### 3.6 Висновки до третього розділу

1. Проведено аналіз факторів, що впливають на вихідну величину. Визначено значущі чинники та межі їхньої зміни. Встановлено, що маса відходів, що завантажуються, і оберти двигуна базового шасі чинять найбільший вплив на витрату палива в технологічному режимі експлуатації спеціальних автомобілів. Для проведення експериментальних досліджень обрано інтервали зміни маси - від 500 кг до 2000 кг і обертів двигуна базового шасі - від 1200 об/хв до 1600 об/хв.

2. Обрано план проведення експериментальних досліджень і методика перевірки надійності отриманих даних, обрано методику перевірки адекватності математичної моделі зміни витрати палива спеціального автомобіля для збирання та транспортування ТПВ під час роботи в технологічному режимі експлуатації.

3. Розроблено та створено обладнання, необхідне для проведення експериментальних досліджень, і схема його підключення. Розраховано похибку системи вимірювань.

## РОЗДІЛ 4 ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Результати експериментальних досліджень впливу досліджуваних факторів на витрату палива в технологічному режимі

Експериментальні дослідження склалися з визначення годинної витрати палива під час роботи в технологічному режимі експлуатації. Експеримент проводився на базі комунального унітарного підприємства «ЕкоВін».

Експериментальні дослідження проводилися на об'єкті дослідження - спеціальному автомобілі для збирання та транспортування ТКО БМ-53229-1. Було отримано оцінку впливу кожного з факторів (маси вантажу, оборотів двигуна базового шасі) на величину годинної витрати палива під час підйому контейнерів з ТПВ різної маси. Експеримент проводився за класичним планом, тобто одна змінна вважалася постійною, а інша - змінною. Змінна величина змінювалася в усьому інтервалі значень. Результатом дослідження стала залежність годинної витрати палива від маси підіймаемого вантажу при трьох рівнях обертів двигуна. У цьому випадку класичний експеримент був незбалансованим. Для залежності годинної витрати палива від маси підіймаемого вантажу було отримано чотири рівні, від обертів двигуна базового шасі - три рівні. Експеримент проводили для найбільш значущої операції в технологічному режимі роботи: підйом/опускання бака з ТПВ.

Під час планування експерименту було прийнято гіпотезу про те, що вихідна величина - годинна витрата палива, має лінійну залежність від факторів, тобто рівняння регресії має вигляд:

$$Y = a_0 + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 \quad (4.1)$$

де  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  - параметри лінійного рівняння;

$X_1$  - маса контейнера з вантажем, кг;

$X_2$  - частота обертання двигуна базового шасі,  $\text{хв}^{-1}$ .

На спеціальний автомобіль у напірну і зворотні паливні магістралі були встановлені трипозиційні крани, для забезпечення роботи двигуна з вимірювальної ємності (рисунок 4.1, а, поз.1). Маса витраченого палива фіксувалася для кожного режиму завантаження контейнера на вагах (рисунок 4.1, а, поз.2). Для навантаження контейнера використовувалися еталонні вантажі - мішки із сипучим матеріалом (рисунок 4.1, б). Мішки до проведення експерименту були зважені та промарковані. Маса мішків становила від 20 до 25 кг.

У журналі спостережень фіксувалися: маса вантажу, маса витраченого палива окремо під час кожної операції, частота обертання двигуна, час операції і температура робочої рідини. двигуна, час операції і температура робочої рідини.



а, поз. 1 - місце встановлення трипозиційних кранів; а, поз. 2 - місце встановлення вимірювальної ємності та ваг; б - процес завантаження контейнера еталонними вантажами

Рисунок 4.1 - Експериментальні дослідження на спеціальному автомобілі

БМ-53229-1.

Під час проведення експерименту здійснювалося по три повторення на кожному рівні факторів. Одне повторення охоплювало п'ятикратний підйом контейнера з ТПВ, під час якого фіксували час підйомів і кількість витраченого палива. Під час проведення експерименту маса змінювалася на чотирьох рівнях від 500 кг - маса порожнього контейнера, до 2000 кг - граничне паспортне

навантаження на порталі. Обороти двигуна змінювалися на трьох рівнях від 1200 до 1600 об/хв.

Масу вантажу фіксували за допомогою раніше розробленої бортової системи зважування, що ґрунтується на визначенні маси за тиском робочої рідини в гідросистемі. Дані, отримані з бортової системи зважування, представлені на рисунку 4.2.

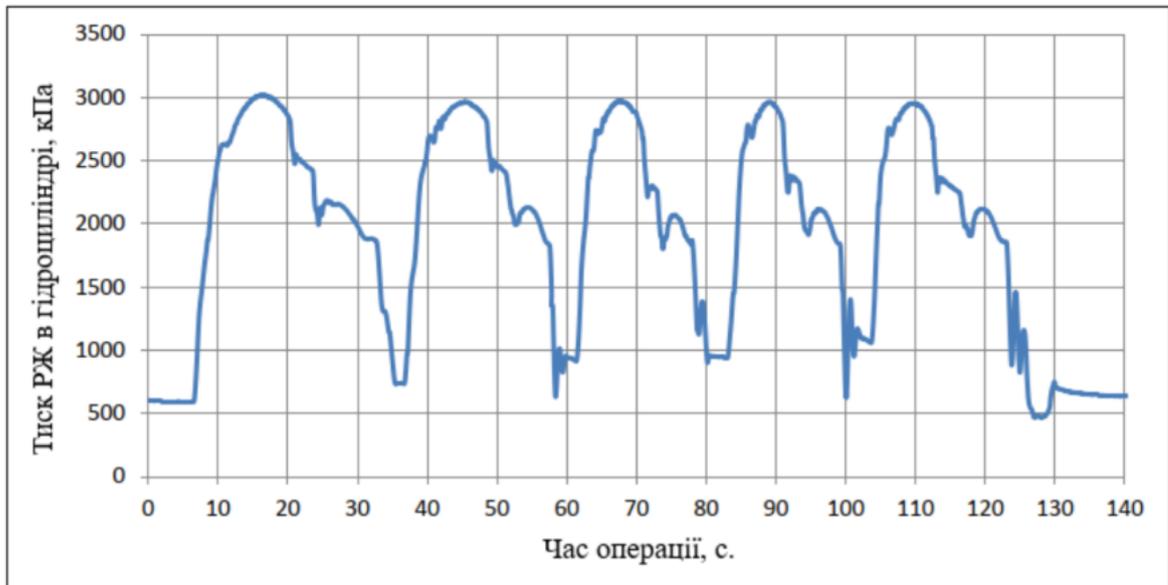


Рисунок 4.2 - Зміна тиску в гідросистемі під час завантаження контейнера з ТПВ.

Одночасно, було проведено тарування бортової системи зважування для об'єкта дослідження - спеціального автомобіля БМ-53229-1. Тарувальний графік представлений на рисунку 4.3.

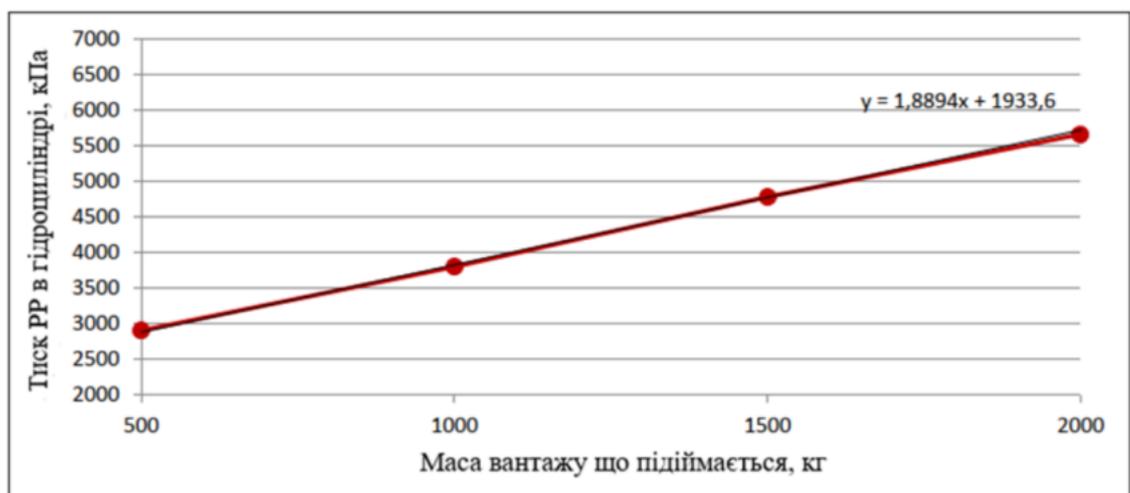


Рисунок 4.3 - Залежність тиску робочої рідини від маси підіймаемого вантажу.

Дані, отримані під час експерименту, представлено на рисунку 4.4. На основі отриманих даних було підтверджено початкову гіпотезу про лінійну залежність вихідної величини від кожного з параметрів.

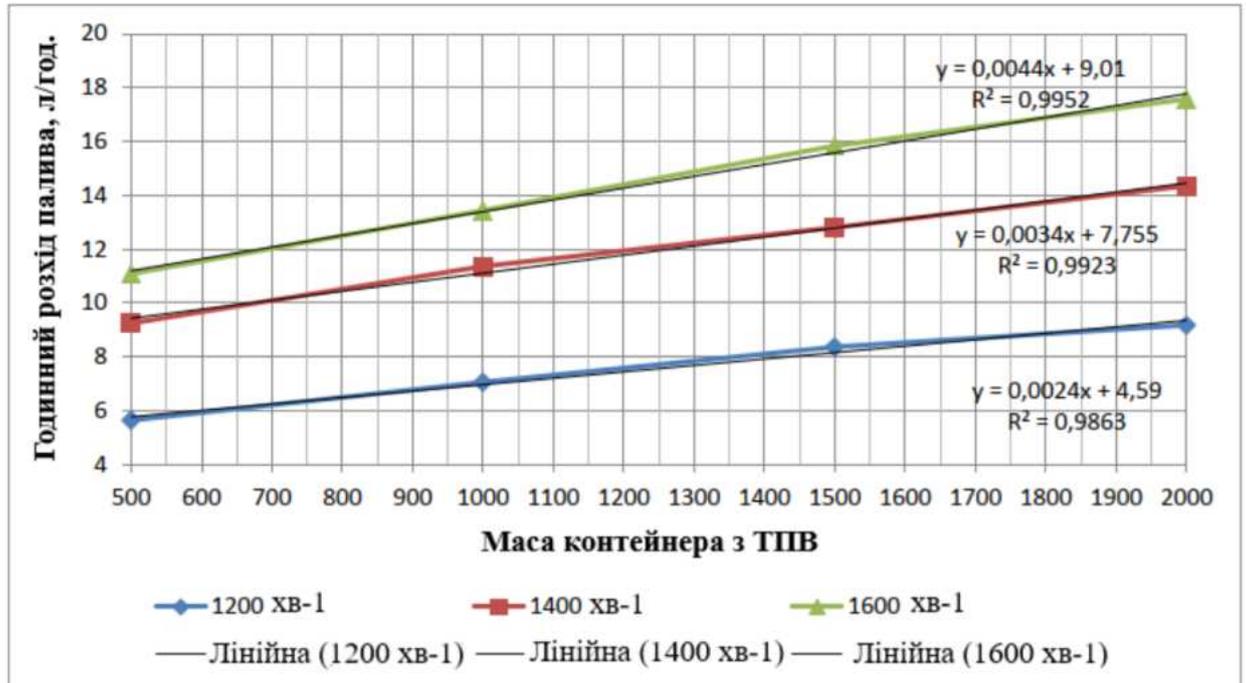


Рисунок 4.4 - Зміна годинної витрати палива на об'єкті дослідження.

Для побудови множинного рівняння регресії, отримані значення оброблялися за методикою з розділу 3.3, при цьому визначалася значущість кожного з двох чинників, значущість рівняння регресії загалом і адекватність отриманого рівняння експериментальним даним.

Для оцінки параметрів лінійного рівняння множинної регресії необхідно перейти до значень у стандартизованому масштабі (Таблиця 4.1).

Таблиця 4.1. Матриця експерименту в стандартизованому масштабі.

Годинна витрата палива, у	Маса, $x_1$	Оберти двигуна, $x_2$
1	2	3
-1,00	-1	-1
-0,40	-1	0
-0,09	-1	1
-0,76	-0,33	-1
-0,04	-0,33	0
0,31	-0,33	1

Продовження таблиці 4.1

1	2	3
-0,54	0,33	-1
0,20	0,33	0
0,71	0,33	1
-0,41	1	-1
0,46	1	0
1,00	1	1

Таким чином, стандартизоване рівняння регресії набуде вигляду:

$$y = 0,424x_1 + 0,580x_2 \quad (4.2)$$

Для визначення значущості кожного фактора рівняння, було розраховано коефіцієнти кореляції змінних і побудовано матрицю коефіцієнтів парної кореляції. Основні показники кореляційного аналізу наведено в табл. 4.2.

Таблиця 4.2. Основні показники кореляційного аналізу

Фактори	Дослідний критерій Стьюдента топ	Ткр(0,05;9)
Маса вантажу	8,69	2,26
Оберти двигуна	13,03	2,26

Розраховані значення критерію Стьюдента (стовпець 2) за модулем виявилися більшими за критичні точки розподілу Стьюдента за заданого рівні значущості  $\alpha=0,05$  (стовпець 3). Це означає, що обидва фактори значущі. Найбільш значущим фактором, що впливає на годинну витрату палива, є оберти двигуна базового шасі. Маса вантажу, що піднімається, має менший вплив на вихідну величину.

Для визначення годинної витрати палива в технологічному режимі експлуатації спеціального автомобіля для збирання і транспортування ТПВ залежно від маси вантажу, що піднімається, і обертів колінчастого вала двигуна базового шасі було отримано рівняння регресії в натуральному масштабі:

$$G_{\text{теор}} = -17,09 + 0,0033m_0 + 0,017n \quad (4.3)$$

де  $G_{\text{теор}}$  - годинна витрата палива теоретична, л/год;

$m_0$  - маса контейнера з вантажем, кг;

$n$  - частота обертання двигуна базового шасі, хв<sup>-1</sup>.

Під час перевірки адекватності отриманого рівняння регресії було проведено порівняльний розрахунок експериментальної і теоретичної годинної витрат палива, визначено помилку апроксимації на кожному рівні факторів (Таблиця 4.3.).

Таблиця 4.3 - Порівняння експериментальної і теоретичної годинної витрати палива.

Маса $m_0$ , кг	Оберти двигуна $n$ , хв <sup>-1</sup>	Середня експериментальна годинна витрата палива $G_{\text{експ}}$ , л/год	Теоретична годинна витрата палива $G_{\text{теор}}$ , л/год	Помилка апроксимації $\frac{ G_{\text{експ}} - G_{\text{теор}} }{G_{\text{експ}}} \cdot 100\%$
500	1200	5,65	5,37	5,01
500	1400	9,25	8,83	4,57
500	1600	11,08	12,29	10,92
1000	1200	7,06	7,07	0,14
1000	1400	11,36	10,53	7,33
1000	1600	13,44	13,99	4,09
1500	1200	8,37	8,77	4,78
1500	1400	12,81	12,23	4,55
1500	1600	15,83	15,69	0,90
2000	1200	9,18	10,47	14,05
2000	1400	14,35	13,93	2,95
2000	1600	17,58	17,39	1,10
				Середня помилка апроксимації 5,03

Основні критерії оцінки значущості рівняння наведено в табл. 4.4.

Таблиця 4.4. Критерії оцінки значущості рівняння регресії.

Коефіцієнт детермінації $R_2$	Критерій Фішера ФОП	$F_{\text{кр}}(0,05;9;2)$
0,945	122,6	19,38

Оскільки дослідне значення перевищує критичне, то рівняння регресії статистично значуще. Таким чином, перевірка значущості моделі за F-критерієм Фішера показала, що рівняння статистично значуще з імовірністю понад 0,95.

Середня помилка апроксимації становила 5,03%, отже, отримане рівняння адекватно описує наявний процес.

Технічною документацією на комунальну техніку не регламентуються оберти двигуна базового шасі, на яких необхідно виконувати технологічні операції. Нерідко водій-оператор встановлює підвищені оберти двигуна для збільшення швидкості виконання операції, що також призводить до збільшення кількості витраченого палива.

Аналіз експериментальних даних про час роботи спеціального обладнання (рисунок 4.5) показав, що зниження обертів двигуна до мінімальних, призводить до збільшення часу здійснення операції в середньому на 13,5 %, що, в масштабах рейсу, є несуттєвим, при цьому витрата палива знижується в середньому на 1,5 л за рейс.

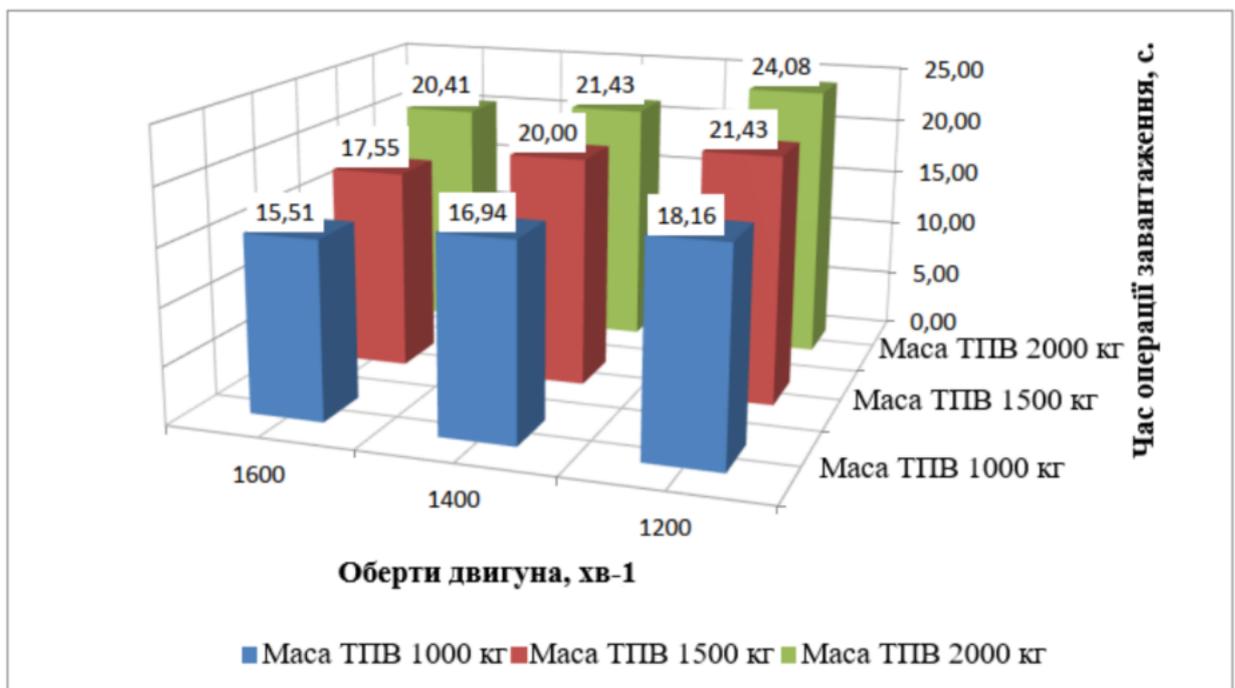


Рисунок 4.5 - Час здійснення операції підйому/опускання контейнера з ТПВ у технологічному режимі експлуатації

Таким чином, для підвищення паливної економічності доцільно здійснювати роботу на мінімально можливих обертах двигуна, що забезпечують нормальне функціонування гідросистеми.

За отриманими результатами можна зробити такі висновки: початкова гіпотеза про лінійну залежність вихідної величини від кожного з параметрів підтвердилася; обидва фактори є значущими, тобто їх необхідно враховувати при визначенні теоретичної годинної витрати палива; для підвищення паливної економічності, роботу в технологічному режимі доцільно проводити на мінімально можливих обертах двигуна, що забезпечують нормальне функціонування гідросистеми.

#### 4.2 Результати аналітичного дослідження витрати палива на спеціальному автомобілі для збирання та транспортування ТПВ

Моделювання процесів, що відбуваються під час роботи навантажувального обладнання спеціального автомобіля для збирання та транспортування ТПВ, проводилося за допомогою комп'ютерної програми (розділ 2.5.), розробленої на основі математичної моделі, описаної в розділах 2.3-2.4.

Комп'ютерна програма під час розрахунку дає змогу керувати процесом роботи гідроциліндра - відкривати/закривати золотники гідророзподільника, а також навантаженням і обертами двигуна.

Результатом аналітичного дослідження процесів, що відбуваються під час підйому вантажу, стала залежність годинної витрати палива від маси вантажу і обертів двигуна. На рисунку 4.6 наведено аналітичну залежність годинної витрати палива від маси відходів, що завантажуються, під час роботи автомобіля на рекомендованих обертах двигуна (1200 об/хв).

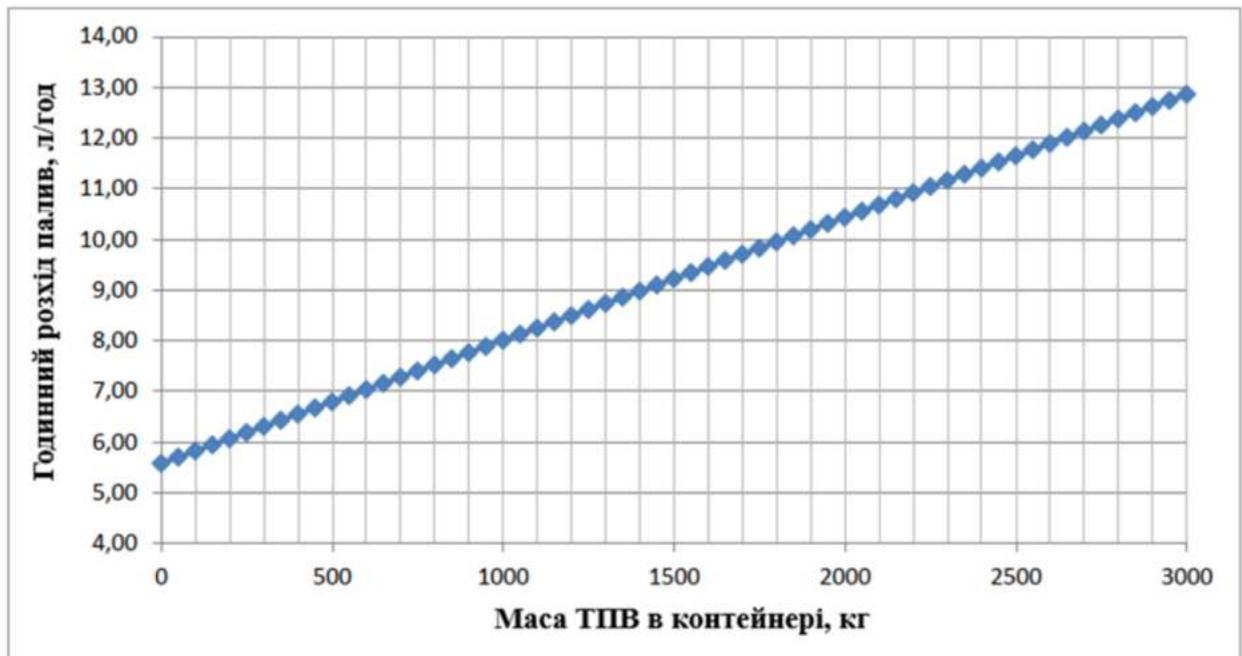


Рисунок 4.6 - Зміна годинної витрати палива від маси вантажу (оберти двигуна - 1200 об/хв).

На рисунку 4.7 наведено аналітичну залежність годинної витрати палива від обертів двигуна базового шасі автомобіля за максимального заповнення контейнера з ТПВ (2000 кг).

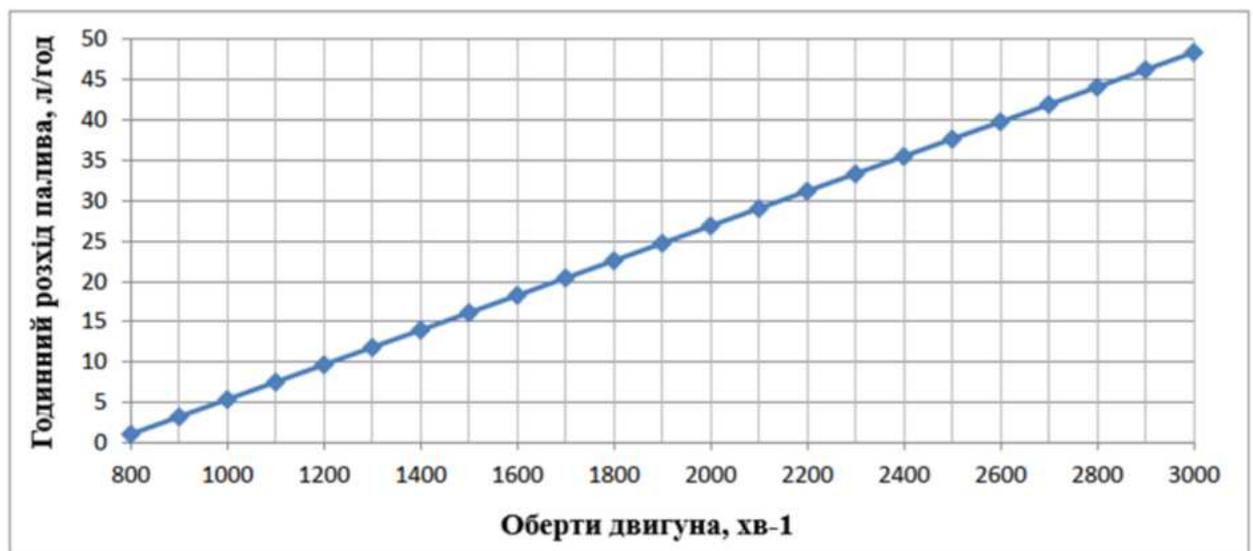


Рисунок 4.7 - Зміна годинної витрати палива від обертів двигуна (маса контейнера з ТПВ 2000 кг).

За отриманими даними можна зробити висновок, що графік залежності годинної витрати палива від обертів двигуна має більший кут нахилу, і, отже, цей фактор істотніше впливає на розрахункову величину.

Наступним етапом у роботі необхідно було перевірити адекватність розробленої математичної моделі реальному об'єкту.

#### 4.3 Оцінка адекватності математичної моделі

Адекватність математичної моделі зміни годинної витрати палива автомобіля реальному об'єкту перевірялася шляхом порівняння даних отриманих розрахунковим та експериментальним шляхом.

На рисунку 4.8 представлено порівняння розрахункових та експериментальних даних.

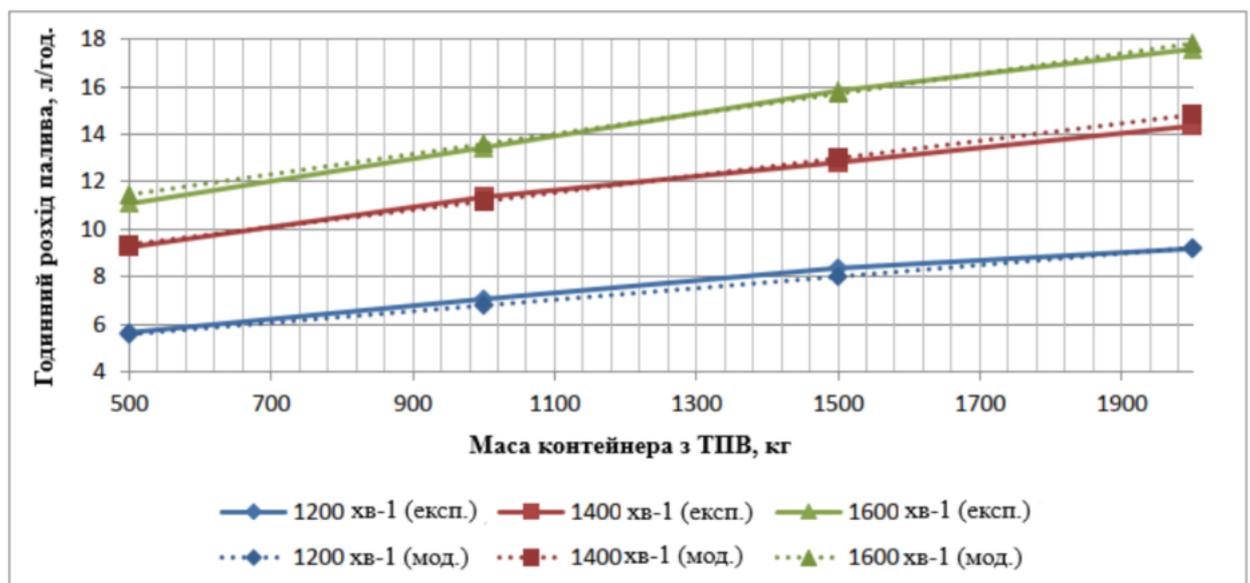


Рисунок 4.8 - Порівняння розрахункових та експериментальних даних.

Методику оцінки адекватності моделі реальному об'єкту описано в розділі 3.5. Порівняння розрахункових і експериментальних даних проводилося за допомогою критерію Фішера (F-критерій), тобто порівнювали відношення більшої дисперсії до меншої і табличне значення F-критерію, за заданого рівня значущості  $\alpha=0,05$ . Результати розрахунків подано в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 - Оцінка адекватності математичної моделі

Дисперсія відтворюваності	Дисперсія адекватності	Критерій Фішера (F)	Табличне значення критерію Фішера (F <sub>кр</sub> )
0,0513	0,0825	1,60	4,30

Розрахункове значення критерію Фішера виявилось меншим за табличне значення, тобто умова (3.21) виконується, таким чином, розроблена математична модель описує результати експериментальних досліджень, тобто адекватна реальним процесам. Математична модель може бути використана для аналітичних досліджень і визначення витрати палива залежно від маси завантажуваних відходів.

На розробленій математичній моделі було проведено аналітичні дослідження. Було спрогнозовано годинну витрату палива спеціальних автомобілів із дизельними двигунами КамАЗ-740 і ЯМЗ-238 під час завантаження ТПВ і роботі на рекомендованих обертах двигуна (1200 об/хв). Дані отримані під час аналітичного дослідження наведено на рисунку 4.9.

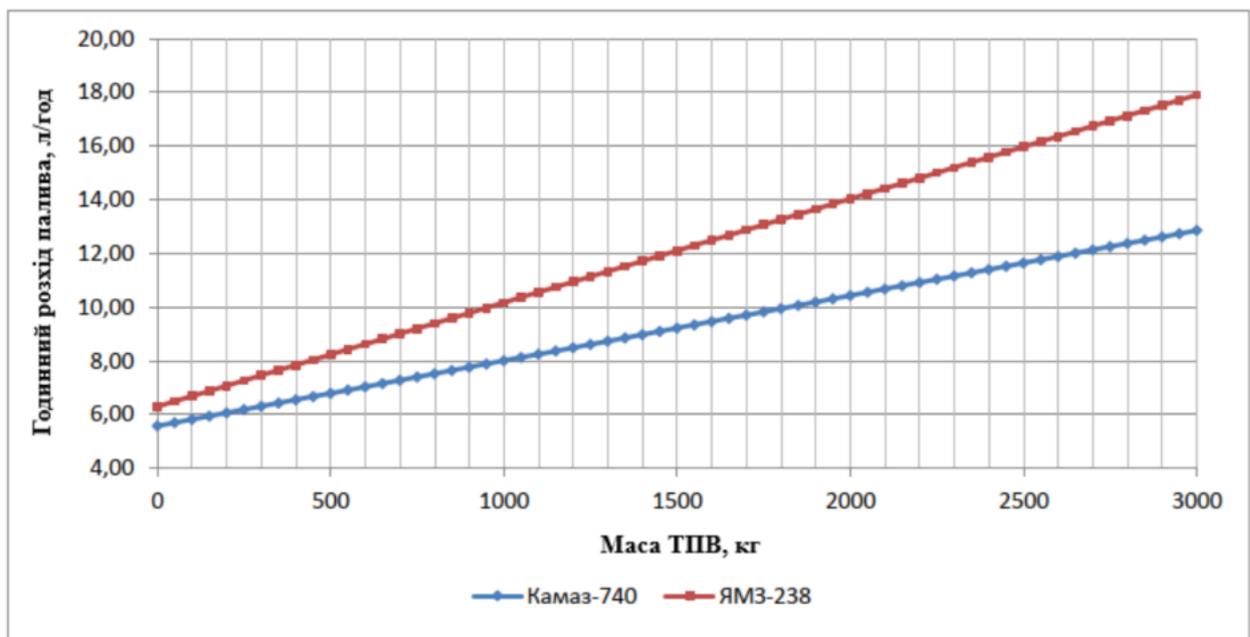


Рисунок 4.9 - Зміна годинної витрати палива від маси вантажу (оберти двигуна - 1200 об/хв).

За результатами аналітичного дослідження, за формулою (1.2) можна спрогнозувати норму витрати палива за добу для спеціальних автомобілів на базі шасі з дизельними двигунами КамАЗ-740 і ЯМЗ-238.

4.4 Рекомендації щодо коригування норми витрати палива в технологічному режимі експлуатації спеціальних автомобілів для збирання і транспортування ТПВ

Нині всі підприємства, організації, підприємці що експлуатують автомобілі на території України незалежно від форми власності. для списання палива і податкового обліку повинні розраховувати нормоване значення витрати палива відповідно до рекомендацій.

Згідно з цими рекомендаціями, норми витрати палива на функціонування спеціального обладнання ТЗ визначаються науковими організаціями, що займаються розробленням подібних норм або заводами-виробниками спеціального обладнання. Для спецавтомобілів, що виконують роботи в житлово-комунальному секторі, зокрема спеціальних автомобілів для збирання та транспортування ТПВ, норми витрат палива визначаються за методичними рекомендаціями управління житлово-комунальної сфери.

На сьогоднішній день парк автотранспортних підприємств які виконують роботи в житлово-комунальному секторі постійно оновлюється. З'являються нові, більш досконалі та адаптовані до сучасних умов експлуатації транспортні засоби. У зв'язку з цим, на автотранспортних підприємствах виникають складнощі та розбіжності з податковою інспекцією при списанні палива. Чинні нормативні документи допускають введення юридичною особою або ІП базових норм витрат палива на дані ТЗ, за індивідуальними заявками в установленому порядку науковими організаціями.

Одночасно з цим, чинні методичні рекомендації не враховують усі умови експлуатації, а саме вплив різних факторів на витрату палива в технологічному режимі експлуатації спеціальних автомобілів для збирання і транспортування

ТПВ, як-то: масу завантажуваних відходів і оберти двигуна базового шасі. Норми, як правило, розраховуються за верхньою межею, через що виникає проблема коректності оцінки кількості фактично витраченого палива і наявності перевитрат.

В основу розроблюваної методики покладено методичні рекомендації з визначення норми витрати палива, затверджені Держбудом України. Запропонована методика відрізняється тим, що дає змогу визначати норму витрати палива в технологічному режимі експлуатації залежно від маси відходів, які завантажуються, і обертів двигуна базового шасі:

$$Q = (0,01 \cdot H_S \cdot S + Q_{\text{техн}}(m_0; n_{\text{дв}})) \cdot (1 + D) + 0,25 \quad (4.4)$$

де  $Q$  - норма витрати палива, л;

$H_S$  - лінійна норма витрати палива, л/100 км;

$S$  - пробіг автомобіля, км;

$D$  - сумарна відносна надбавка до лінійної витрати палива;

$Q_{\text{техн}}(m_0; n_{\text{дв}})$  - витрата палива під час роботи спецобладнання, розрахована за розробленою математичною моделлю, л.

З метою оперативного коригування норм витрат палива на підприємстві необхідно отримувати й обробляти дані про кількість і масу завантажених контейнерів з ТПВ. На рисунку 4.10 представлено алгоритм визначення норми витрати палива за зміну на основі розробленої математичної моделі.

За допомогою автоматичної бортової системи зважування здійснюється збір, опрацювання та передача даних про дату, час і місце завантаження ТПВ, кількість і масу завантажуваних контейнерів з ТПВ, а також часу здійснення операції завантаження і роботи в технологічному режимі.

На основі отриманих у рамках дослідження залежностей і математичної моделі, визначається витрата палива під час завантаження контейнера з ТПВ:

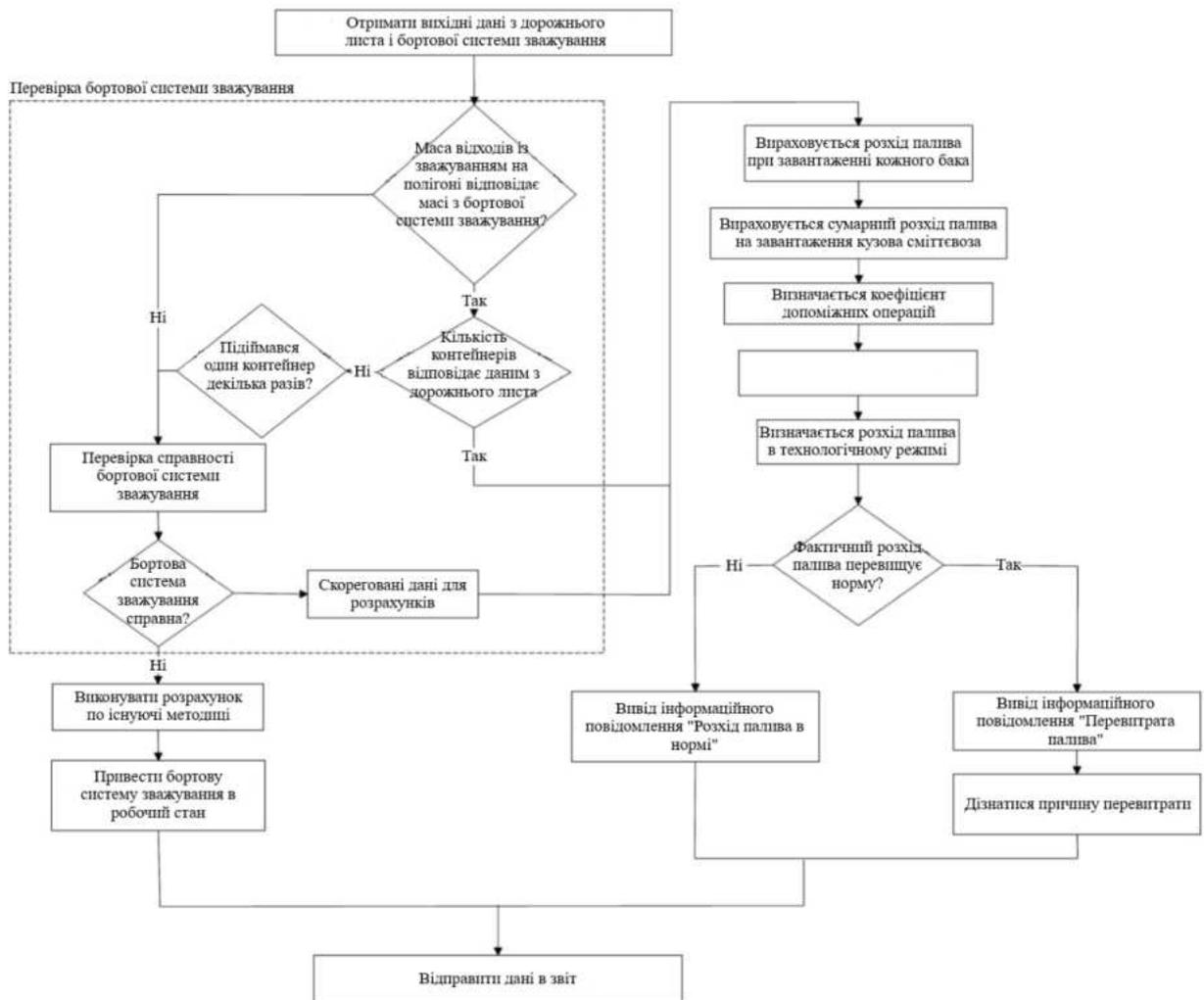


Рисунок 4.10 - Алгоритм визначення норми витрат палива спеціального автомобіля для збирання та транспортування ТПВ.

$$Q_{\text{техн}}(K) = \frac{g_e^k \cdot N_n^k}{1000 \cdot \rho_{\text{пал}}} \cdot t_{\text{заг.к}} \quad (4.5)$$

Таким чином, кількість палива, витраченого на завантаження кузова автомобіля, визначається за формулою:

$$\sum_{i=1}^k Q_{\text{техн}}(i) = Q_{\text{техн}}(1) + Q_{\text{техн}}(2) + \dots + Q_{\text{техн}}(k) \quad (4.6)$$

де  $k$  - кількість завантажених контейнерів.

З урахуванням допоміжних операцій, витрата палива в технологічному режимі роботи визначається за формулою:

$$Q_{\text{техн}} = \sum Q_{\text{техн}}(k) \cdot K_{\text{доп.оп.}} \quad (4.7)$$

На підставі отриманих даних, за формулою 4.4 визначається норма витрати палива за рейс. Отримане значення порівнюється з кількістю фактично витраченого палива. У разі значної розбіжності даних, співробітник інженерно-технічної служби (ІТС) АТП з'ясовує її причину.

Для простоти застосування розробленої методики на будь-якому автотранспортному підприємстві запропонована її програмна реалізація. Приклад робочого вікна програми наведено на рисунку 4.11.

#### РОЗРАХУНОК НОРМИ ВИТРАТИ ПАЛИВА

Розрахунок норми [Сформувати звіт](#)

Дата	16.01.2017	Водій	Алексеев Петро Семенович	Region	AB
<b>АВТОМОБІЛЬ</b>					
Д/н	AB5179AO	Марка	БМ-534332	Двигун	ЯМЗ-236
		Витрата палива	88	Пробіг	178
				Кількість баків	12
				Маса баків	4960
<b>НАДБАВКА</b>					
<input checked="" type="checkbox"/>	Д1 - надбавка при роботі спецтранспорту в ме				
<input type="checkbox"/>	Д2 - надбавка на роботу спецтранспорту в зим				
<input checked="" type="checkbox"/>	Д3 - надбавка для автомобілів які знаходяться				
<input checked="" type="checkbox"/>	Д4 - надбавка при роботі в містах з великою кі				
<input type="checkbox"/>	Д5 - надбавка до сумарної витрати палива на в				
	Норма витрати в техн. режимі	7,4			
	Коефіцієнт оптимізації	0,92			
	Норма витрати за зміну	91,8			
	Причина перевитрати				
<b>ІМПОРТ ДАНИХ</b>		<b>РОЗРАХУВАТИ НОРМУ</b>		<b>ЗБЕРЕГТИ В ЗВІТ</b>	

Інформація:

Витрата палива в нормі

а

## РОЗРАХУНОК НОРМИ ВИТРАТИ ПАЛИВА

Розрахунок норми

Сформувати звіт

Дата	14.01.2017	Водій	Іванов Ігор Вікторовий		Region	AB	
<b>АВТОМОБІЛЬ</b>							
Д/н	AB1587BH	Марка	БМ-53229-1	Двигун	КАМАЗ - 740	Кількість баків	16
Витрата палива		190		Пробіг	294	Маса баків	7480
<b>НАДБАВКА</b>				Норма витрати в техн. режимі <input type="text" value="36,9"/> Коефіцієнт оптимізації <input type="text" value="0,87"/> Норма витрати за зміну <input type="text" value="179"/> Причина перевитрати <input type="text" value="Помилка водія"/>			
<input checked="" type="checkbox"/> Д1 - надбавка при роботі спецтранспорту в ме <input type="checkbox"/> Д2 - надбавка на роботу спецтранспорту в зим <input checked="" type="checkbox"/> Д3 - надбавка для автомобілів які знаходяться <input checked="" type="checkbox"/> Д4 - надбавка при роботі в містах з великою кі <input type="checkbox"/> Д5 - надбавка до сумарної витрати палива на в				<input type="text" value="Помилка водія"/> Помилка водія Несправність базового шасі Несправність спец. обладнання			
<b>ІМПОРТ ДАНИХ</b>		<b>РОЗРАХУВАТИ НОРМУ</b>		<b>ЗБЕРЕГТИ В ЗВІТ</b>			

Інформація:  
Перевитрата палива за зміну

б

а - витрата палива в нормі; б - фактична витрата палива перевищує норму.

Рисунок 4.11 - Розроблене програмне забезпечення для реалізації запропонованої методики

Співробітник ІТС підприємства вводить у вікно програми вихідні дані: водія-оператора, марку і модель автомобіля, пробіг, кількість фактично витраченого палива, вибирає із запропонованого списку поправочні коефіцієнти, і здійснює вивантаження даних у програму з бортової системи зважування (кількість завантажених контейнерів, масу кожного контейнера, час завантаження контейнерів, час роботи в технологічному режимі). Програма в автоматичному режимі розраховує норму витрати палива в технологічному режимі роботи автомобіля і норму витрати палива за рейс, порівнює її з кількістю фактично витраченого палива. У разі розбіжності даних більш ніж на 5%, виводиться повідомлення про необхідність усунення причин цієї розбіжності. За результатами роботи за встановлений період формується звіт про роботу водія-оператора, про можливі несправності елементів і систем автомобіля, що призводять до зниження паливної економічності.

На основі запропонованої методики було розроблено алгоритм реалізації розробленої методики на АТП (рисунок 4.12).

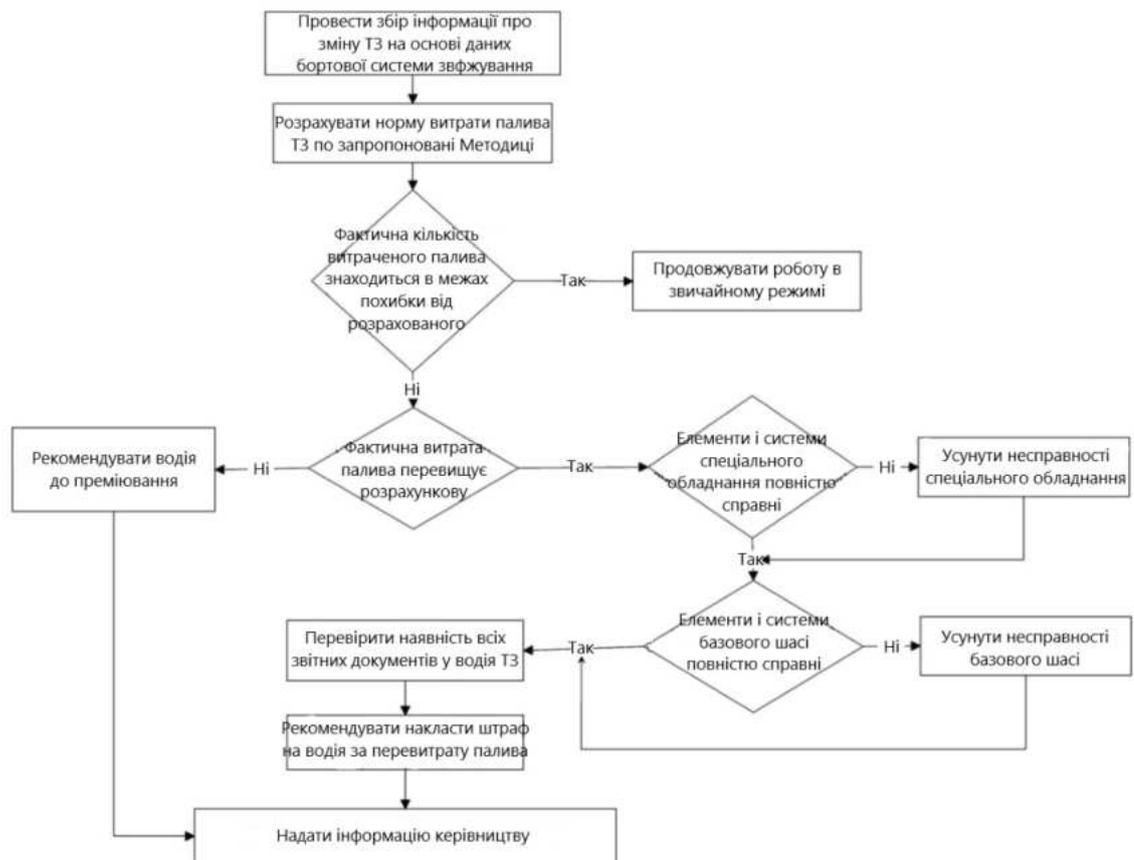


Рисунок 4.12 - Алгоритм реалізації розробленої методики на АТП.

Після повернення транспортного засобу в парк після закінчення роботи, механік здійснює приймання ТЗ і збір даних про роботу автомобіля (кількість рейсів, кількість і маса завантажених контейнерів з ТПВ, пробіг, фактична кількість витраченого палива). На підставі отриманих даних за допомогою розробленої методики та програмного продукту, механік визначає норму витрати палива ТЗ за рейс. Якщо фактичне значення витраченого палива відрізняється від розрахункового в межах похибки, то закривається зміна водія з урахуванням фактичної витрати палива. У разі суттєвої економії палива, механік може рекомендувати водія до преміювання. В іншому випадку, у разі значного перевищення фактично витраченого палива розрахованої норми, необхідно виявити причину перевитрати. На першому етапі проводиться діагностика елементів і систем спеціального обладнання. У разі виявлення несправностей,

необхідно їх оперативно усунути. У разі повністю справного спеціального обладнання, необхідно провести діагностику елементів і систем базового шасі ТЗ. При виявленні несправностей, також необхідно їх оперативно усунути. Якщо за результатами комплексної діагностики автомобіль перебуває в повністю справному стані, то вина за перевитрату палива лягає на водія. За результатами додаткової перевірки документації, механік може рекомендувати накласти штраф на водія. Заключним етапом, необхідно надати всю отриману інформацію керівництву для прийняття остаточного рішення.

Застосування розробленого алгоритму дасть змогу в оперативному режимі виявляти наявність перевитрати палива транспортного засобу і визначати її причину. За наявності повністю справного парку ТЗ, це значно знизить ймовірність розкрадання палива і некваліфікованого управління ТЗ, а також дасть змогу істотно підвищити паливну економічність і скоротити витрати підприємства.

#### 4.5 Економічний ефект від впровадження розробленої методики

Критерієм для всебічної оцінки автомобіля було обрано комплексний показник - питомі приведені витрати, що дає змогу оцінити в єдиному показнику технічні та економічні показники машини, встановити необхідні дані про її рентабельність і розміри прибутку, який може бути отриманий в результаті використання розробленої методики. Методика і порядок визначення питомих приведених витрат має такий вигляд таким чином [24]:

1. визначення продуктивності автомобіля;
2. встановлення фонду робочого часу та річного виробітку;
3. визначення загальної величини експлуатаційних витрат та їх питомого значення;
4. встановлення капітальних витрат та їх питомої величини.

Річні питомі приведені витрати  $Z_{пв}$  (грн/т) визначали за формулою:

$$Z_{пв} = \frac{Z_{експ}}{\Pi_p} \quad (4.8)$$

де  $Z_{експ}$  - експлуатаційні витрати, віднесені до року експлуатації, грн/р;

$\Pi_p$  - річна експлуатаційна продуктивність спеціального автомобіля, т/р.

Річна експлуатаційна продуктивність визначається за формулою:

$$\Pi_p = \Pi \cdot T \cdot K_v \quad (4.9)$$

де  $\Pi$  - продуктивність машини, т/год;

$T$  - кількість годин роботи машини протягом року, маш.-год/р;

$K_v$  - коефіцієнт використання машини на лінії.

Річний фонд роботи :

$$T = (365 - t_c - t_n) \cdot t_c / (1 + t_c \cdot t_{рем}), \quad (4.10)$$

де  $t_c$  - час простою автомобіля за умовами роботи та сезонними особливостями застосування, доб;

$t_n$  - тривалість вихідних і святкових днів та днів простоїв, діб;

$t_{рем}$  - тривалість простою автомобіля під час ремонту та обслуговування, що припадає на 1 год. роботи.

Тривалість простою автомобіля під час ремонту та обслуговування визначається за формулою:

$$t_{рем} = \frac{\Pi P_{ТОіР}}{P}, \quad (4.11)$$

де  $\Pi P_{ТОіР}$  - тривалість простою автомобіля під час ТО і Р на рік, год;

$P$  - тривалість роботи протягом доби, год.

Тривалість простою машини в ТО і Р розраховується за формулою:

$$ПР_{ТОіР} = ПР_{ТО-1} \cdot n_{ТО-1} + ПР_{ТО-2} \cdot n_{ТО-2} + ПР_{ПР} \cdot n_{ПР} + ПР_{КР} \cdot n_{КР}, \quad (4.12)$$

де  $ПР_{ТО-1}$  - тривалість перебування автомобіля під час ТО-1, год;

$ПР_{ТО-2}$  - тривалість перебування автомобіля під час ТО-2, год;

$ПР_{ПР}$  - тривалість перебування автомобіля під час ПР, год;

$ПР_{КР}$  - тривалість перебування автомобіля під час КР, год;

$n_{ТО-1}$  - кількість ТО-1 на рік;

$n_{ТО-2}$  - кількість ТО-2 на рік;

$n_{ПР}$  - кількість ПР на рік;

$n_{КР}$  - кількість КР на рік;

Розрахунок річного фонду роботи автомобіля проводився за формулою (4.10).

Величину експлуатаційних витрат  $Z_{експ}$  знаходили за формулою:

$$Z_{експ} = I + A_{в}, \quad (4.13)$$

де  $I$  - річні витрати на експлуатацію автомобіля (без урахування амортизаційних відрахувань на реновацію), грн/р;

$A_{о}$  - амортизаційні відрахування, грн/р.

Для розрахунку амортизаційних відрахувань було обрано лінійний метод:

$A_{в}$  - амортизаційні відрахування, грн/р;

$$A_{о} = \frac{C_{м}}{ТКВ} \quad (4.14)$$

де  $C_{м}$  - собівартість спеціального автомобіля, грн;

ТКВ - термін корисного використання автомобіля, років.

Розрахункові річні витрати на експлуатацію автомобіля визначали за формулою:

$$I = S_{зп} + S_e + S_m + S_r + S_{ТОіР} + S_{ш} + S_n \quad (4.15)$$

де  $S_{зп}$  - заробітна плата (основна і додаткова) робітників, які керують технікою, з урахуванням відрахувань на соціальне страхування, грн/р;

$S_e$  - витрати на енергоносії, грн/р;

$S_m$  - витрати на мастильні матеріали, грн/р;

$S_r$  - витрати на гідравлічну рідину, грн/р;

$S_{ТОіР}$  - витрати на всі види технічного обслуговування і ремонтів, грн/р;

$S_{ш}$  - витрати на заміну шин, грн/р;

$S_n$  - непрямі витрати, грн/р.

Для розрахунку витрат на заробітну плату необхідно визначити розміри ставок співробітників на 1 автомобіль.

Розрізняють явочний і списковий склад співробітників. До спискового складу включено частину співробітників, які з тих чи інших причин відсутні на роботі. Кількість співробітників у списковому складі можна визначити за формулою:

$$Ч_{СП} = Ч_{ЯВ} \cdot K_{зам} \quad (4.16)$$

де  $Ч_{СП}$  - кількість співробітників у списковому складі, чол;

$Ч_{ЯВ}$  - кількість співробітників у явочному складі, осіб;

$K_{зам}$  - коефіцієнт заміщення.

Коефіцієнт заміщення приймемо =1,12.

Явочним складом основного персоналу автомобіля є 2 водії-оператора, тому витрати на заробітну плату основного персоналу можна знайти за формулою:

$$S_{зп} = Ч_{ЯВ} \cdot K_{зам} \cdot СЗ + ВС \quad (4.17)$$

де  $СЗ$  - середня річна зарплата по регіону, грн;

BC - відрахування на соціальні потреби, грн.

До витрат на заробітну плату також необхідно віднести відрахування на соціальні потреби. Загальний норматив відрахувань до державних позабюджетних фондів становить 47 % від фонду оплати праці.

Витрати на енергоносії  $S_e$  розраховуються за формулою:

$$S_e = E_T \cdot C_1 \quad (4.18)$$

де  $E_T$  - річна норма витрати палива, л;

$C_1$  - вартість 1 літра палива, грн;

Витрати на мастильні матеріали визначалися за формулою:

$$S_M = \varepsilon S_e \quad (4.19)$$

де  $\varepsilon$  - коефіцієнт переходу від витрат на енергоносії до витрат на мастильні матеріали.

Витрати на робочу рідину визначаються за формулою:

$$S_r = V_r \cdot \gamma_M \cdot C_{MG} \cdot k_{qr} \frac{T}{t_{MG}} \quad (4.20)$$

де  $V_r$  - ємність гідросистеми, м<sup>3</sup>;

$\gamma_M$  - об'ємна маса робочої рідини, кг/м<sup>3</sup>;

$C_{MG}$  - ціна робочої рідини, грн/кг;

$k_{qr}$  - коефіцієнт доливок рідини в гідросистему;

$t_{MG}$  - періодичність заміни рідини в гідросистемі, маш-год.

Витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт включають заробітну плату ремонтних робітників  $S_{зп,р}$  грн., включаючи соціальні відрахування, а також вартість матеріалів і запасних частин  $S_{ст}$ , грн.

$$S_{TOiP} = S_{зп.р} + C_{TO} \quad (4.21)$$

Явочна чисельність ремонтних робітників, зайнятих технічним обслуговуванням і ремонтом визначається за формулою:

$$Ч_{ТО} = \frac{t_{ТО}}{T} \quad (4.22)$$

де  $Ч_{ТО}$  - кількість ремонтних робітників, зайнятих технічним обслуговуванням і ремонтом у явочному складі, чол;

$T$  - час простою автомобіля під час технічного обслуговування і ремонту, год.

Заробітну плату ремонтних робітників розраховували за формулою (4.17).

Кількість і вартість матеріалів і запасних частин для технічного обслуговування та ремонту автомобіля залежить від обсягу перевезень. У свою чергу обсяг перевезень залежить від провізної здатності ПЗ, яку можна визначити за формулою:

$$ПЗ = q \cdot y \cdot z \cdot \left( 365 - t_c - t_{п} - \frac{t_{ТО}}{24} \right) \quad (4.23)$$

де  $q$  - вантажопідйомність автомобіля, т;

$y$  - коефіцієнт використання вантажопідйомності;

$z$  - число їздок автомобіля за добу.

Розрахуємо річний вантажообіг автомобіля за формулою:

$$РВ = ПЗ \cdot l_{cp} \quad (4.24)$$

де  $l_{cp}$  - середній пробіг автомобіля за одну поїздку, км.

Кількість автомобіле-км визначається за формулою:

$$A = \frac{PB}{q \cdot y} \quad (4.25)$$

Вартість матеріалів і запасних частин для технічного обслуговування та ремонту автомобіля:

$$C_{TO} = \frac{A}{1000} \cdot HMB \quad (4.26)$$

де HMB - норма витрати матеріалів на технічне обслуговування і ремонт, грн/1000 км.

Витрати на заміну шин визначали за формулою:

$$S_{ш} = \frac{A \cdot n_{ш}}{L_{ш}} \cdot C_{ш} \quad (4.27)$$

де  $n_{ш}$  - число коліс автомобіля;

$L_{ш}$  - норма пробігу шини;

$C_{ш}$  - вартість шини, грн.

Непрямі витрати визначалися за формулою:

$$S_k = 0,3S_{ап} + 0,1(S_e + S_c + S_r + S_{ТОіР} + S_{ш}) \quad (4.28)$$

Розрахунок річних експлуатаційних витрат спеціального автомобіля для збирання і транспортування ТПВ проводився за формулами 4.10-4.27.

Продуктивність автомобіля:

$$\Pi = \frac{Q_{куз} \cdot k_z \cdot k_y \cdot \rho_{відх} \cdot 60}{\left[ t_{пер} \cdot (n_z - 1) + (t_{ман} + t_{пз}) \cdot n_z + t_{нав} \cdot n + t'_{пз} + t_{роз} + \frac{2 \cdot 60 \cdot l}{V_{ср.тр}} \right]} \quad (4.29)$$

де  $Q_{куз}$  - місткість кузова автомобіля, м<sup>3</sup>;

$k_z$  - коефіцієнт заповнення кузова автомобіля;

$k_y$  - коефіцієнт ущільнення відходів у кузові;

$\rho_{\text{від}}$  - щільність відходів, т/м<sup>3</sup>;

$t_{\text{пер}}$  - середня тривалість переїздів від одного місця збору відходів до іншого, хв;

$t_{\text{ман}}$  - середня тривалість маневрування під час в'їзду у двори та під'їзду до контейнера, хв;

$t_{\text{пз}}$  - середня тривалість підготовчо-заключних операцій під час навантаження контейнерів, хв;

$t_{\text{нав}}$  - середня тривалість навантаження одного контейнера, хв;

$t'_{\text{пз}}$  - середня тривалість підготовчо-заключних операцій з розвантаження на полігоні, хв;

$t_{\text{роз}}$  - середня тривалість розвантаження на полігоні, хв;

$n_z$  - кількість заїздів у двори протягом одного циклу завантаження;

$n$  - число завантажуваних контейнерів у кузов спеціального автомобіля за один цикл;

$l$  - середня відстань від місця збору відходів до місця їхнього знешкодження та утилізації, км;

$V_{\text{ср.тр}}$  - середня транспортна швидкість, км/год.

Розрахунок продуктивності спеціального автомобіля для збирання і транспортування ТПВ проводився за формулами 4.9, 4.28.

У зведеній таблиці 4.6 подано отримані показники роботи автомобіля і розраховані річні питомі витрати.

Таблиця 4.6 - Річні питомі витрати спеціального автомобіля для збирання і транспортування ТПВ.

№	Показник	Од. вим.	Спеціальний автомобіль з заднім навантаженням ТКО БМ-53229-1	
			по діючій методиці	по запропонованій методиці
1	Річний фонд роботи автомобіля, Т	авт-год/р	3540,48	3540,48
2	Річні експлуатаційні витрати $Z_{\text{експ}}$	грн/р	4992022	4781764,50

3	Річна експлуатаційна продуктивність, $\Pi_r$	т/р	2243	2243
4	Річні питомі приведені витрати, $Z_{пв}$	грн/р	2225,60	2131,86

Таким чином, застосування запропонованої методики дасть змогу за рахунок зниження річних експлуатаційних витрат знизити питомі наведені річні витрати до 4,4 %. За чинною методикою річні питомі приведені витрати становитимуть 2225,60 грн/т, за запропонованою методикою - 2131,86 грн/т, що дасть змогу за наявного завантаження автомобіля економити на його експлуатації до 210 тис. грн. на рік.

#### 4.6 Висновки до четвертого розділу

1. Отримано експериментальні залежності зміни витрати палива спеціального автомобіля для збирання і транспортування ТПВ від маси відходів, що завантажуються, та обертів двигуна базового шасі під час підйому контейнерів з ТПВ.

2. Проведено аналітичне дослідження. Проведено оцінку адекватності розробленої математичної моделі реальному об'єкту. Встановлено, що математична модель значимо описує результати експериментальних досліджень.

3. Встановлено експериментальні закономірності зміни витрати палива в технологічному режимі експлуатації автомобіля від маси відходів, що завантажуються, та обертів двигуна. Робота на рекомендованих обертах двигуна дасть змогу знизити кількість фактично витраченого палива під час здійснення операції підйому й опускання контейнерів із ТПВ до 1,5 л за рейс.

4. На основі встановлених закономірностей розроблено методику диференційованого коригування норм витрат палива з урахуванням завантаження автомобілем різної маси вантажу. Застосування розробленої методики дозволить знизити питомі приведені річні витрати до 4,4 %, що дасть змогу, за наявного завантаження автомобіля економити на його експлуатації до 200 тис. грн. на рік.

## ВИСНОВКИ

1. На основі розроблених експериментально-розрахункових залежностей вирішено важливе науково-практичне завдання підвищення ефективності перевезення твердих комунальних відходів шляхом оперативного коригування норм витрати палива в технологічному режимі експлуатації спеціальних автомобілів для збирання та транспортування ТПВ.

2. Аналіз чинників, що впливають на зміну витрат палива спеціальних автомобілів для збирання і транспортування ТПВ в технологічному режимі експлуатації, показав, що маса завантажуваних відходів і оберти двигуна базового шасі мають найбільший вплив на витрату палива. Встановлено, що найбільш значущим фактором є оберти двигуна базового шасі.

3. Розроблено математичну модель зміни навантаження на колінчастому валу двигуна спеціального автомобіля для збирання та транспортування ТПВ у технологічному режимі експлуатації, в якій уперше враховано фактори: масу вантажу та оберти двигуна базового шасі. Доведено адекватність розробленої математичної моделі реальному об'єкту. Модель дає змогу теоретично визначити витрату палива в технологічному режимі експлуатації спеціальних автомобілів.

4. Встановлено експериментальні закономірності зміни витрати палива в технологічному режимі експлуатації автомобіля від маси палива в технологічному режимі експлуатації автомобіля від маси відходів, що завантажуються, та обертів двигуна. Робота на рекомендованих обертах двигуна дасть змогу знизити кількість фактично витраченого палива під час здійснення операції підйому й опускання контейнерів із ТПВ до 1,5 л за рейс.

5. З урахуванням отриманих закономірностей, розроблено методику диференційованого коригування норм витрат палива спеціальних автомобілів для збирання та транспортування ТПВ в технологічному режимі експлуатації. Застосування розробленої методики дасть змогу знизити питомі витрати палива на наведені річні витрати на 4,4 %, що дасть змогу, за наявного завантаження автомобіля, зекономити на його експлуатації до 200 тис. грн. на рік.

6. Розроблено, науково обґрунтовано та впроваджено в роботу діючих АТП рекомендації з визначення норми витрати палива в технологічному режимі експлуатації спеціальних автомобілів для збирання та транспортування ТПВ, використання яких дає змогу зменшити витрати на паливо.

7 Економічний ефект досягається за рахунок науково-обґрунтованого зниження витрат палива в технологічному режимі експлуатації, що дасть змогу в оперативному режимі виявляти наявність перевитрати палива автомобілем і визначати її причину.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Берчій О.М., Огневий В.О. Методи визначення витрат палива на автомобілях // XVIII міжнародна науково-технічна конференція “Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту”, Вінниця 2025 р.
2. Братичак М.М. Бабяк Л.В. Моторні палива з альтернативної сировини: навч. посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки – 2017. – 144с.
3. Виробничо-технічна база підприємств автомобільного транспорту. Навчальний посібник / [В.В. Біліченко, В.Л. Крещенецький, С.О. Романюк, Є.В. Смирнов]. – Вінниця, ВНТУ, 2013. – режим доступу : <http://posibnyky.vntu.edu.ua/newauto/5/index.html>.
4. Канарчук В. Є., Курніков І. П. Виробничі системи на транспорті. Київ : Вища школа, 1997. 359 с.
5. Коваленко В. М., Щуріхін В. К. Діагностика і технологія ремонту автомобілів. Київ : Літера ЛТД, 2017. 224 с.
6. Колосюк Д.С., Зеркалов Д.В. Експлуатаційні матеріали: Підручник. Київ: Арестей – 2006. – 260с.
7. Кукурудзяк Ю. Ю. Технічна експлуатація автомобілів. Технологія ТО і ПР. Вінниця : ВНТУ, 2022. 225 с.
8. Кукурудзяк Ю.Ю. Технічна експлуатація автомобілів. Технологія обслуговування. – Вінниця: ВНТУ, 2023. – 227 с.
9. Кукурудзяк Ю.Ю., Біліченко В.В. Технічна експлуатація автомобілів. Організація технологічних процесів ТО і ПР.: Навчальний посібник. –Вінниця: ВНТУ, 2010. – 198 с.
10. Лудченко О. А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів : технологія : підручник / Лудченко О. А. – К. : Вища шк., 2007. – 527 с
11. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів. К.: "Знання-Прес", 2003 р. 388с.

12. Методи оцінювання якості технологічних процесів у системах автосервісу: Монографія / [Л.А. Тарандушка, В.П. Матейчик, І.В. Грицук, Н.Л. Костьян, О.Д. Марков, І.П. Тарандушка] - Черкаси. : ЧДТУ, 2021. – 212 с

13. Моторні палива: властивості та якість. Підручник / Сергій Бойченко, Андрій Пушак, Петро Топільницький, Казимир Лейда; за заг. редакцією проф. С. Бойченка. – К.: «Центр учбової літератури», 2017.-324с.

14. Технічна експлуатація автомобілів: Навчальний посібник / В.М. Дембіцький, В.І. Павлюк, В.М. Придюк – Луцьк: Луцький НТУ, 2018. – 473 с

15. Технічна експлуатація та надійність автомобілів: Навчальний посібник / [Форнальчик Є.Ю., Оліскевич і ін.]. Л., Афіша, 2004. – 492с.

16. Червінський Т.І., Топільницький П.І., Ярмола Т.І. Експлуатаційні матеріали для автотехніки. навч. посібник. Львів: Видавництво «Левада».2020.-326с.

17. Abdelli, I.S. GIS-based approach for optimized collection of household waste in Mostaganem city (Western Algeria) / Abdelmalek F., Djelloul A., Mesghouni K. and Addou A. // Waste Management & Research Vol. 34(5) – 2016 – p. 417– 426.

18. Agar, B.J. Fuel consumption, emissions estimation, and emissions cost estimates using global positioning data / Agar B.J., Baetz B.W., Wilson B.G. // J. Air & Waste Man. Assn. № 57. – 2007 – p. 348–354.

19. Ericsson, E. Optimizing route choice for lowest fuel consumption – potential effects of a new driver support tool / Ericsson E., Larsson H., Brundell-Freij K. // Transportation Research Part C. № 14. – 2006 – p. 369–383.

20. Jovičić, N.M. Route optimization to increase energy efficiency and reduce fuel consumption of communal vehicles / Jovičić N.M., Bošković G.B., Vujić G.V., et al. // Thermal Science. № 14 – 2011 – p. 67–78. 109

21. Kuo, Y. Optimizing the VRP by minimizing fuel consumption / Kuo Y., Wang C. C. // Management of Environmental Quality. № 22 – 2011 – p. 440–450.

22. Kuo, Y. Using simulated annealing to minimize fuel consumption for the time-dependent vehicle routing problem / Kuo Y. // Computers & Industrial Engineering. № 59 – 2010 – p. 157–165.

23. Tavares, G. A case study of fuel savings through optimization of MSW transportation routes / Tavares G., Zsigraiova Z., Semiao V., et al. // *Management of Environmental Quality*. № 19 – 2009 – p. 444–454.

24. Thuy, T.T. Nguyen. Fuel consumption estimation for kerbside municipal solid waste (MSW) collection activities / Thuy T.T. Nguyen, Bruce G. Wilson // *Waste Management & Research*. № 28 – 2010 – p. 289–297.

25. Xiao, Y. Development of a fuel consumption optimization model for the capacitated vehicle routing problem / Xiao Y., Zhao Q., Kaku I., et al. // *Computers & Operations Research*. № 39 – 2012 – p. 1419–1431.

## ДОДАТКИ

Додаток А

Ілюстративна частина

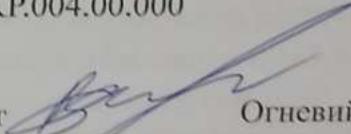
Підвищення ефективності роботи комунального унітарного підприємства  
«ЕкоВін» місто Вінниця шляхом покращення паливної економічності  
автомобілів

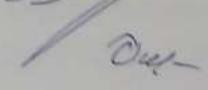
## Підвищення ефективності роботи комунального унітарного підприємства «ЕкоВін» місто Вінниця шляхом покращення паливної економічності автомобілів

Ілюстративна частина

до магістерської кваліфікаційної роботи

зі спеціальності 274 – Автомобільний транспорт  
08-29.МКР.004.00.000

Керівник роботи к.е.н., доцент  Огневий В.О.

Розробив студент гр. ІАТ-24м  Берчій О.М.

Вінниця ВНТУ 2025

2

**Метою роботи є підвищення ефективності перевезення твердих побутових відходів спеціальними автомобілями за рахунок оперативного коригування норм витрати палива.**

**Для досягнення зазначеної мети в роботі були поставлені наступні завдання:**

1. Провести дослідження сучасних проблем при експлуатації спеціальних автомобілів для збирання та транспортування ТПВ;
2. Провести аналіз факторів, що впливають на витрату палива в технологічному режимі експлуатації;
3. Розробити математичну модель зміни навантаження на колінчастому валу двигуна спеціального автомобіля для збирання та збору і транспортування ТПВ в технологічному режимі експлуатації під впливом маси вантажу, що піднімається, з урахуванням специфіки роботи спеціального обладнання;
4. Провести експериментальні дослідження та встановити закономірності впливу маси відходів, що завантажуються, та обертів двигуна базового шасі на витрату палива спеціальних автомобілів у технологічному режимі експлуатації;
5. Розробити методикку диференційованого коригування норм витрати палива та алгоритми практичного використання розробленої методики на автотранспортному підприємстві;
6. Провести техніко-економічний аналіз впровадження розробленої методики на автотранспортному підприємстві.

**Об'єктом дослідження** є технологічний процес збирання та транспортування ТПВ.

**Предметом дослідження** є спеціальний автомобіль для збирання та транспортування ТПВ.

**Наукова новизна.**

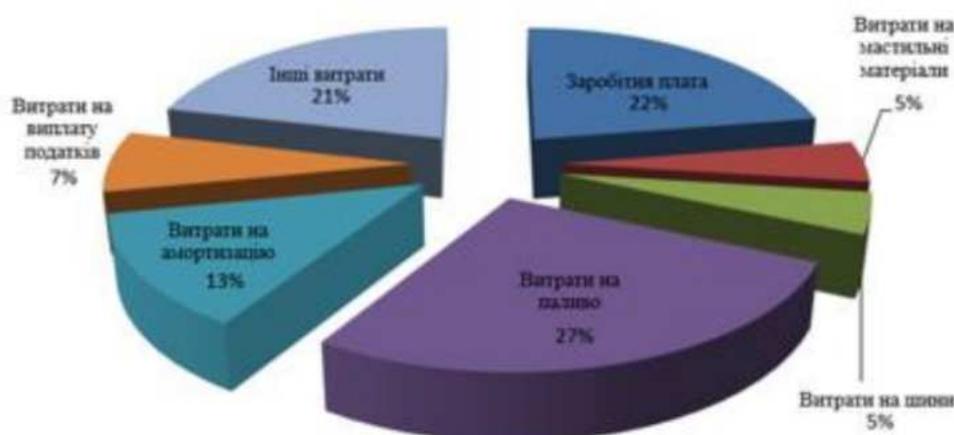
- удосконалено математичну модель зміни навантаження на колінчастому валу двигуна спеціального автомобіля для збирання та транспортування ТПВ, яка за багатопараметровою характеристикою двигуна встановлює кількісні показники витрати палива в технологічному режимі експлуатації залежно від маси вантажу, з урахуванням специфіки роботи спеціального підйомного обладнання;

- дістали подальшого розвитку закономірність зміни витрати палива в технологічному режимі експлуатації спеціального автомобіля для збирання і транспортування ТПВ в залежності від маси підіймаемого вантажу та обертів двигуна базового шасі.

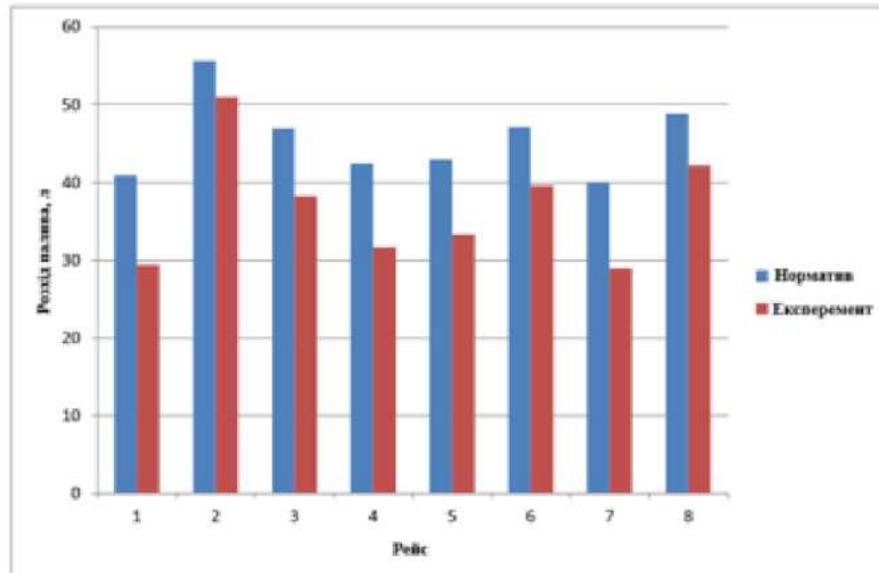
**Практичне значення отриманих результатів**

Застосування методики диференційованого коригування норм витрат палива, дасть змогу скоротити експлуатаційні витрати автотранспортних підприємств за рахунок коректного обліку паливно-мастильних матеріалів, а також дасть змогу оперативно виявляти перевитрату палива та визначати причини її появи.

## Структура експлуатаційних витрат АТП



# Порівняння даних нормативної та експериментальної витрати палива



Однокамерный витратомір палива DFM

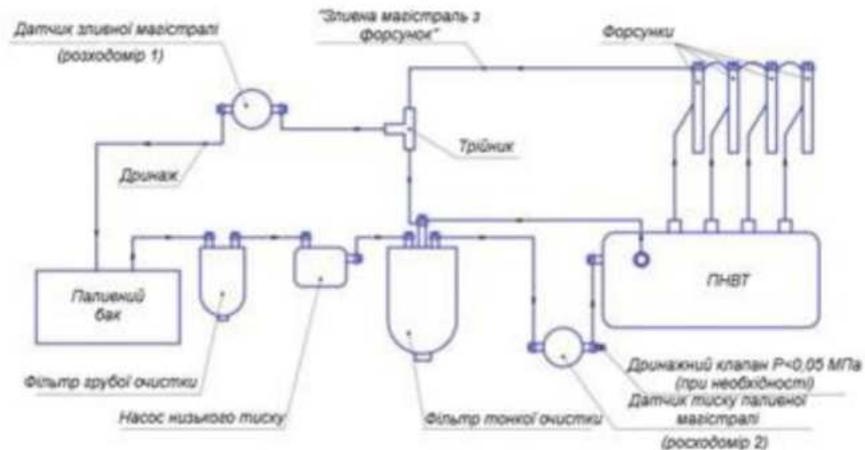


Диференціальний витратомір палива DFM

6



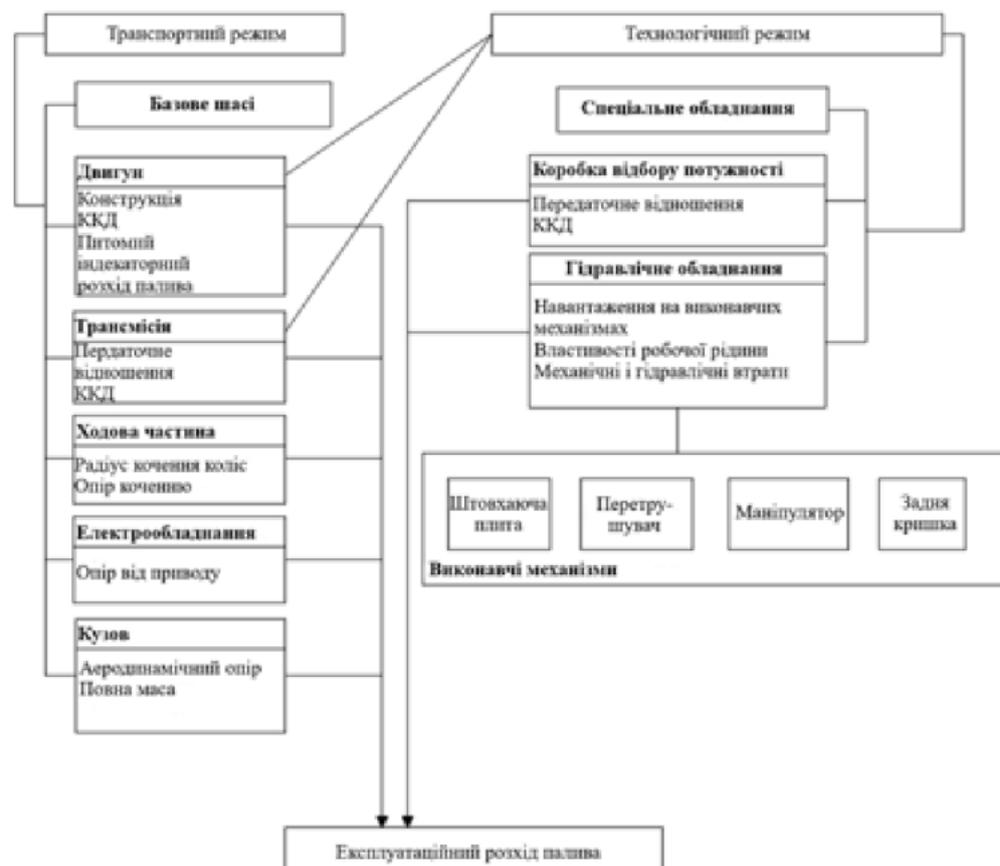
## Схема підключення витратоміра з двома датчиками



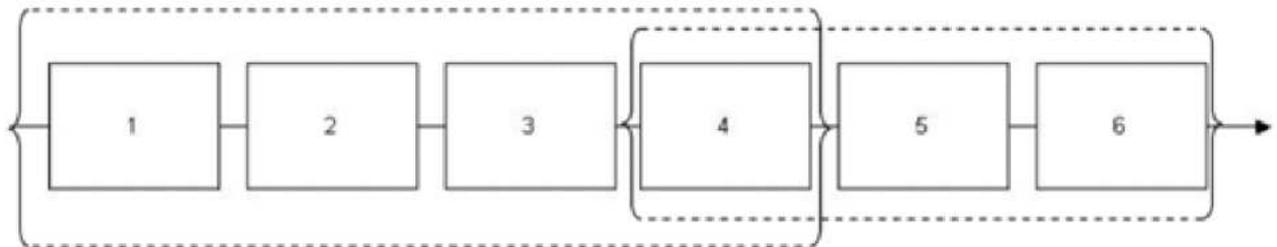
## Результати аналізу методів визначення витрати палива автомобілів.

Метод	Критерії порівняння			
	Точність при незначних змінах	Універсальність	Простота впровадження	Вартість
Об'ємний, по рівню палива в баку	Низька	Так	Важко	Середня
Об'ємний, з використанням витратомірів палива	Низька	Ні	Важко	Велика
З використанням бортових систем	Низька	Ні	Легко	Низька
«Доливанням до повного»	Низька	Так	Легко	Низька
Масовий (ваговий)	Висока	Так	Легко	Низька

## Режими роботи спеціальних автомобілів для збирання та транспортування ТПВ



## Структурна схема моделі зміни витрати палива спеціальних автомобілів для збирання та транспортування ТПВ



1 - двигун, 2 - коробка передач, 3 - коробка відбору потужності, 4 - гідравлічний насос,  
5 - гіддорозподільник, 6 - гідроциліндр.

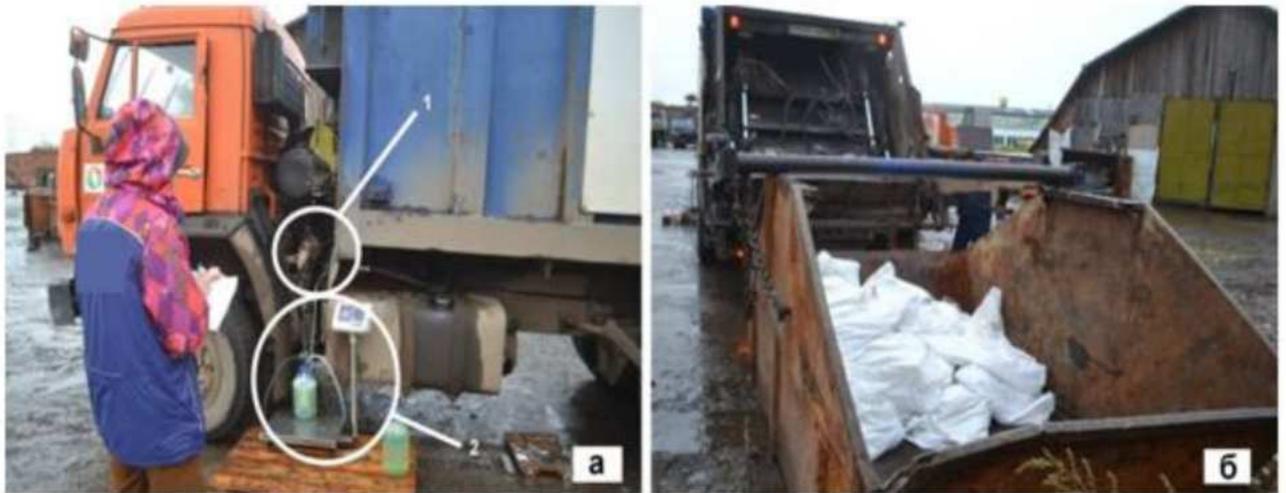
Модель зміни витрати палива спеціальних автомобілів для збирання та транспортування ТПВ в технологічному режимі експлуатації представлена сукупністю роботи двох підсистем:

- підсистема "двигун внутрішнього згоряння - гідравлічний насос" (позиції 1-4);
- підсистема "гідравлічний насос - гідроциліндр" (позиції 4-6).

## Схема підключення вимірювального обладнання



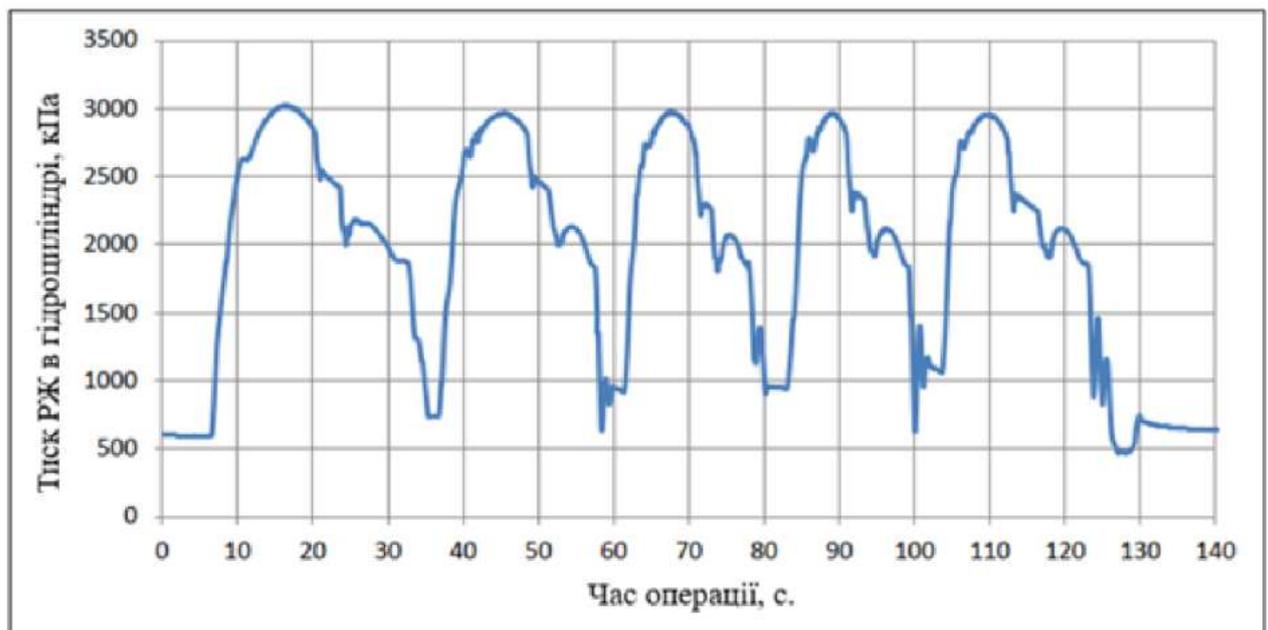
## Експериментальні дослідження на спеціальному автомобілі БМ-53229-1



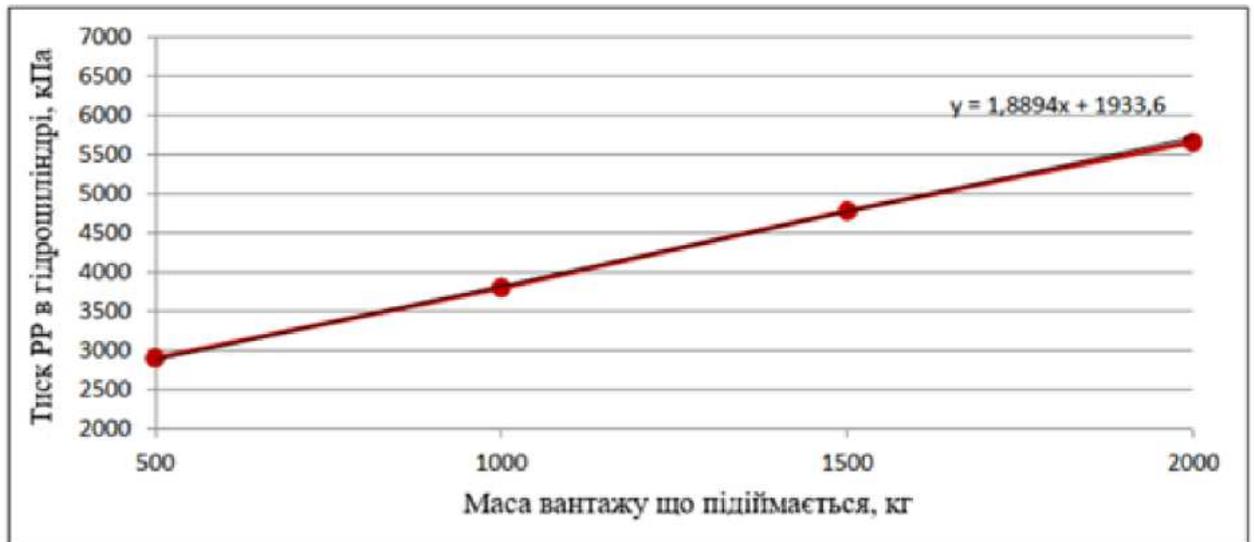
а, поз. 1 - місце встановлення трипозиційних кранів; а, поз. 2 - місце встановлення виміральної ємності та ваг; б - процес завантаження контейнера еталонними вантажами

### Зміна тиску в гідросистемі під час завантаження контейнера з ТПВ

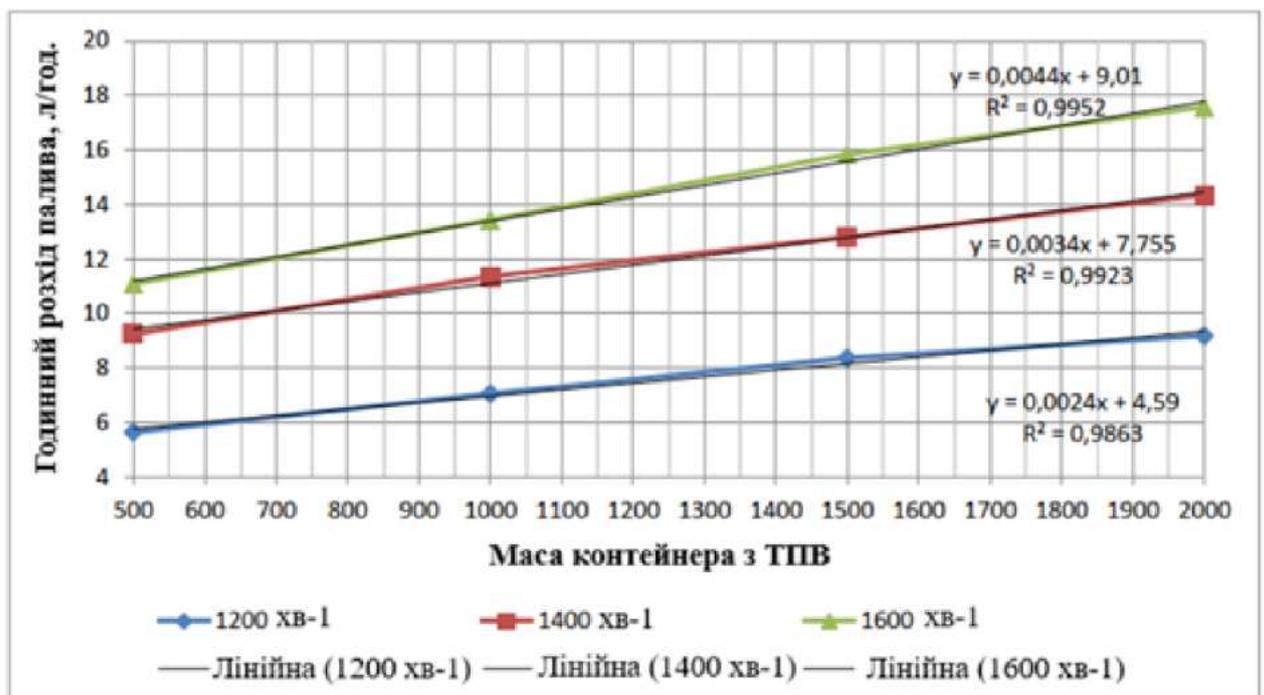
12



### Залежність тиску робочої рідини від маси підіймаємого вантажу



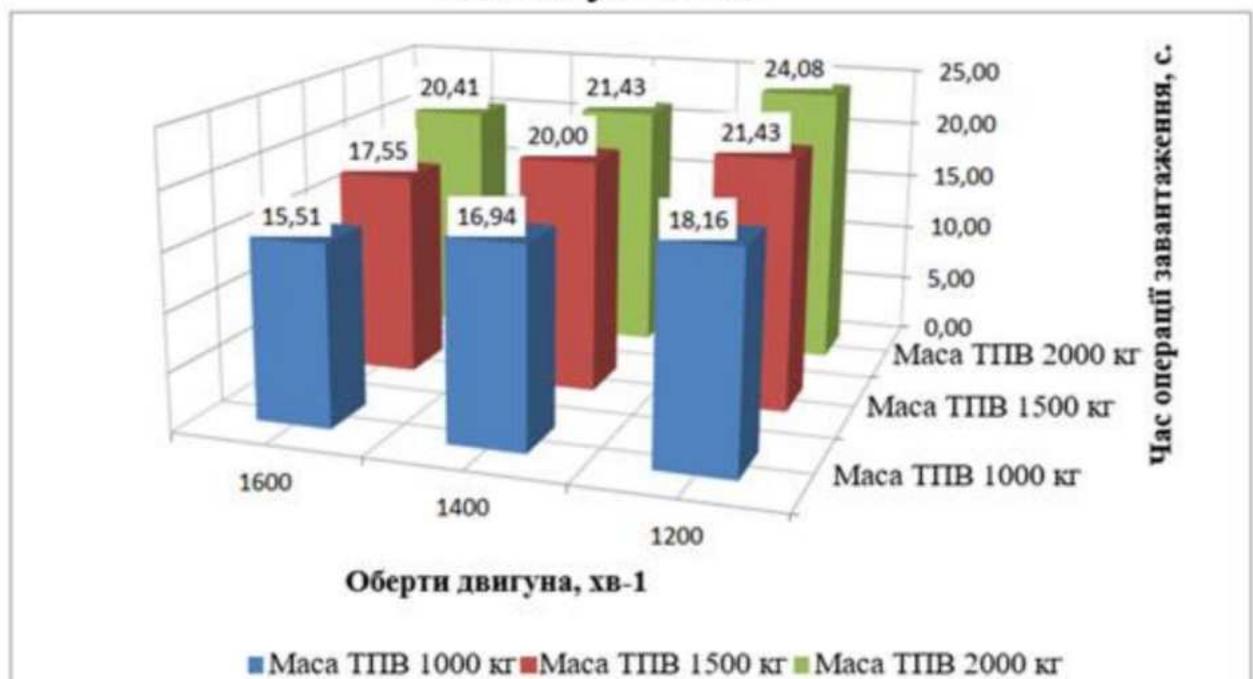
### Зміна годинної витрати палива на об'єкті дослідження



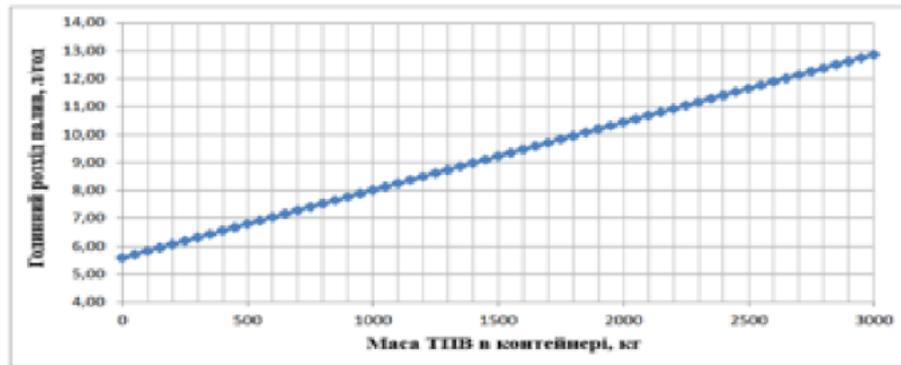
## Порівняння експериментальної і теоретичної годинної витрати палива

Маса $m_0$ , кг	Оберти двигуна $n$ , $\text{хв}^{-1}$	Середня експериментальна годинна витрата палива $G_{\text{експ}}$ , л/год	Теоретична годинна витрата палива $G_{\text{теор}}$ , л/год	Помилка апроксимації $\frac{ G_{\text{експ}} - G_{\text{теор}} }{G_{\text{експ}}} \cdot 100\%$
500	1200	5,65	5,37	5,01
500	1400	9,25	8,83	4,57
500	1600	11,08	12,29	10,92
1000	1200	7,06	7,07	0,14
1000	1400	11,36	10,53	7,33
1000	1600	13,44	13,99	4,09
1500	1200	8,37	8,77	4,78
1500	1400	12,81	12,23	4,55
1500	1600	15,83	15,69	0,90
2000	1200	9,18	10,47	14,05
2000	1400	14,35	13,93	2,95
2000	1600	17,58	17,39	1,10
				Середня помилка апроксимації 5,03

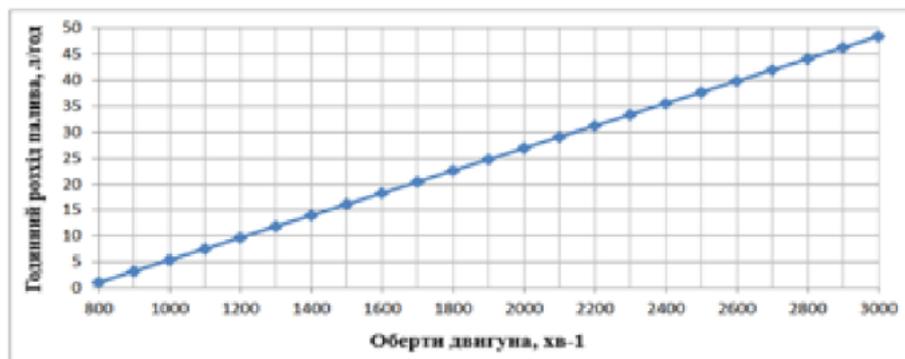
## Час здійснення операції підйому/опускання контейнера з ТПВ у технологічному режимі експлуатації



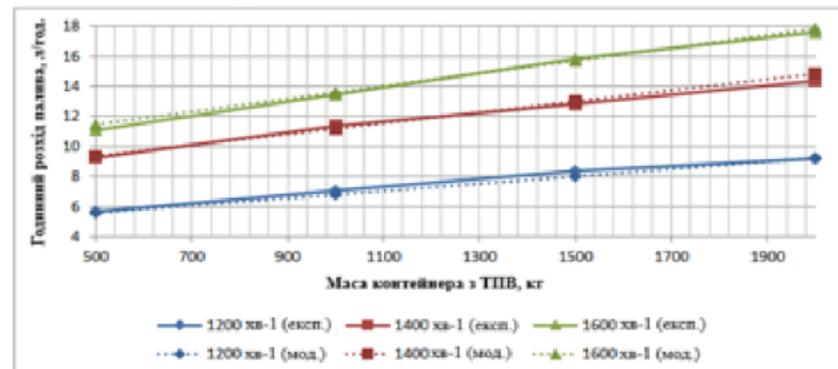
## Зміна годинної витрати палива від маси вантажу (оберти двигуна - 1200 об/хв). 17



## Зміна годинної витрати палива від обертів двигуна (маса контейнера з ТПВ 2000 кг). 17



## Порівняння розрахункових та експериментальних даних 18

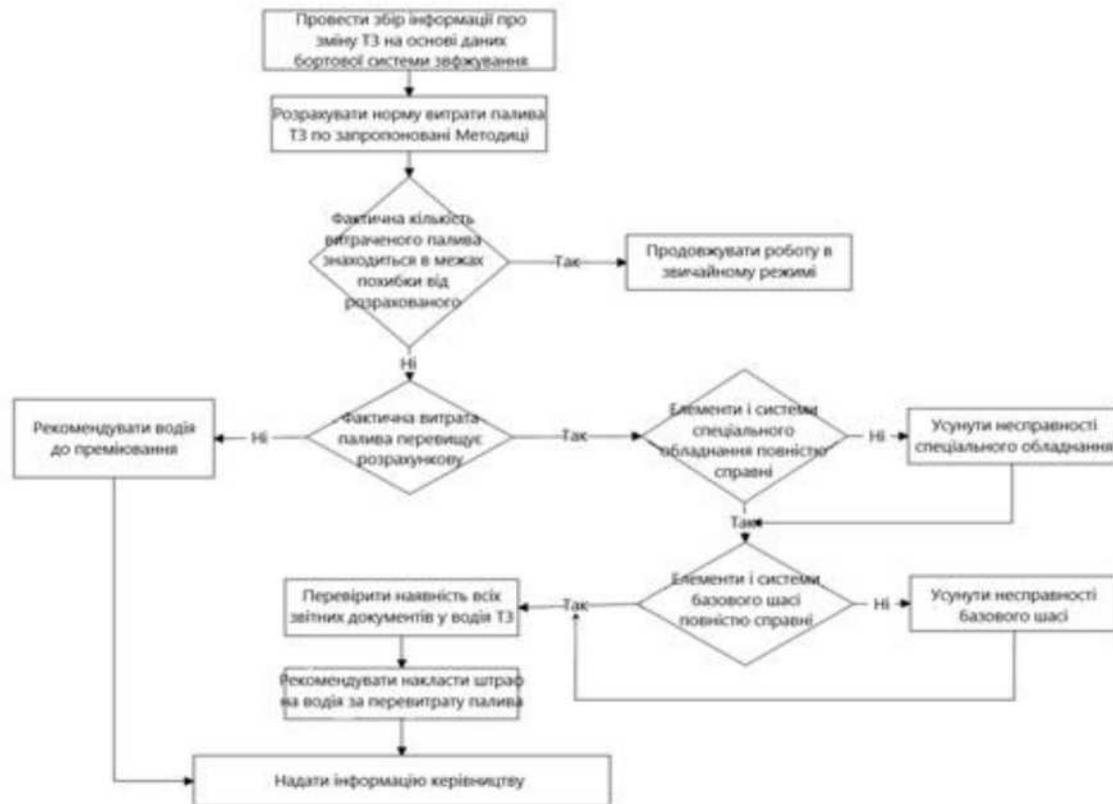


## Оцінка адекватності математичної моделі

Дисперсія відтворюваності	Дисперсія адекватності	Критерій Фішера (F)	Табличне значення критерію Фішера (Fкр)
0,0513	0,0825	1,60	4,30



## Алгоритм реалізації розробленої методики на АТП



## Річні питомі витрати спеціального автомобіля для збирання і транспортування ТПВ.

№	Показник	Од. вим.	Спеціальний автомобіль з заднім навантаженням ТКО БМ-53229-1	
			по діючій методиці	по запропонованій методиці
1	Річний фонд роботи автомобіля, Т	авт-год/р	3540,48	3540,48
2	Річні експлуатаційні витрати $Z_{\text{експ}}$	грн/р	4992022	4781764,50
3	Річна експлуатаційна продуктивність, $\Pi_r$	т/р	2243	2243
4	Річні питомі приведені витрати, $Z_{\text{пр}}$	грн/р	2225,60	2131,86

Таким чином, застосування запропонованої методики дасть змогу за рахунок зниження річних експлуатаційних витрат знизити питомі наведені річні витрати до 4,4 %. За чинною методикою річні питомі приведені витрати становитимуть 2225,60 грн/т, за запропонованою методикою - 2131,86 грн/т, що дасть змогу за наявного навантаження автомобіля економити на його експлуатації до 210 тис. грн. на рік.

Додаток Б

Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень

## ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Підвищення ефективності роботи комунального унітарного підприємства «ЕкоВін» місто Вінниця шляхом покращення паливної економічності автомобілів

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота  
 Підрозділ кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

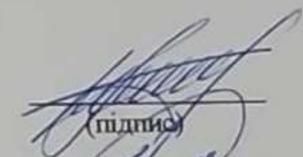
Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism (КПІ) 20 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

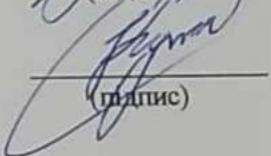
- Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють 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:

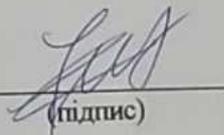
Цимбал С.В., завідувач кафедри АТМ  
(прізвище, ініціали, посада)

  
(підпис)

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

  
(підпис)

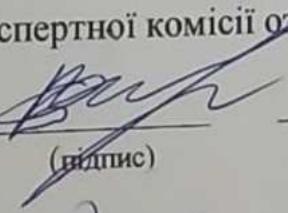
Особа, відповідальна за перевірку

  
(підпис)

Цимбал О.В.  
(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

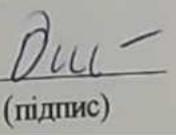
Керівник

  
(підпис)

Огневий В.О., доцент кафедри АТМ

(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач

  
(підпис)

Берчій О.М.

(прізвище, ініціали)