

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Механіко – технологічний факультет

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

**Завідувач кафедри
Тракторів і автомобілів**

_____ (назва кафедри)

Калінін Є.І.

_____ (підпис)

_____ (ПІБ)

« _____ » _____ 2025 р.

ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ БАКАЛАВРА

на тему «Покращення показників двигунів автомобілів АПК

ультразвуковим очищенням електромагнітних форсунок»

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

Гарант освітньої програми

К.Т.Н., доцент

_____ (науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Сівак І.М.

_____ (ПІБ)

Керівник дипломного проєкту бакалавра

К.Т.Н., доцент

_____ (науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Павленко М.Ю.

_____ (ПІБ)

Виконав

_____ (підпис)

Гладищенко Ярослав Юрійович

_____ (ПІБ)

КИЇВ – 2025

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
тракторів і автомобілів

д.т.н., проф. _____ **Калінін Є.І.**
(наук. ступ., вч. звання) (підпис) (ПІБ)
« _____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломного проєкту бакалавра студенту
Гладишенку Ярославу Юрійовичу

Спеціальність _____
(прізвище, ім'я, по батькові) 208 «Агроінженерія»
(код і назва)

Тема дипломного проєкту бакалавра на тему «Покращення показників двигунів автомобілів
АПК ультразвуковим очищенням електромагнітних форсунок»
затверджена наказом ректора НУБіП України від «06» грудня 2023р. №2217 «С»

Термін подання завершеної роботи (проєкту) на кафедру: _____ 31.05.2023
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до дипломного проєкту бакалавра: сучасні методи визначення норм витрат
палива для вантажних автомобілів; описання конструкції та принципів роботи вантажних
автомобілів спеціального призначення

Перелік питань які потрібно розробити _____
Вступ _____

1. Сучасні проблеми при експлуатації та обліку паливно-мастильних матеріалів на підприємствах агропромислового сектору
2. Розробка математичної моделі зміни витрати палива спеціального автомобіля в технологічному режимі експлуатації
3. Методика та результати експериментальних досліджень

Висновки _____

Перелік графічного матеріалу: Сучасні проблеми при експлуатації спеціальних автомобілів;
Методи визначення витрати палива; Об'єкт досліджень; Математична модель зміни витрати
палива в технологічному режимі експлуатації; Експериментальні дослідження; Результати
експериментальних досліджень; Алгоритм та програма для зниження витрати палива
автомобілями спеціального призначення; Висновки

Дата видачі завдання «03» вересня 2024 р.

Керівник дипломного проєкту бакалавра _____
(підпис)

Павленко М.Ю.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____
(підпис)

Гладишенко Я.Ю.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Основна частина дипломного проекту викладена на 62 сторінках пояснювальної записки і 10 слайдів презентації, відображена у 1 таблиці та ілюстрована 24 рисунками.

Пояснювальна записка складається із вступу, 3 розділів, висновків, списку використаної літератури.

Тема дипломного проекту: «Покращення показників двигунів автомобілів АПК ультразвуковим очищенням електромагнітних форсунок»

У дипломному проекті на основі розроблених експериментально-розрахункових залежностей вирішено завдання підвищення ефективності перевезення твердих відходів переробних виробництв шляхом оперативного коригування норм витрати палива у технологічному режимі експлуатації спеціальних автомобілів для збирання та транспортування відходів з використанням методів ультразвукової очистки електромагнітних форсунок. Розроблено математичну модель зміни навантаження на колінчастому валу двигуна спеціального автомобіля для збирання та транспортування відходів у технологічному режимі експлуатації, в якій вперше враховані фактори: маса вантажу та оберти двигуна базового шасі.

Ключові слова: вантажний автомобіль, спецтранспорт, ультразвукова очистка форсунок, витрата палива, технологічний режим.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ОБЛІКУ ПАЛИВНО-МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ПІДПРИЄМСТВАХ АГРОПРОМИСЛОВОГО СЕКТОРУ	7
1.1 Загальна характеристика функціонування переробних підприємств агропромислового виробництва.....	7
1.2. Особливості експлуатації та нормування витрати палива спеціальних автомобілів під час транспортування відходів переробних виробництв.....	9
1.3. Методи визначення витрат палива на автомобілях.....	10
1.4 Об'єкт досліджень.....	21
1.5 Висновки за розділом	22
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЗМІНИ ВИТРАТИ ПАЛИВА СПЕЦІАЛЬНОГО АВТОМОБІЛЯ В ТЕХНОЛОГІЧНОМУ РЕЖИМІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ.....	23
2.1 Мета та задачі математичного моделювання	23
2.2 Вибір та обґрунтування підходу до математичного моделювання	24
2.3 Математичне моделювання підсистеми «гідравлічний насос-гідроциліндр».....	28
2.4 Розробка комп'ютерної програми	36
2.5 Висновки за розділом	37
РОЗДІЛ 3 МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	38
3.1 Загальна методика експериментальних досліджень	38
3.2. Аналіз факторів, що впливають на витрату палива спеціального автомобіля для збору та транспортування відходів під час роботи в технологічному режимі експлуатації.....	39
3.3. Обладнання для проведення експериментальних досліджень.....	44
3.4. Результати експериментальних досліджень впливу досліджуваних факторів на витрату палива у технологічному режимі.....	48
3.5 Рекомендації щодо коригування норми витрати палива в технологічному режимі експлуатації спеціальних автомобілів для збирання та транспортування відходів	56

ВИСНОВКИ.....	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	61

ВСТУП

Проблема стійкого споживання та переробки ресурсів агропромислового комплексу щільно пов'язана з проблемою зростання виробництва відходів, тобто виробництва їх з такою інтенсивністю, за якої обсяг надходження відходів не перевищує можливості їх переробки чи сорбції.

Стійке споживання ресурсів пов'язане із задоволенням потреб людини, у тому числі з їхньою екологізацією, встановленням відповідності між рівнем споживання та природно-ресурсним потенціалом території.

Однак, на даному етапі розвитку переробної промисловості гостро стоїть питання забезпечення вивезення відходів даної галузі з мінімальними витратами палива, оскільки спецтранспорт, задіяний у даних технологічних операціях, функціонує не тільки в режимі руху, а й у технологічному режимі.

Тому питання підвищення ефективності експлуатації спецтранспорту за рахунок зниження його витрати палива, є сучасним та актуальним питанням.

РОЗДІЛ 1 СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ОБЛІКУ ПАЛИВНО-МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ПІДПРИЄМСТВАХ АГРОПРОМИСЛОВОГО СЕКТОРУ

1.1 Загальна характеристика функціонування переробних підприємств агропромислового виробництва

Проблема охорони навколишнього середовища має глобальний характер і тому має вирішуватися не тільки відносно конкретного підприємства чи виробничого циклу, але і у масштабах окремих міст та промислових центрів, регіонів, всієї території країни, групи країн, окремих континентів та всієї земної кулі.

Сьогодні у сільському господарстві України створюється понад 25% валового продукту, а в сільській місцевості проживає більше 36% загальної чисельності населення.

У багатогалузевій структурі агропромислового комплексу України функціонує понад 6,0 тис. сільськогосподарських підприємств, понад 12,0 тис. фермерських господарств та понад 800 тис. особистих підсобних господарств громадян, понад 700 підприємств харчової та переробної промисловості.

Харчова та переробна промисловість – одна зі стратегічних галузей економіки, покликана забезпечити стійке постачання населенню необхідних якісних продуктів харчування. Підприємства харчової промисловості переробляють величезну кількість продуктів сільського господарства. При цьому, підприємства, що переробляють продукцію сільського господарства (консервні, спиртові, молокозаводи, м'ясокомбінати та ін), обладнані, як правило, примітивними очисними спорудами, а в багатьох випадках не мають взагалі жодних споруд, та вносять значний внесок у забруднення навколишнього середовища [1].

В останні роки через загальний спад виробництва переробка відходів зменшилась. У зв'язку з цим у зонах розташування переробних заводів у

період сезону велика кількість відходів та зіпсованої сировини забруднює навколишнє середовище. Основним екологічним завданням всіх виробництв на сучасному етапі є збереження на відповідному рівні якості довкілля.

В даний час транспортування відходів переробки здійснюється спеціально обладнаним автомобільним транспортом, що виключає втрати відходів по дорозі та забруднення навколишнього середовища.

Збір та видалення відходів здійснюється, зазвичай, самими аграріями, або спеціалізованими автотранспортними підприємствами (АТП) у строки, передбачені санітарними правилами [2].

Періодичність вивезення твердих комунальних відходів встановлюється з урахуванням пори року, кліматичної зони, епідеміологічної обстановки.

Перевантаження відходів із контейнерів проводиться шляхом механізованого спорожнення до кузова спеціального автомобіля. Після завантаження відходи доставляють до пункту переробки або до місця їх розміщення.

При виборі спеціальних автомобілів для збору та транспортування відходів переробки АТП враховують такі критерії, як місткість кузова, необхідний ступінь ущільнення відходів залежно від їхньої середньої щільності, дальність вивезення, розвиненість дорожньої мережі та її пропускна спроможність, експлуатаційні витрати та ін.

Для організації збору та транспортування відходів від місць накопичення до місць використання, знешкодження чи розміщення (полігону) застосовують пряму (одноетапну) чи двоетапну системи. Пряма система передбачає транспортування відходів в один етап від виробника до споживача відходів.

При двоетапній організації системи збирання та транспортування відходів застосовуються перевантажувальні станції.

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

При двоетапній організації вивезення відходів застосовується така система: збирання та транспортування відходів від виробника відходів до перевантажувальних станцій здійснюється спеціальними автомобілями малої та середньої вантажопідйомності; на перевантажувальних станціях відбувається часткове попереднє сортування відходів та їх перевантаження у транспортні автомобілі з великою вантажопідйомністю, що здійснюють транспортування відходів на кінцевий пункт розміщення.

Система із застосуванням двоетапного збору відходів економічно та екологічно ефективніша [3].

Моніторинг руху спеціальних автомобілів для збору та транспортування відходів на сьогоднішній день здійснюється за допомогою встановлених бортових навігаційних терміналів супутникового моніторингу GPS [4]. Проте, дані системи дозволяють контролювати лише основні експлуатаційні показники транспортного засобу: загальна витрата палива, час руху та стоянки, маршрут руху. Відсутня можливість контролю витрат палива окремо у технологічному чи транспортному режимах роботи. У свою чергу, час роботи автомобіля в технологічному режимі становить понад 50% від загального часу роботи машини на рейсі. Дані системи, у більшості випадків, призначені лише для контролю поточних показників транспортного засобу та не призначені для здійснення планування та організації автомобільних перевезень.

1.2. Особливості експлуатації та нормування витрати палива спеціальних автомобілів під час транспортування відходів переробних виробництв

Однією з основних статей витрат за транспортування відходів є витрати на пальне. Нині зниження фактичної витрати пального не призведе

до реальної економії. Причиною є відсутність об'єктивного, науково обґрунтованого нормативу. Навіть застосування спеціалізованого обладнання – засобів інструментального контролю фактичної витрати палива не дозволяє досягти високої паливної економічності без об'єктивно встановленого ліміту споживання палива [5].

На автомобільному транспорті нормативна витрата палива застосовується 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 нафтопродуктів, що споживаються, проведення розрахунків з користувачами транспортних засобів, водіями та ін. [6].

Проблема коригування норм витрат палива на автомобільному транспорті досить широко розроблена. Вченими проведено дослідження, що спрямовані на встановлення закономірностей зміни витрати палива автомобілів у різних умовах експлуатації [2, 3, 8, 9, 10]. Однак, у проведених дослідженнях практично не торкалися експлуатації спеціальних автомобілів та їхньої роботи в технологічному режимі.

На сьогоднішній день норма витрати палива спеціальних автомобілів для збору та транспортування відходів визначається, згідно рекомендацій та стандартів за формулою:

$$Q = (0,01H_s S + Q_1 n)(1 + D) + 0,25n, \quad (1.1)$$

де Q – норма витрати палива за добу; H_s – лінійна норма витрати палива; S – середньодобовий пробіг машини; n – середньозмінна кількість рейсів; D – сумарна відносна надбавка до лінійних витрат палива; Q_1 – витрата палива при роботі спецобладнання (або на одне навантаження та розвантаження).

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

$$D = D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5 + D_6, \quad (1.2)$$

де D_1 – надбавка при роботі спецмашин з частими зупинками. Приймається до 10% за середньої кількості зупинок більше однієї на 1 км загального пробігу; D_2 – надбавка на роботу спецмашин в зимовий період. Надбавка розраховується окремо для кожного регіону країни за кліматичними районами. Змінюється не більше 5..20% залежно від регіону; D_3 – надбавка для автомобілів, що перебувають у тривалій експлуатації. Враховує автомобілі старше 5 років – до 5% та старше 8 років – до 10%; D_4 – надбавка при роботі в місцях з великою щільністю переробних підприємств. Розраховується виходячи із щільності переробних підприємств у регіоні та становить від 5 до 25%; D_5 – надбавка на виконання транспортної роботи з перевезення технологічного вантажу (води, технологічного матеріалу, відходів тощо) та становить до 10%; D_6 – надбавка для машин циклічної дії, що видаляють зібрані забруднення на звалища (сміттєвози, підмітально-прибиральні машини, пилососи тощо), надбавка за кожен цикл розвантаження становить $D_6 = 0,25$ л/цикл.

Спеціальний автомобіль для збирання та транспортування відходів працює у двох основних режимах: транспортний режим (вивіз) та технологічний режим (збір) [2]. У транспортному режимі він переміщається між майданчиками збирання відходів та полігоном їх розміщення, а в роботі задіяно лише базове шасі. У технологічному режимі здійснюється завантаження/розвантаження кузова за допомогою спеціального обладнання.

В роботі [8] на автотранспортному підприємстві було зібрано статистичні дані щодо експлуатаційних показників найбільш поширеного спеціального автомобіля для збирання та транспортування відходів переробного виробництва із заднім завантаженням БМ-53229-1 на базі шасі КамАЗ-65115. Дані про пробіг, витрату палива та кількість повних циклів завантаження/розвантаження за 2020-2021 рік наведено на рис 1.1. На

підставі зібраних даних було визначено норму витрати палива досліджуваного автомобіля за місяць.

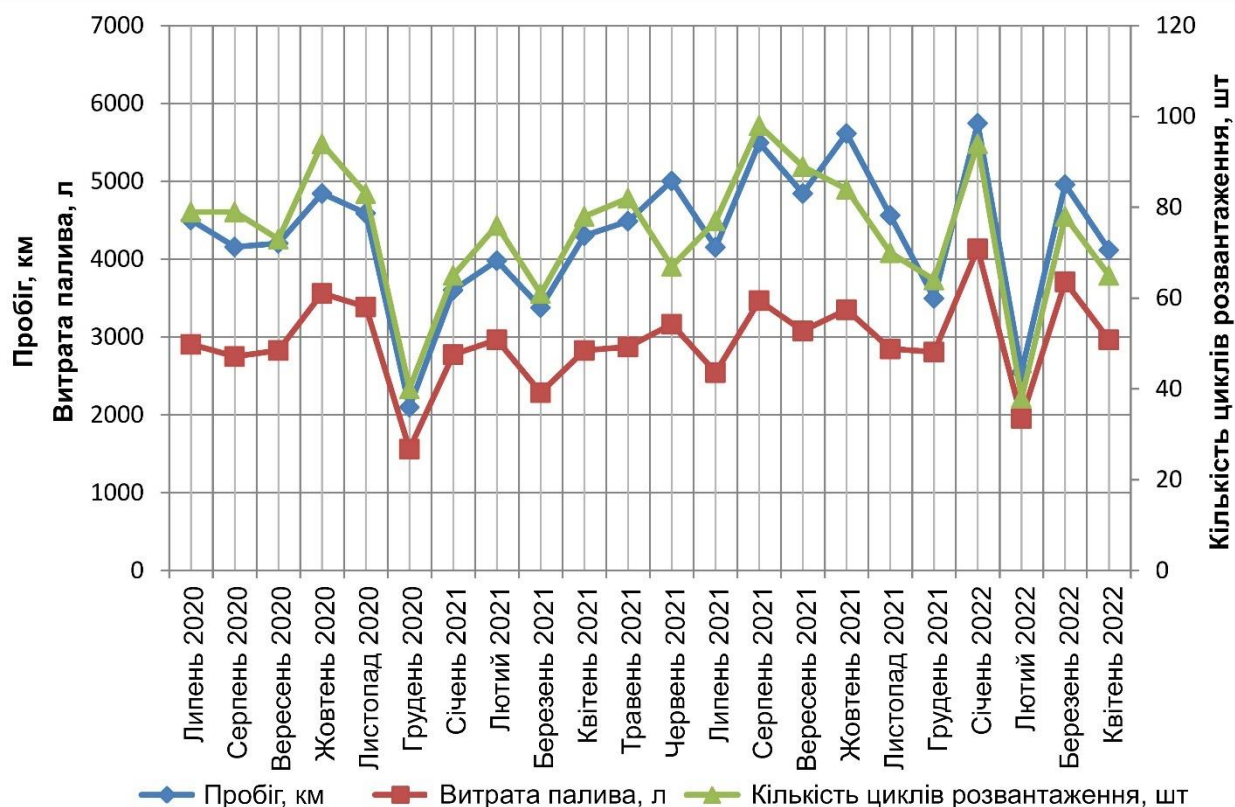


Рисунок 1.1 – Зміна пробігу, витрати палива, кількості циклів розвантаження/завантаження за місяцями

Проаналізувавши отримані дані, було встановлено, збільшення пробігу який завжди призводить до збільшення експлуатаційного витрати палива.

Наприклад, у грудні 2021 р. пробіг автомобіля скоротився на 30% порівняно з листопадом того ж року, але експлуатаційна витрата палива практично не змінилася. Це з додатковою роботою в технологічному режимі експлуатації. Одночасно з цим встановлено, що збільшення кількості циклів повного завантаження/розвантаження також не завжди призводить до збільшення експлуатаційної витрати палива. Встановлено, що в серпні 2020 р., червні, жовтні, листопаді 2021 р. спостерігалось зниження кількості циклів повного завантаження/розвантаження, проте експлуатаційна витрата палива в ці місяці збільшувалась, порівняно з попереднім. Це пов'язано з тим, що, при повному завантаженні кузова автомобіля, маса відходів, що

завантажуються, може відрізнятись в кілька разів на різних рейсах. Таким чином, необхідні додаткові дослідження, спрямовані на встановлення залежності експлуатаційної витрати палива від інших параметрів, наприклад, від маси відходів, що завантажуються.

Для визначення реальної експлуатаційної витрати палива при виконанні транспортної роботи спеціальним автомобілем для збору та транспортування відходів було проведено натурний експеримент на сміттєвозі БМ-53229-1 на базі шасі КамАЗ-65115. Відповідно до вимог ДСТУ 20306-90 «Автомобільні засоби. Паливна економічність» досліджуваний автомобіль був у повністю справному стані, укомплектований і заправлений ПММ відповідно до нормативно-технічної документації. Двигун, агрегати та шини пройшли належну обкатку відповідно до інструкції підприємства-виробника та мали пробіг (включаючи обкатку) не менше 3000 км [5].

Згідно з приписами ДСТУ шини автомобіля не мали пошкоджень та 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 та вузли автомобіля прогрівалися пробігом не менше ніж 30 км при швидкості руху 60 км/год. Випробування проводилися за температури $+20..+23^{\circ}\text{C}$ 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 «доливки бака до повного». Порожній автомобіль виїжджав на маршрут. На заправній станції заповнювався паливний бак до кришки. Після цього автомобіль слідував маршрутом. Після закінчення маршруту на тій же колонці заливалося паливо в бак до кришки. Таким чином, визначалася кількість витраченого

палива [8]. В якості вимірювальної дорожньої ділянки був обраний кільцевий маршрут. Дорога, на якій проводився експеримент, мала гладке, сухе та чисте асфальтобетонне покриття. При проведенні випробувань спеціальний автомобіль для збирання та транспортування відходів рухався в одному напрямку.

Експеримент проводився протягом 3 змін. За цей час автомобіль здійснив 8 рейсів. Рекомендована ДСТУ операційна карта міського циклу на дорозі не використовувалася, оскільки метою експерименту було виявлення впливу різних факторів на витрату палива, а не контрольну витрату палива.

В ході експерименту в журналі спостережень додатково фіксувалися маса завантажуваних відходів, обсяг і кількість баків, що піднімаються, час роботи спеціального обладнання і час руху між контейнерними майданчиками. Вимірювання маси відходів проводилося у процесі завантаження бортовим вимірювальним пристроєм [4]. При в'їзді на полігон розміщення відходів автомобіль проходив контрольне зважування на стаціонарних вагах платформних, з похибкою до 10 кг. Досліджуваний автомобіль проходив процедуру зважування двічі: при в'їзді та при виїзді з полігону. Проводився аналіз даних, отриманих за допомогою бортової системи зважування та визначених на стаціонарних платформних вагах. Відхилення даних не перевищувало 3%.

Завдання проведення експерименту полягало у визначенні кількості палива, необхідного для здійснення транспортної роботи, та порівнянні його з нормативним. Також необхідно було визначити вплив маси відходів, що перевозяться, на витрату палива.

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

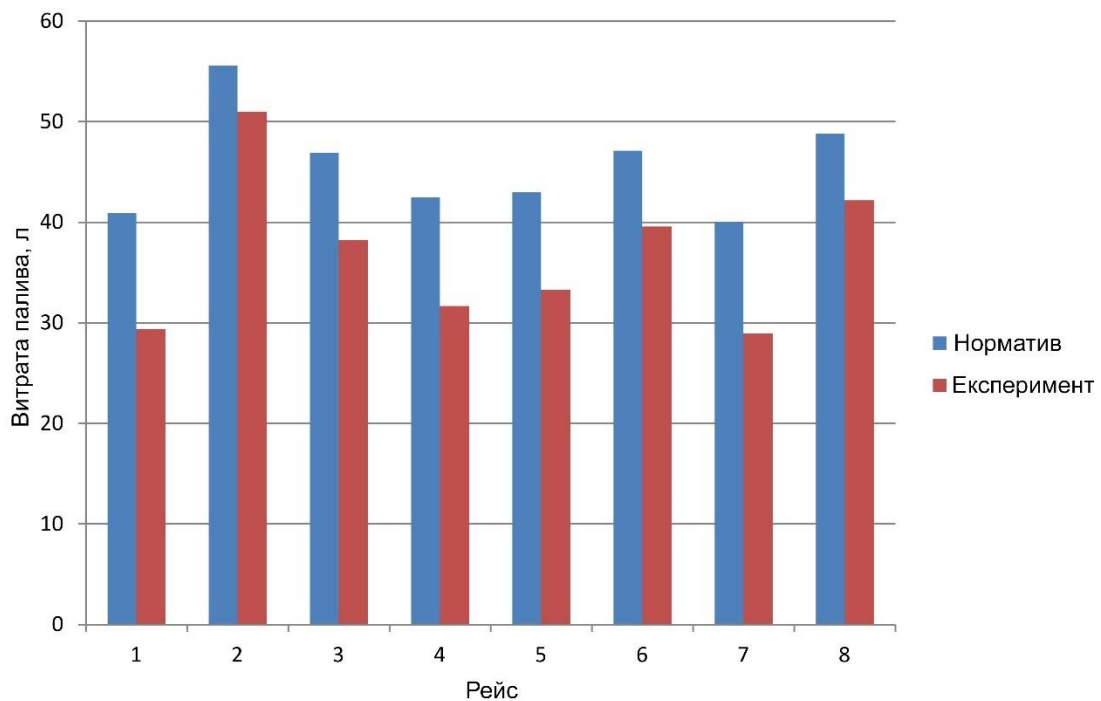


Рисунок 1.2 – Порівняння даних нормативної та експериментальної витрати палива

Маса відходів на досліджуваних рейсах змінювалася від 3880 до 7220 кг, обсяг вивезених відходів – від 69,5 до 101,5 м³, а густина відходів варіювалася від 46,3 до 74,6 кг/м³.

Було встановлено, що виконана робота та кількість палива, необхідна для виконання одного циклу завантаження/розвантаження автомобіля, змінювалися залежно від маси вивезених відходів та кількості завантажених баків, а витрата палива у технологічному режимі експлуатації Q_1 становить до 25...30% від загальної витрати палива. Існуючі надбавки не відображають і не враховують усі умови експлуатації спеціальних автомобілів для збору та транспортування відходів у технологічному режимі роботи, тому на АТП норми, як правило, розраховуються по верхній межі, що не дозволяє оперативно виявити перевитрату палива та визначити причину цієї перевитрати: поганий технічний стан спеціального обладнання, витіки в гідравлічній системі, некваліфіковане водіння, розкрадання та ін.

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

1.3. Методи визначення витрат палива на автомобілях

Існують різні методи визначення витрат палива. На автомобільному транспорті для визначення експлуатаційної витрати палива набули поширення такі методи: об'ємний, за рівнем палива у баку; об'ємний, з використанням витратомірів палива; з використанням бортових систем контролю; «доливкою до повного»; масовий (ваговий).

Об'єм палива в баку автомобіля визначається за допомогою датчика рівня палива (рис. 1.3). Може застосовуватися як штатний датчик показчика рівня палива, і додатковий – у системах контролю витрат палива та моніторингу транспорту [5].



Рисунок 1.3 – Датчики рівня палива в баку

Існує кілька видів датчиків рівня палива: резисторний поплавковий – штатний; та позаштатні – поплавковий магнітострикційний, ємнісний та ультразвуковий [7].

За способом перетворення сигналу розрізняють: аналогові, частотні та цифрові. Аналогові датчики рівня палива прості за конструкцією та надійні в експлуатації, але схильні до впливу перешкод і стрибків напруги.

Частотні – краще захищені від зовнішніх впливів та видають більш стабільні показники. Цифрові датчики рівня палива є найточнішими. Вони захищені від зовнішніх факторів. Їхня вартість не значно перевищує вартість частотних або аналогових.

Точність методу визначається, переважно, 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 та модуля реєстрації, обробки, зберігання та передачі даних.

Основна складність під час використання даного методу – це апаратна реалізація другої підсистеми, тобто, апаратури реєстрації, зберігання та дистанційної передачі даних [10].

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 [9].

Датчик витрати палива є проточним приладом обліку загального об'єму 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 двигун (рис. 1.4). При цьому для коректного підрахунку палива на дизельному двигуні необхідно перенести зворотну магістраль, по якій невитрачене паливо надходитиме в бак, до витратоміра.

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



Рисунок 1.4 – Однокамерний витратомір палива DFM

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 зливу палива (рис. 1.5). Вбудована електроніка враховує різницю між прямим та зворотним потоками палива та видає показник фактичної витрати.



Рисунок 1.5 – Диференціальний витратомір палива DFM

Схема підключення витратоміра з двома датчиками на дизельний двигун представлена на рис 1.6 [9].

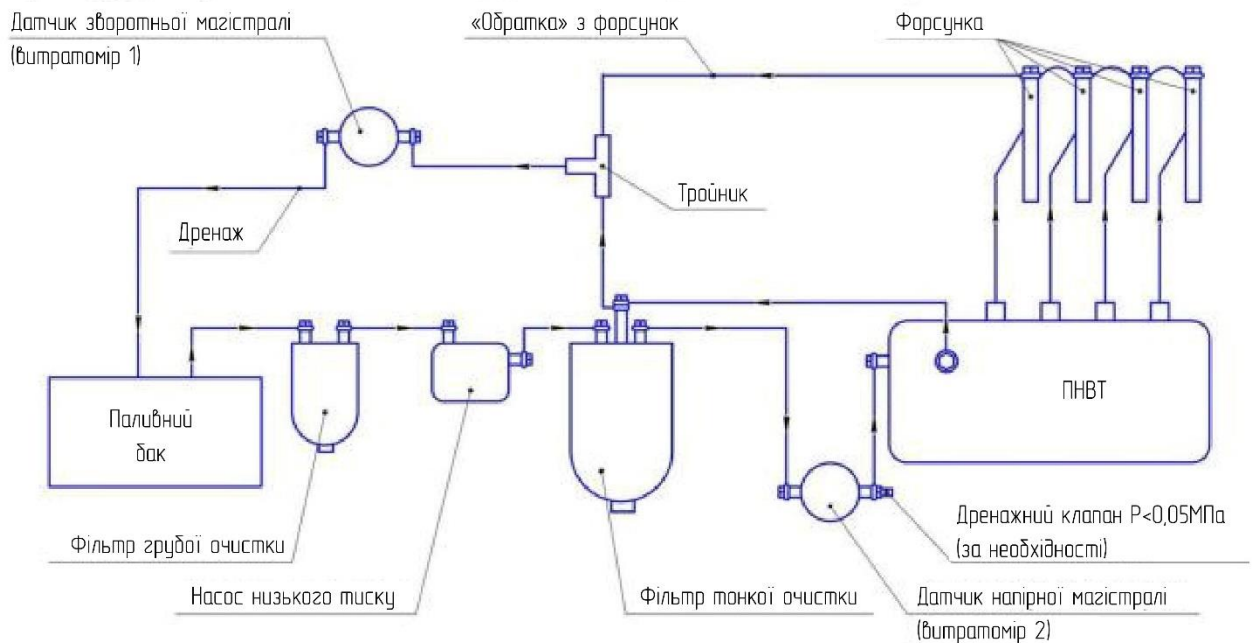


Рисунок 1.6 – Схема підключення витратоміра з двома датчиками

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. При роботі на холостому ході розкручується більше датчик зливу палива в бак, і на початку дослідження витратомір більшу частину часу показує нуль. З усього вищевикладеного можна дійти висновку, 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 [8]. Мобільні витратоміри мають низьку точність вимірювання споживання палива двигунами внутрішнього згорання, а стаціонарні витратоміри, що мають досить високу точність вимірювань, непридатні при дорожніх експериментальних дослідженнях.

Найчастіше вони використовуються при стендових випробуваннях за відсутності впливу дорожніх факторів (вібрацій і коливань автомобілів) [2].

Вимірювання поточної витрати палива та обчислення на його основі сумарного обсягу витраченого палива за допомогою даного методу, характеризується високою вартістю, вимогами до чистоти палива,

залежністю показань від фізико-хімічних властивостей палива та низкою інших факторів, що стримують поширення даного способу контролю витрат палива [10].

Одним із можливих способів вимірювання є використання бортових систем контролю витрат палива автомобіля [4, 7]. Достатньо багато сучасних транспортних засобів мають на борту шину CAN (Controller Area Network). Ця шина служить для передачі інформації між різними пристроями та датчиками автомобіля, у тому числі й інформації щодо витрати та рівня палива в баку.

Перевагою даного 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 та датчиків системи керування подачею палива [2]. Також застосування цього методу неможливо на транспортних засобах, в яких відсутня шина CAN, тобто. на більшості спеціальних автомобілів для збирання та транспортування відходів.

Суть методу «доливки до повного» зводиться до вимірювання кількості палива, що доливається в бак автомобіля до заповнення після виконання будь-якої кількості транспортної роботи. Даний метод передбачає необхідність повністю заправити паливний бак паливом перед початком виконання транспортної роботи. Таким чином, кількість палива, що доливається, відповідатиме витраті пального на транспортну роботу. Доливання перед і після транспортної роботи повинно здійснюватися на одному і тому ж майданчику, що дозволить виключити вплив нахилу автомобіля [12].

Проте, істотний недолік даного методу – це неприпустимо велике значення відносної похибки за певних (малих) величин пробігу, тобто, при малій витраті палива. Також при цьому методі випробувань виникають

випадкові похибки, що пов'язані з неточністю доливання бака та визначення рівня заповнення бака.

Масовий (ваговий) метод заснований на вимірі фактично витраченого палива автомобілем шляхом зважування вимірювальної ємності з паливом, при цьому робота двигуна здійснюється з даної вимірювальної ємності. Для зважування нафтопродуктів застосовуються шкальні чи циферблатні ваги. Маса нафтопродуктів, що зважуються, не повинна перевищувати вантажопідйомності ваг. Маса нафтопродукту визначається як різницю між масою брутто та масою тари. Для зниження впливу зовнішніх умов на похибку вимірювань вагові пристрої повинні бути захищені від вітру та опадів. Похибка вимірів залежить від точності вагового обладнання. При цьому способі виміру 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 проведеного аналізу було встановлено, що масовий (ваговий) метод вимірювання витрати палива при проведенні експериментальних досліджень на спеціальному автомобілі для збору та транспортування відходів при роботі в технологічному режимі експлуатації є найкращим.

1.4 Об'єкт досліджень

Для проведення експериментальних досліджень було обрано найпоширеніший автомобіль із заднім завантаженням БМ-53229-1 (рис. 1.7).



Рисунок 1.7 – Об’єкт досліджень

Спеціальний автомобіль для збирання та транспортування відходів БМ-53229-1 вироблений на базі шасі КамАЗ-65115 використовується з метою навантаження відходів, що знаходяться у спеціальних контейнерах. У задній частині машини розміщені завантажувальні пристрої, призначені для контейнерів різного об’єму від 0,8 до 7,5 м³. Об’єм кузова – 18,5 м³. Маса завантажуваних відходів – трохи більше 11000 кг [7]. На шасі КамАЗ-65115 встановлений дизельний двигун КамАЗ-740.65, об’ємом 11760 см³, максимальною потужністю 176 кВт (при 1900 хв⁻¹), максимальний крутний момент – 980 Нм (при 1300 хв⁻¹) [9].

1.5 Висновки за розділом

На основі проведеного аналізу було зроблено такі висновки:

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

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

3. Вибрано метод вимірювання витрати палива під час проведення експериментальних досліджень. На основі проведеного аналізу встановлено, що ваговий (масовий) метод є найкращим. Вибраний об’єкт

дослідження – найпоширеніший спеціальний автомобіль із заднім завантаженням БМ-53229-1 на базі шасі КамАЗ-65115.

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

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

РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЗМІНИ ВИТРАТИ ПАЛИВА СПЕЦІАЛЬНОГО АВТОМОБІЛЯ В ТЕХНОЛОГІЧНОМУ РЕЖИМІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

2.1 Мета та задачі математичного моделювання

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

При моделюванні процесу витрат палива доцільно використовувати раціональну математичну модель. Раціональні моделі (формули) суворо логічно випливають із законів фізики, відбивають закономірність розвитку досліджуваного явища, пояснюють зв'язки з внутрішніми та зовнішніми чинниками. Вони мають загальний характер і дозволяють теоретично досліджувати всі сторони явища [8].

Завдання розробки математичної моделі: вибір параметрів, залежностей та 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 реального об'єкта.

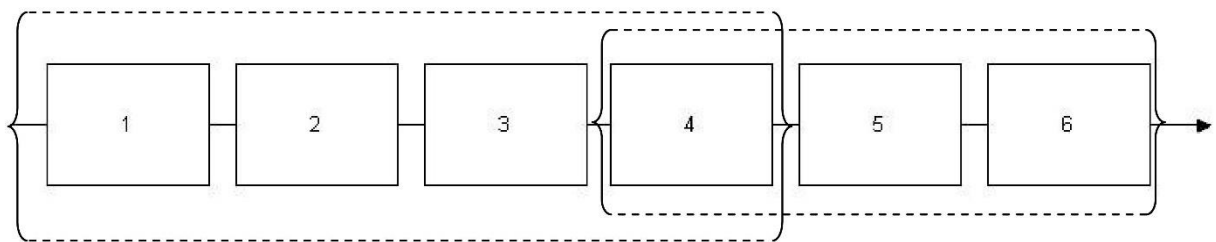
При моделюванні необхідно враховувати такі параметри: величина навантаження на виконавчому механізмі; час операції; тип двигуна; частота обертання двигуна базового шасі; ККД гідравлічної системи, гідравлічного насоса, гідроприводу; геометричні характеристики гідросистеми та виконавчих механізмів; температура робочої рідини.

На наступному етапі необхідно вибрати підхід та математичний опис моделі, що найбільш повно задовольняє заданим вимогам.

2.2. Вибір та обґрунтування підходу до математичного моделювання

Система приводу спеціального обладнання автомобіля для збирання та транспортування відходів складається з набору взаємозалежних елементів. Тому математична модель такої системи має відбивати як динаміку функціонування окремих елементів, так і системи загалом [4].

Модель зміни витрати палива спеціальних автомобілів для збирання та транспортування відходів у технологічному режимі експлуатації була представлена сукупністю роботи двох підсистем (рис. 2.1): підсистема «двигун внутрішнього згоряння-гідралічний насос» (позиції 1...4, рис. 2.1); підсистема «гідралічний насос-гідроциліндр» (позиції 4...6, рис. 2.1).



1 – двигун, 2 – коробка передач, 3 – коробка відбору потужності, 4 – гідралічний насос, 5 – гідророзподільник, 6 – гідроциліндр

Рисунок 2.1 – Структурна схема моделі

Двигун внутрішнього згоряння (1) через коробку передач (2) і коробку відбору потужності (3) рухає вал гідралічного насоса (4). Насос нагнітає робочу рідину у 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 «гідралічний насос-гідроциліндр» необхідно розглядати як гідропривод, що складається з елементів: гідралічний насос,

гідророзподільник, гідроциліндр. На сьогоднішній день математичне моделювання гідроприводів та процесів, що протікають у них, широко розроблено дослідниками.

Кожен вчений балансує між прагненням врахувати більшість факторів та фізичних процесів, що протікають у гідроприводі, та мінімального ускладнення моделі. Для зниження кількості припущень, моделювання процесів, що відбуваються у досліджуваному гідроприводі, доцільно будувати на основі законів збереження маси, енергії та кількості рухів [11, 12].

До найпростіших відносяться моделі гідроприводу, для яких характерні такі припущення: рідина нестискаєма; потік рідини розглядається як одновимірний та квазістаціонарний; температура робочої рідини стала, тобто процес ізотермічний; приведена маса стала. Подібні моделі розглянуті в роботах [12, 13, 15].

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 робочої рідини при моделюванні системи «гідравлічний насос-гідроциліндр» не можна приймати.

Відповідно до підходу, що розглядається в роботах [12, 13], гідравлічна рідина вважається стисливою в зосередженому об'ємі (зазвичай в гідродвигуні). Також відмінність підходу від простих – це врахування зміни ентропії (температури) рідини. Якщо теплота до рідини на кордонах та в об'ємі не підводиться (як, наприклад, у гідросистемі досліджуваного автомобіля), врахування зміни ентропії дозволить визначити розподіл температури в полі тиску.

У більш складних моделях враховуються хвильові процеси в трубопроводах. Вирішення подібних завдань докладно розглянуто у роботах [12, 15].

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

Розроблена математична модель дозволить прогнозувати зміну тиску, температури та щільності робочої рідини залежно від режиму роботи спеціального обладнання, маси вантажу, що піднімається, і просторового положення маніпулятора.

У моделі прийняті наступні припущення: рідина стискається в зосередженому об'ємі; потік рідини квазістаціонарний в об'ємі, що розглядається; хімічний склад взаємодіючих речовин і матеріалів гідросистеми постійний; зміна температури враховується для кожного замкнутого об'єму окремо (тобто при постійному об'ємі); процес подачі робочої рідини відбувається практично миттєво; впливом хвильових явищ у трубопроводах нехтуємо; подача насоса постійна.

При моделюванні підсистеми «двигун внутрішнього згорання-гідравлічний насос» було обрано підхід побудови паливної характеристики автомобіля за допомогою багатопараметрової характеристики двигуна [6, 7, 8]. Цей підхід ґрунтується на наступному. При моделюванні підсистеми «гідравлічний насос-гідроциліндр» визначається залежність потужності N_n , необхідної для роботи спеціального обладнання, від навантаження на штоку гідроциліндра (маси відходів, що піднімаються). Крім того, відомі передавальні числа приводу насоса від колінчастого валу двигуна η_{np} і робоча частота обертання двигуна n . Тоді для низки обраних значень маси відходів, що піднімаються, можна визначити потужність двигуна N_n :

$$N_n = \frac{N_{насос}}{\eta_{np}}. \quad (2.1)$$

За цими даними знаходяться на характеристиці 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 і частоти обертання. Таким чином виходить характеристика моменту опору споживача, приведеного до валу двигуна. Перетин цієї характеристики з лініями постійних питомих витрат палива дозволяє побудувати залежність $g_e=f_1(m_o)$ і $G_m=f_2(m_o)$. Потім з урахуванням щільності палива (ρ_m) і часу роботи спеціального обладнання ($t_{техн}$) будується залежність витрати палива в технологічному режимі експлуатації $Q_{техн}$ від маси відходів (m_o), що завантажуються, тобто $Q_{техн} = f_3(m_o)$ в літрах.

На рис. 2.2 показаний спосіб визначення питомої витрати палива з прикладу багатопараметрової характеристики дизеля КамАЗ-740. Аналізуючи зміни можна відзначити, що зниження навантаження на колінчастому валу двигуна при всіх частотах обертання призводить до зростання питомої витрати палива. Ступінь зростання витрати залежить від частоти обертання двигуна. На високих та низьких оборотах спостерігається погіршення паливної економічності. Існує область мінімальних витрат палива, до якої слід прагнути при дослідженні процесу витрати палива.

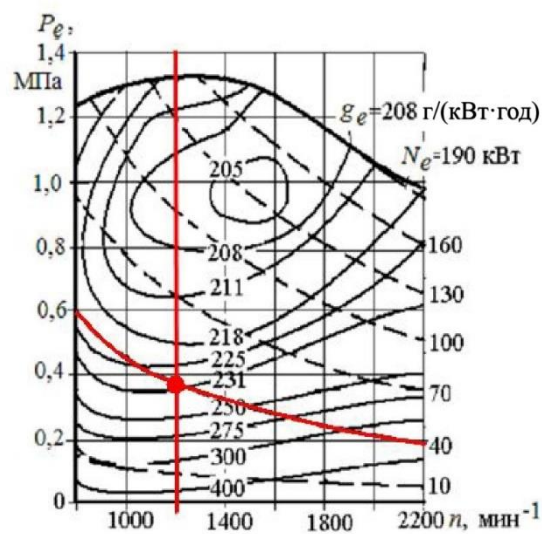


Рисунок 2.2 – Визначення питомої витрати палива за багатопараметровою характеристикою дизельного двигуна КамАЗ – 740

У моделі прийнято такі припущення: частота обертання двигуна стала; двигун повністю справний та прогрітий до робочих температур; процеси, які у системі паливоподачі, розглядаються як ізотермічні; теплообмін із довкіллям не враховується.

Даний підхід задовольняє вимогам даного дослідження і дозволяє повністю вирішити поставлені завдання. Застосування складніших підходів, що враховують газодинамічні та гідромеханічні процеси в двигуні [4], не доцільно, через невиправдано великі трудовитрати при моделюванні.

Далі потрібно провести математичне моделювання роботи розглянутих підсистем.

2.3. Математичне моделювання підсистеми «гідравлічний насос-гідроциліндр»

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 [6]:

– 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, що отримана за допомогою рівняння стану Ван-дер-Ваальса;

– підсистема, що описує рух твердих ланок, включає: рівняння переміщення поршня насоса [7]:

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

та рівняння швидкості поршня насосу:

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

де X_n – координата переміщення поршня насоса; V_n – швидкість переміщення поршня насоса; D – діаметр диска насоса; Ω – кутова швидкість обертання валу насоса; γ – кут нахилу диска; β – кут повороту диска.

Математичний опис функціонування гідроциліндрів аналогічний за структурою опису насоса і складається з двох підсистем рівнянь [7]:

– підсистема, що описує зміну стану робочого тіла, включає [4]: рівняння швидкості зміни густини (питомого об'єму) робочого тіла; рівняння швидкості зміни тиску робочого тіла; швидкість зміни температури, що отримана за допомогою рівняння стану Ван-дер-Ваальса.

– підсистема, що описує рух твердих ланок, включає [8]: рівняння руху поршня гідроциліндра

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

та рівняння координати переміщення поршня гідроциліндра:

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

де X_g – координата переміщення поршня гідроциліндра; V_g – швидкість переміщення поршня гідроциліндра; m_p – маса штока із поршнем гідроциліндра; S_p – площа поршня; R_n – навантаження на шток; ν – коефіцієнт тертя; Δp – перепад тисків у лівій та правій порожнині (відносно поршня) гідроциліндра.

Гідророзподільник не має рухомих частин, є проточною порожниною постійного об'єму, тому математичний опис його функціонування базується тільки на зміні стану робочого тіла [4].

Навантаження на шток гідроциліндра R_n слід задавати з урахуванням просторового положення підйомного пристрою, тому необхідно розрахувати просторове положення завантажувального порталу автомобіля.

Розрахунок просторового положення підйомного пристрою проводиться з метою визначення зміни миттєвої витрати палива під час підйому контейнеру з відходами. На рис. 2.3 представлена кінематична схема підйомного пристрою спеціального автомобіля із заднім завантаженням БМ-53229-1.

Підйомний пристрій є складною механічною системою, тому визначення реакцій зв'язків за допомогою рівнянь рівноваги є надто громіздким та малопридатним.

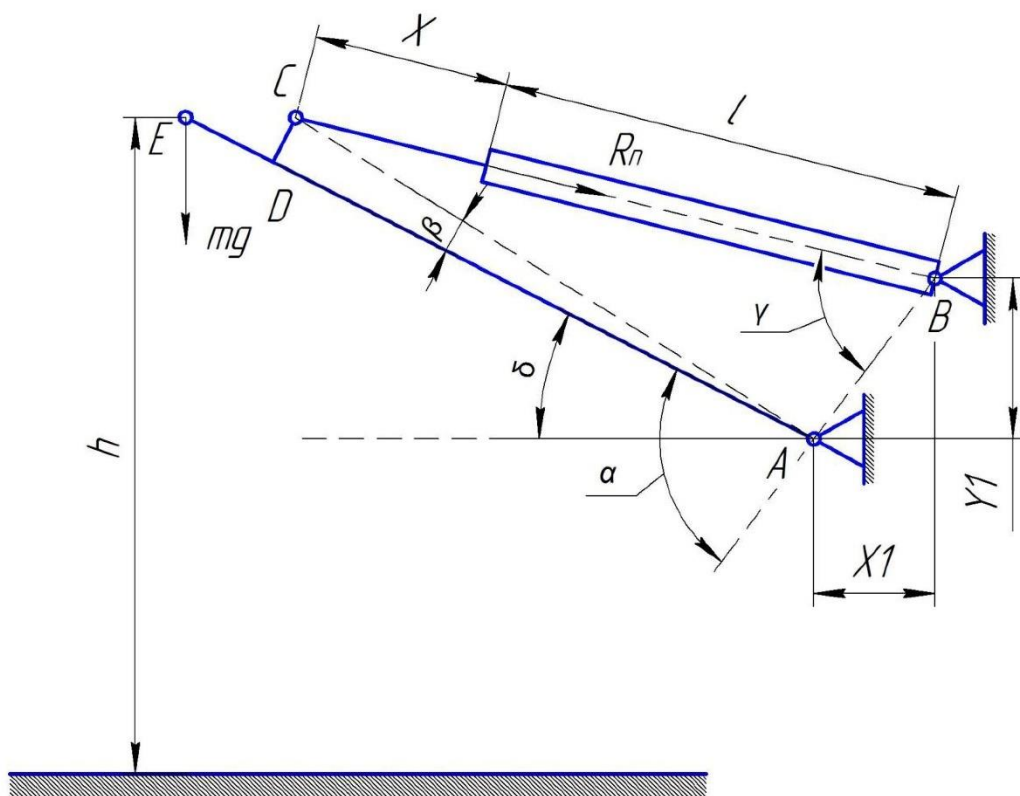


Рисунок 2.3 – Розрахункова схема підйомного пристрою спеціального автомобіля БМ-53229-1

В даному випадку доцільніше використовувати принцип можливих переміщень, згідно з яким умовою рівноваги системи сил, прикладених до підйомного пристрою, підпорядкованого стаціонарним двостороннім і ідеальним зв'язкам, полягає в рівності нулю суми елементарних робіт навантаження на штоку гідроциліндра зламу стріли і ваги вантажу на будь-якому можливому розглянутому положенні [1]:

$$mgdh + R_n dx = 0, \quad (2.6)$$

де R_n – сила, що діє на шток гідроциліндра; dx – можливе переміщення поршня гідроциліндра порталного завантаження; m – маса контейнера з відходами; g – прискорення вільного падіння; dh – можливе переміщення контейнера із відходами.

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

$$m = -\frac{R_n dx}{gdh}. \quad (2.7)$$

Для того, щоб зв'язати можливе переміщення поршня гідроциліндра dx з можливим кутом переміщення порталю, 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; L – довжина гідроциліндра порталного завантаження; γ – кут між віссю гідроциліндра та прямою, що з'єднує точки кріплення рами порталю та гідроциліндра до кузова.

AB є гіпотенузою у 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 порталю та гідроциліндра порталного завантаження до кузова.

Аналогічно, з трикутника ACD знаходимо відстань між кріпленням порталю до кузова та шарніром гідроциліндра AC та кут β :

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

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

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 та порталю на пряму AB , виходить співвідношення:

$$(x + L)AB \cos \gamma = AB + AC(\alpha + \beta). \quad (2.13)$$

Підставляючи вираз (2.13) в (2.12):

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

Отримане рівняння (2.14) записується у диференціалах відносно x та α :

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

Таким чином, переміщення поршня гідроциліндра dx можна знайти за формулою:

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

Необхідно зв'язати можливе переміщення контейнера dh із можливим кутом переміщення порталю $d\alpha$:

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

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

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

Підставляючи отримані співвідношення в формулу (2.7), масу контейнера з відходами 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 відходами при підйомі 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 в залежності від просторового положення порталю 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 подати у вигляді відношення геометричних характеристик підйомного пристрою (формула 2.21). Таким чином, вираз 2.21 можна подати у вигляді:

$$R_n = k_{ман} mg. \quad (2.22)$$

Тиск у штоковій порожнині гідроциліндра портального завантаження p_1 можна подати у вигляді:

$$p_1 = \frac{R_n}{S_n - S_{ум}}, \quad (2.23)$$

де S_n – площа поршня гідроциліндра; $S_{ум}$ – площа штока гідроциліндра.

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

$$p_1 = \frac{k_{ман} mg}{S_n - S_{ум}}. \quad (2.24)$$

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

При розробці математичної моделі витрати палива мають бути використані основні теоретичні залежності з теорії двигунів та експериментальні багатопараметрові характеристики щодо конкретного двигуна [7].

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

$$G_m = \frac{N_n g_e}{\rho_{нал}} 10^{-3}. \quad (2.25)$$

де G_m – годинна витрата палива під час виконання робіт у технологічному режимі експлуатації; g_e – питома витрата палива; N_n – навантаження на колінчастому валу двигуна, кВт; $\rho_{нал}$ – густина палива.

При моделюванні підсистеми «двигун внутрішнього згорання-гідралічний насос», потужність двигуна необхідна для переміщення робочого гідроциліндра та підйому вантажу масою m_o :

$$N_n = \frac{p_1 Q}{\eta_{np} \eta_n \eta_{zc}}, \quad (2.26)$$

де η_{np} – об’ємний ККД приводу насоса від двигуна через коробку передач та коробку відбору потужності; η_{zc} – об’ємний ККД гідросистеми; η_n – об’ємний ККД насоса; Q – подача насоса.

Подача насоса розраховується [6]:

$$Q = V_o n_n = V_o n_{\text{дв}} z_{\text{дв-н}}, \quad (2.27)$$

де V_o – робочий об’єм насоса; n_n – частота обертання валу насоса; $n_{\text{дв}}$ – частота обертання двигуна базового шасі; $z_{\text{дв-н}}$ – передатне відношення від двигуна до насоса.

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

$$N_n = \frac{m n_{\text{дв}} g V_o z_{\text{дв-н}} k_{\text{ман}}}{(S_n - S_{\text{шт}}) \eta_{np} \eta_n \eta_{zc}}. \quad (2.28)$$

За характеристикою досліджуваного двигуна визначається питома витрата палива при заданій частоті обертання двигуна та розрахованого навантаження.

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

$$Q_{\text{техн}}^{\text{зав}} = \frac{g_e N_n}{\rho_{\text{пал}}} t_{\text{зав}} 10^{-3}, \quad (2.29)$$

де $Q_{\text{техн}}^{\text{зав}}$ – кількість витраченого палива під час завантаження контейнера з відходами; $t_{\text{зав}}$ – час завантаження контейнера з відходами.

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

$$t_{\text{техн}} = t_{\text{зав}} + t_{\text{н.з.зав}} + t_{\text{роз}} + t_{\text{прес}}, \quad (2.30)$$

де $t_{\text{зав}}$ – середній час операції із завантаження кузова; $t_{\text{н.з.зав}}$ – час на підготовчо-заключні операції із захоплення контейнера; $t_{\text{роз}}$ – середній час

операції з розвантаження кузова; $t_{прес}$ – середній час операції пресування відходів.

Аналіз тривалості робочого циклу дозволяє виділити основну операцію робочого циклу машини у технологічному режимі експлуатації: $t_{зав}$ – тривалість завантаження контейнера в кузов. Інші операції циклу є допоміжними, мають імовірнісний характер і можуть бути враховані як коефіцієнт [3].

Тривалість попередньо-завершальних операцій при завантаженні контейнера і розвантаженні кузова може бути врахована коефіцієнтом допоміжних операцій $K_{дон.зав}$. Цей коефіцієнт слід зарахувати до операції завантаження кузова $t_{зав}$. Розмір коефіцієнта $K_{дон.зав}$ встановлюється виходячи з аналізу сумарного часу робочого циклу машини [3].

Математичну модель пропонується подати у вигляді нової залежності зміни витрати палива в технологічному режимі експлуатації спеціального автомобіля для збору та транспортування відходів від маси відходів, що завантажуються, і оборотів двигуна базового шасі:

$$Q_{техн} = \sum_{i=1}^k \frac{m_i n_{об}^i g V_o z_{об-н} g_e k_{ман} t_{зав}^i}{(S_n - S_{ум}) \eta_{пр} \eta_n \eta_{гс} \rho_{нал} 10^6} K_{дон.он}, \quad (2.31)$$

де $Q_{техн}$ – норма витрати палива у технологічному режимі експлуатації; k – кількість завантажених контейнерів із відходами; $K_{дон.он}$ – коефіцієнт, що враховує допоміжні операції при завантаженні кузова спеціального автомобіля.

Отриману модель пропонується використовувати як розрахункову відносно норми витрати палива за рейс на автотранспортному підприємстві.

2.4 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 та функцій, рівняння, що описують роботу підсистем «двигун внутрішнього згоряння-гідролінійний насос» та «гідролінійний насос-гідроциліндр», алгоритми розрахунку допоміжних величин. Диференціальні рівняння гідролінійки вирішуються 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) та значення обертів насоса та двигуна базового шасі, а також фактична витрата палива.

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

Крок розрахунку задається вручну: чим менше крок, то, відповідно довше тривалість розрахунків. Було обрано крок $1 \cdot 10^{-5}$ сек., при цьому тривалість розрахунку повного висування штока одного гідроциліндра займала близько 30 хвилин на комп'ютері з процесором частотою 2 ГГц.

Результати розрахунків зберігалися у текстовому файлі REZ.dat, який зручно аналізувати за допомогою програми MathCAD.

2.5 Висновки за розділом

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

2. Розроблено математичну модель зміни витрати палива спеціального автомобіля для збирання та транспортування відходів у технологічному режимі експлуатації, в якій вперше враховані фактори: маса вантажу та

обороту двигуна базового шасі. Модель дозволяє визначати витрату палива у технологічному режимі експлуатації спеціальних автомобілів.

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

РОЗДІЛ 3 МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Загальна методика експериментальних досліджень

Мета експериментальних досліджень – це перевірка адекватності математичної моделі реальному об'єкту, і навіть визначення чисельних значень параметрів математичної моделі.

Завданнями експериментальних досліджень є:

1. Оцінка впливу факторів на витрату палива у технологічному режимі експлуатації;
2. Перевірка закономірностей впливу роботи виконавчих механізмів на витрату палива спеціальних автомобілів для збирання та транспортування відходів у технологічному режимі експлуатації;
3. Оцінка чисельних значень параметрів математичної моделі.

Для отримання дослідних даних проводився активний експеримент. При ньому дослідник керує рівнем незалежних змінних (факторів) та вивчають безпосередньо об'єкт досліджень [15].

Отже, під час підготовки експерименту необхідно: розробити план експерименту; визначити кількість рівнів кожного чинника, в яких змінюється параметр оптимізації; скласти матрицю плану експерименту та визначити кількість вимірювань у кожній точці матриці; визначити перелік необхідного обладнання та оцінити похибку вимірювань; вибрати методики опрацювання результатів натурних випробувань.

За підсумками активного натурального експерименту вирішувалися завдання 1...3.

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

Аналіз літературних джерел та раніше виконаних досліджень дозволив сформулювати перелік факторів, що впливають на витрату палива

спеціального автомобіля для збору та транспортування відходів у технологічному режимі експлуатації: маса завантажуваних відходів – X_1 [10, 11]; частота обертання двигуна базового шасі – X_2 [8]; температура робочої рідини – X_3 [4]; технічний стан систем та обладнання автомобіля – X_4 [9]; природно-кліматичні умови – X_5 [2, 3].

Фактори X_1 і X_2 – керовані, таким чином, впливаючи на них, можна домогтися зміни фактичної витрати палива при роботі автомобіля в технологічному режимі експлуатації. На сьогоднішній день на більшості автотранспортних підприємств діє система планово-попереджувального ремонту, це передбачає, що автомобіль, виїжджаючи на лінію, повністю справний. Отже, фактор X_4 – не впливатиме на витрату палива при експлуатації. Навіть при експлуатації в зимовий період гідравлічна система спеціального автомобіля прогрівається до робочої температури вже при завантаженні перших двох контейнерів з відходами, відповідно, істотного впливу на витрату палива при роботі в технологічному режимі фактор X_3 не надаватиме. Таким чином, експеримент доцільно проводити при прогрітій гідравлічній системі до робочої температури.

Природно-кліматичні умови (X_5) – некерований фактор, але він значно впливає на процес сумішоутворення в двигуні базового шасі.

Тому цей фактор необхідно враховувати при розрахунку норм витрати палива на підприємстві.

На початок планування експерименту необхідно вибрати область визначення чинників, тобто, верхній та нижній межі зміни кожного фактору при роботі спеціального автомобіля для збирання та транспортування відходів у 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 [1].

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

Область визначення маси вантажу, що підіймається (X_1) лежить в діапазоні від 500 кг до 3000 кг. Верхня межа обумовлена вантажопідйомністю вантажного обладнання і є гранично допустимою масою вантажу, що підіймається [7]. Нижня межа обумовлена масою порожнього контейнера. При виборі локальної підобласті для натурних досліджень верхня межа вибиралася з урахуванням об'єму контейнера, що піднімається, і максимальної щільності відходів [6] і склала 2000 кг. В якості нульового рівня було обрано центр підобласті – 1250 кг.

Інформація щодо керованих факторів X_1 та X_2 для реальних умов експлуатації (область визначення) та для експериментальних досліджень (подібність визначення) представлена в табл. 3.1. Обидва фактори незалежні, оскільки існує можливість встановлення кожного фактору на будь-який рівень незалежно від рівнів інших факторів та сумісні, тобто їх комбінації здійсненні та безпечні. Таким чином, виконуються основні вимоги до сукупності факторів під час планування експерименту.

Області та підобласті визначення факторів

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

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

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

де a_0 , a_1 , a_2 – параметри лінійного рівняння; X_1 , X_2 – фактори, що впливають значення величини Y .

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

Представляємо змінні Y , X_1 і X_2 як центровані і нормовані, тобто виражені як відхилення від середніх величин, поділені на стандартне відхилення [12, 13]:

$$x_1 = \frac{X_{1i} - \bar{X}_1}{\sigma_{X_1}}, \quad x_2 = \frac{X_{2i} - \bar{X}_2}{\sigma_{X_2}}, \quad x_3 = \frac{Y_i - \bar{Y}}{\sigma_Y}. \quad (3.2)$$

Тоді рівняння множинної регресії набуде вигляду [1]:

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

де β_1 і β_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:

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

Стандартизовані коефіцієнти знаходяться методом найменших квадратів [2]:

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

Або

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

де m – кількість дослідних точок.

Точка мінімуму знаходиться із системи рівнянь [4]:

$$\begin{cases} \frac{\partial f}{\partial \beta_1} = 0; \\ \frac{\partial f}{\partial \beta_2} = 0. \end{cases} \quad (3.7)$$

Отримуємо систему нормальних рівнянь, розв'язання яких дає значення параметрів рівняння множинної регресії [4]:

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

Тоді параметри β_1 та β_2 рівняння множинної регресії визначаються за формулами Крамера [5]:

$$\beta_1 = \frac{\Delta_{\beta_1}}{\Delta}, \quad \beta_2 = \frac{\Delta_{\beta_2}}{\Delta}. \quad (3.9)$$

Далі необхідно перевірити значущість кожного зі знайдених параметрів β_1 та β_2 . З цією метою може використовуватися t -статистика Стьюдента, дослідне значення якої обчислюється за формулою [4]:

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

де m_{β_i} – середньоквадратична помилка коефіцієнта β_i [4].

$$m_{\beta_i} = \frac{\sigma_y \sqrt{1 - R_{yx_1x_2}^2}}{\sigma_{x_i} \sqrt{1 - R_{x_i x_1 x_2}^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{m - n - 1}}. \quad (3.11)$$

де σ_y – Середнє квадратичне відхилення для значень змінної y ; σ_{x_i} – середнє квадратичне відхилення для значень x_i ; $R_{yx_1x_2}^2$ – коефіцієнт множинної детермінації для рівняння регресії в цілому; $R_{x_i x_1 x_2}^2$ – коефіцієнт множинної детермінації, що характеризує залежність між фактором x_i та іншими факторами рівняння регресії.

Дослідне значення критерію $t_{\beta_i}^{on}$ необхідно порівняти з його критичним значенням – точкою розподілу Стюдента $t_{кр}(\alpha, k)$ при заданому рівні значущості α та числі ступенів свободи $k = m - n - 1$. Значення рівня значущості було прийнято $\alpha = 0,05$ [13].

Гіпотеза про значущість коефіцієнта β_i не відкидається якщо $t_{\beta_i}^{on} > t_{кр}$, а відповідний фактор x_i залишається у рівнянні.

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

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

Коефіцієнти регресії в натуральному масштабі знаходяться на основі β -коефіцієнтів [1, 2]:

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

Далі необхідно перевірити адекватність знайденого рівняння регресії дослідним даним. Для перевірки значущості рівняння регресії можна використовувати F -статистику Фішера. Дослідне значення обчислюється за формулою [22]:

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

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

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

Перевірка рівняння регресії на адекватність проводиться у разі середньої помилки апроксимації $\bar{\varepsilon}$.

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

Рівняння регресії вважається адекватним, якщо середня помилка апроксимації не перевищує 12...15% [8].

3.3. Обладнання для проведення експериментальних досліджень

Обладнання, що необхідне для експерименту, можна розділити на три основні групи: обладнання для визначення маси вантажу; обладнання для визначення витрат палива; обладнання для визначення частоти обертання двигуна.

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

Пристрій складається з компактного персонального комп'ютера (КПК), терміналу, датчика тиску, датчика температури та дроту. Термінал розроблений 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 (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Термінал

Сумарна похибка терміналу не перевищує 0,3%.

Для вимірювання тиску робочої рідини у гідросистемі спеціального автомобіля із заднім завантаженням використовувався датчик тиску DMP 330L (рис. 3.2). Датчик призначений для використання в системах автоматичного контролю, регулювання та управління технологічними процесами у різних галузях промисловості [10]. Похибка датчика тиску становила трохи більше 0,9% [3].

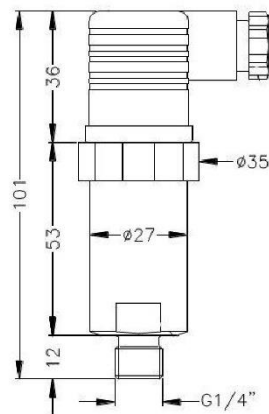


Рисунок 3.2 – Датчик тиску DMP 330L

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



Рисунок 3.3 – Місце встановлення датчиків тиску

Для вимірювання температури робочої рідини 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°C до $+125^{\circ}\text{C}$ та точністю $0,5^{\circ}\text{C}$. DS18B20 може живитися напругою лінії даних (parasite power), за відсутності зовнішнього джерела напруги, при цьому максимальна вимірювана температура складе $+100^{\circ}\text{C}$, що цілком достатньо. Прилад є температурним датчиком, з цифровим перетворювачем температури та оперативною пам'яттю [86]. Похибка датчика температури DS18B20 становила 0,4% [43].

При підйомі контейнера з відходами у пам'яті КПК створюється файл, у якому зберігаються дата і час підйому, координати місця підйому (GPS-модуль), показання датчиків зафіксовані з допомогою АЦП. Зібрана у файл інформація про масу відходів зберігається в пам'ять КПК і відправляється через Інтернет (GSM/GPRS-модуль) на віддалений сервер. Для кожного нового місця збирання створюється новий файл для запису даних. Одночасно можливе графічне відображення зміни тиску в гідроциліндрі на екрані КПК.

Після закінчення завантаження відходів на борт автомобіля запис у файл припиняється, і він зберігається у пам'яті терміналу і, за потреби, передається через інтернет на віддалений сервер.

Частота обертання двигуна базового шасі фіксувалася за даними електронного штатного тахометра 251.3813 з діапазоном показань 0...4000 об/хв. Похибка тахометра в середньому укладається в обмеження точності вимірювань частоти обертання колінчастого валу двигунів автомобілів в технічних цілях.

Для визначення витрати палива застосовувався ваговий метод, розглянутий у розділі 1. Для проведення експериментальних досліджень було розроблено схему підключення вимірювального обладнання для дизельного двигуна (рис. 3.4).

Для перемикання напрямку подачі та зливу палива в напірну та зливну магістралі паливної системи були встановлені трипозиційні крани, які дозволяли здійснити роботу двигуна із вимірювальної ємності.

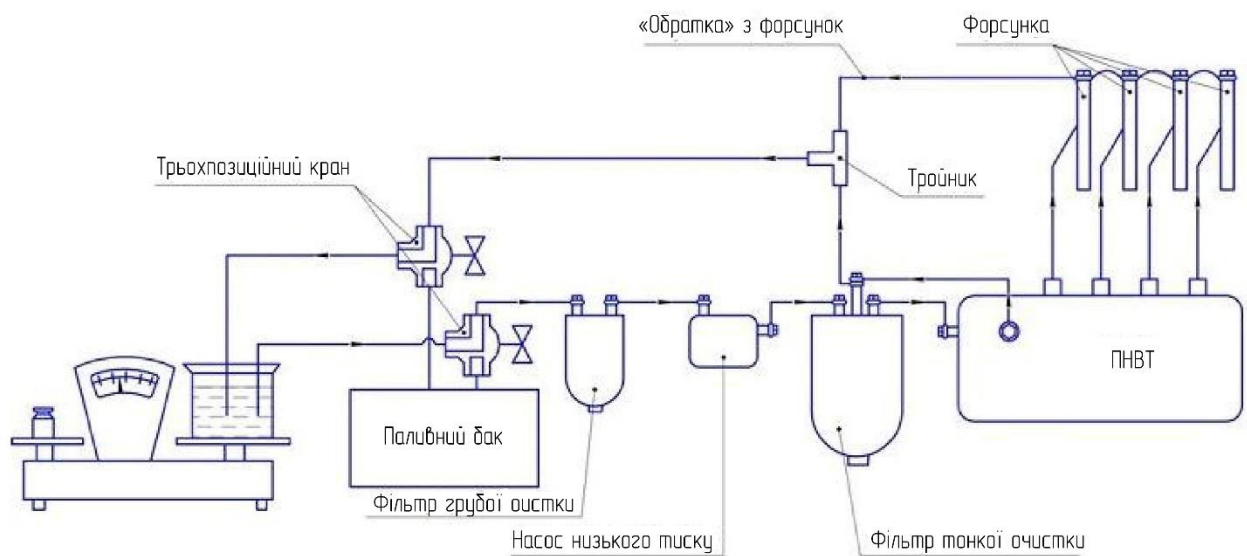


Рисунок 3.4 – Схема підключення вимірювального обладнання

Маса витраченого палива фіксувалася на терезах фірми «МІДЛ», найбільшою межею зважування 60 кг та похибкою 0,2%.

Під час проведення вимірювань ваги працювали від вбудованого акумулятора.

Регулювання ваги за рівнем здійснювалося за допомогою спеціальних ніжок, що регулюються по висоті.

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

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

3.4. Результати експериментальних досліджень впливу досліджуваних факторів на витрату палива у технологічному режимі

Експериментальні дослідження склалися з визначення годинної витрати палива під час роботи в технологічному режимі експлуатації.

Експериментальні дослідження проводилися на об'єкті дослідження – спеціальному автомобілі для збирання та транспортування ТКО БМ-53229-1. Отримана оцінка впливу кожного з факторів (маси вантажу, оборотів двигуна базового шасі) на величину годинної витрати палива при підйомі контейнерів з відходами різної маси. Експеримент проводився за класичним планом, тобто одна змінна була постійною, а інша – змінною. Змінна величина змінювалася у всьому інтервалі значень. Результатом дослідження стала залежність годинної витрати палива від маси вантажу, що піднімається, при трьох рівнях оборотів двигуна. Для залежності годинної витрати палива від маси вантажу, що піднімається, було отримано чотири рівні, від оборотів двигуна базового шасі – три рівні. Експеримент проводився для найбільш значущої операції у технологічному режимі роботи: підйом/опускання бака з відходами.

На спеціальний автомобіль в напірну та зворотні паливні магістралі були встановлені трипозиційні крани для забезпечення роботи двигуна з вимірювальної ємності (рис. 3.5, а поз.1). Маса витраченого палива фіксувалася для кожного режиму завантаження контейнера на терезах фірми «МИДЛ» (рис. 3.5, а поз.2). Для навантаження контейнера використовувалися еталонні вантажі – мішки з сипучим матеріалом (рис. 3.5, 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 при кожній операції, частота обертання двигуна, час операції та 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 3.5 – Експериментальні дослідження на спеціальному автомобілі БМ-53229-1

У результаті проведення експерименту здійснювалося по три повторення кожного рівня чинників. Одне повторення включало п'ятикратний підйом контейнера з відходами, в ході якого фіксувався час підйомів та 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.

Маса вантажу фіксувалася за допомогою раніше розробленої бортової системи зважування, що ґрунтується на визначенні маси тиску робочої рідини в гідросистемі. Дані, отримані з бортової системи зважування, представлені рис. 3.6.

Одночасно було проведено тарування бортової системи зважування для об'єкта дослідження – спеціального автомобіля БМ-53229-1. Тарувальний графік представлений на рис. 3.7.

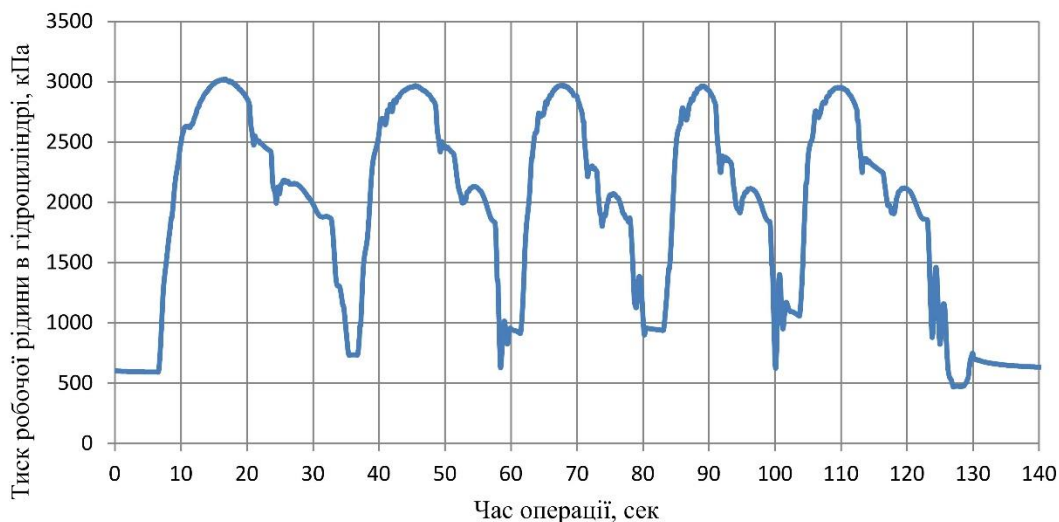


Рисунок 3.6 – Зміна тиску в гідросистемі під час завантаження контейнера з відходами

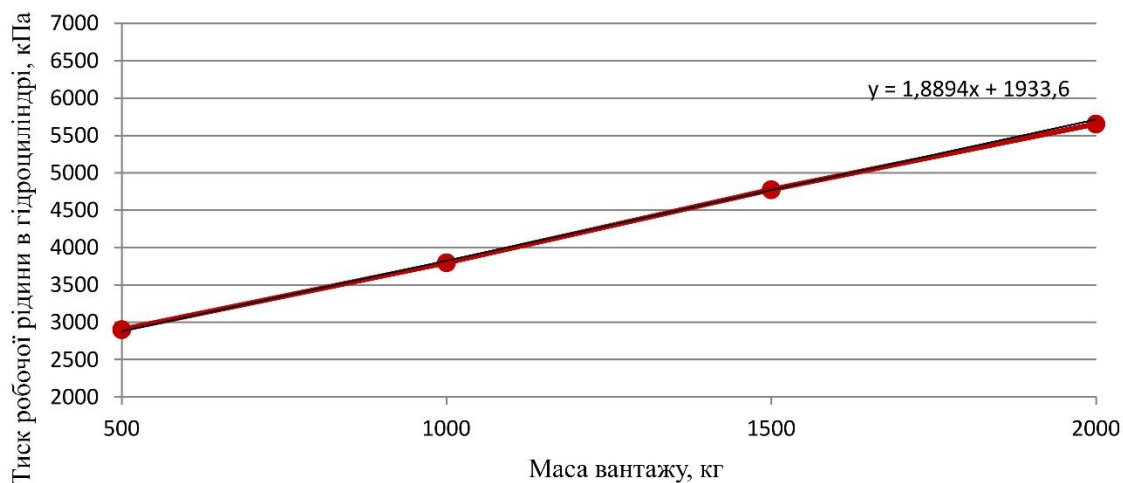


Рисунок 3.7 – Залежність тиску робочої рідини від маси вантажу, що піднімається.

Дані, що отримані під час експерименту, представлені на рис. 3.8. На основі отриманих даних було підтверджено початкову гіпотезу про лінійну залежність вихідної величини від кожного з параметрів.

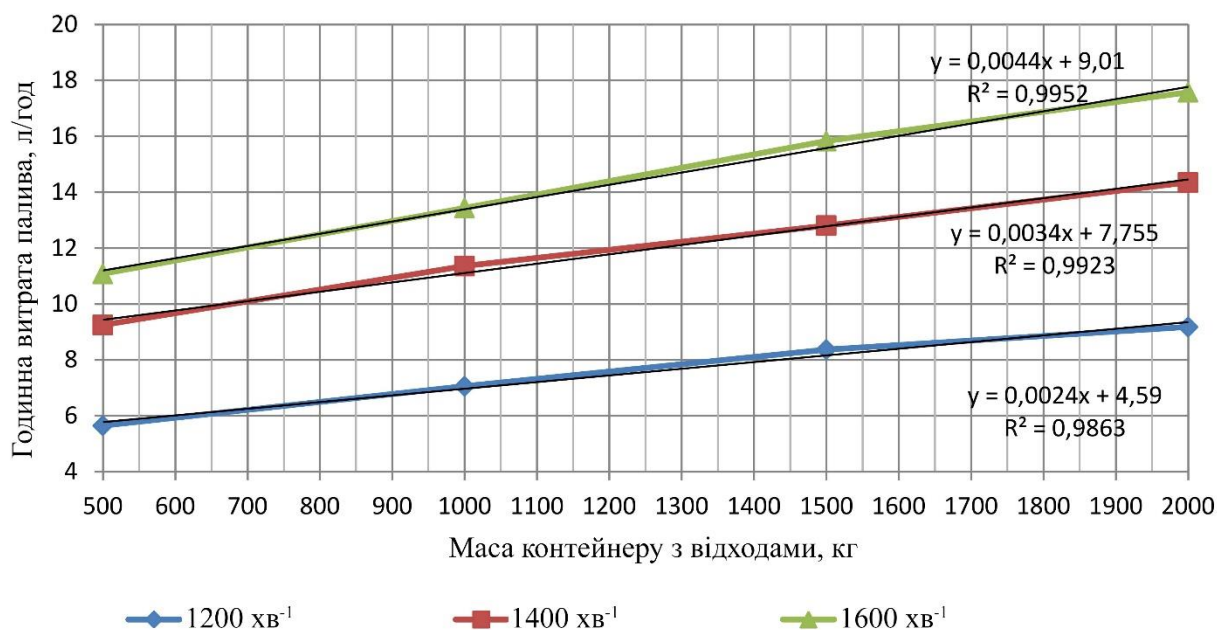


Рисунок 3.8 – Зміна годинної витрати палива на об’єкті дослідження.

Для побудови множинного рівняння регресії отримані значення оброблялися за методикою, що наведена вище в цьому розділі, при цьому визначалася значимість кожного з двох факторів, значущість рівняння регресії в цілому і адекватність отриманого рівняння експериментальним даним.

Таким чином, стандартизоване рівняння регресії набуде вигляду:

$$y = 0,424x_1 + 0,580x_2. \quad (3.16)$$

Для визначення значущості кожного фактору рівняння були розраховані коефіцієнти кореляції змінних і побудована матриця коефіцієнтів парної кореляції.

Розраховані значення критерію Стюдента по модулю виявилися більшими за критичні точки розподілу Стюдента при заданому рівні значимості $\alpha = 0,05$. Це означає, що обидва фактори є значущими.

Найбільш значущим фактором, що впливає на годинну витрату палива, є обороти двигуна базового шасі. Маса вантажу, що піднімається, надає менший вплив на вихідну величину.

Для визначення годинної витрати палива в технологічному режимі експлуатації спеціального автомобіля для збору та транспортування

відходів залежно від маси вантажу, що піднімається, і оборотів колінчастого двигуна базового шасі було отримано рівняння регресії в натуральному масштабі:

$$G_{теор} = -17,09 + 0,0033m_o + 0,017n, \quad (3.17)$$

де $G_{теор}$ – годинна витрата палива теоретична; m_o – маса контейнера з вантажем; n – частота обертання двигуна базового шасі.

При перевірці адекватності отриманого рівняння регресії було здійснено порівняльний розрахунок експериментальної та теоретичної годинної витрати палива, визначено помилку апроксимації на кожному рівні факторів.

Оскільки дослідне значення F_{on} перевищує критичне $F_{кр}$, то рівняння регресії статистично значуще. Таким чином, перевірка значимості моделі за F -критерієм Фішера показала, що рівняння статистично значуще з ймовірністю більше 0,95. Середня помилка апроксимації склала 5,03%, отже отримане рівняння адекватно описує існуючий процес.

Технічною документацією не регламентуються обороти двигуна базового шасі, у яких необхідно проводити технологічні операції. Нерідко водій-оператор встановлює підвищені обороти двигуна для збільшення швидкості виконання операції, що також призводить до збільшення кількості витраченого палива.

Аналіз експериментальних даних про час роботи спеціального обладнання (рис. 3.9) показав, що зниження оборотів 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.

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

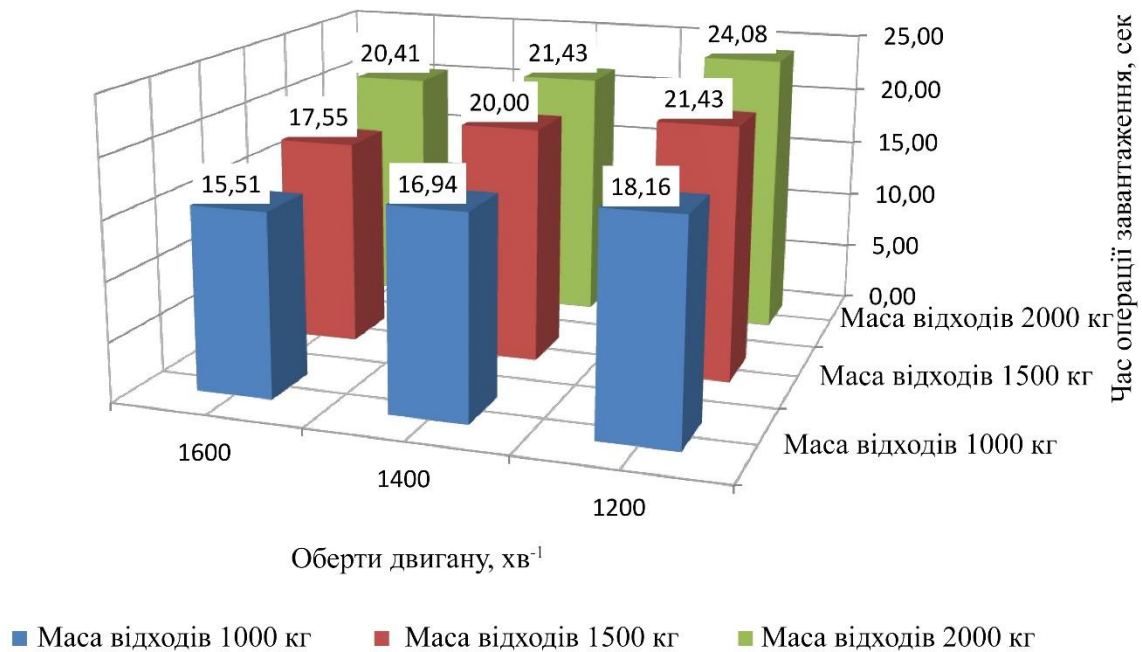


Рисунок 3.9 – Час здійснення операції підйому/опускання контейнера з відходами у технологічному режимі експлуатації

За отриманими результатами можна зробити такі висновки: первісна гіпотеза про лінійну залежність вихідної величини від кожного з параметрів підтвердилася; обидва чинники є значущими, тобто. їх необхідно враховувати щодо теоретичного годинного витрати палива; для підвищення паливної економічності, роботу в технологічному режимі доцільно виконувати на мінімально можливих оборотах двигуна, що забезпечують нормальне функціонування гідросистеми.

Моделювання процесів, що відбуваються при роботі вантажного обладнання спеціального автомобіля для збирання та транспортування відходів, проводилося за допомогою комп'ютерної програми, розробленої на основі математичної моделі, описаної в розділі 2.

Комп'ютерна програма під час розрахунку дозволяє керувати процесом роботи гідроциліндра – відкривати/закривати золотники гідророзподільника, а також навантаженням та обертами двигуна.

Результатом аналітичного дослідження процесів, що відбуваються під час підйому вантажу, стала залежність годинної витрати палива від маси вантажу та обортів двигуна. На рис. 3.10 наведено аналітичну залежність

годинної витрати палива від маси відходів, що завантажуються при роботі автомобіля на рекомендованих обертах двигуна (1200 об/хв). На рис. 3.11 наведено аналітичну залежність годинної витрати палива від обертів двигуна базового шасі автомобіля при максимальному заповненні контейнера з відходами (2000 кг).

За отриманими даними можна дійти висновку, що графік залежності годинної витрати палива від обертів двигуна має більший кут нахилу, і, отже, даний чинник істотно впливає на розрахункову величину.

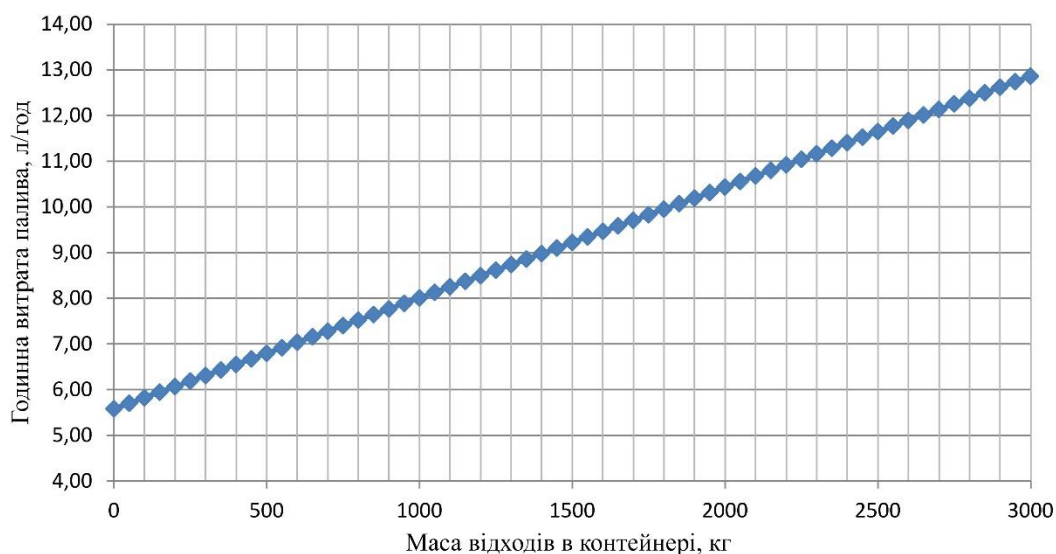


Рис. 3.10. Зміна годинної витрати палива від маси вантажу (оберти двигуна – 1200 об/хв)

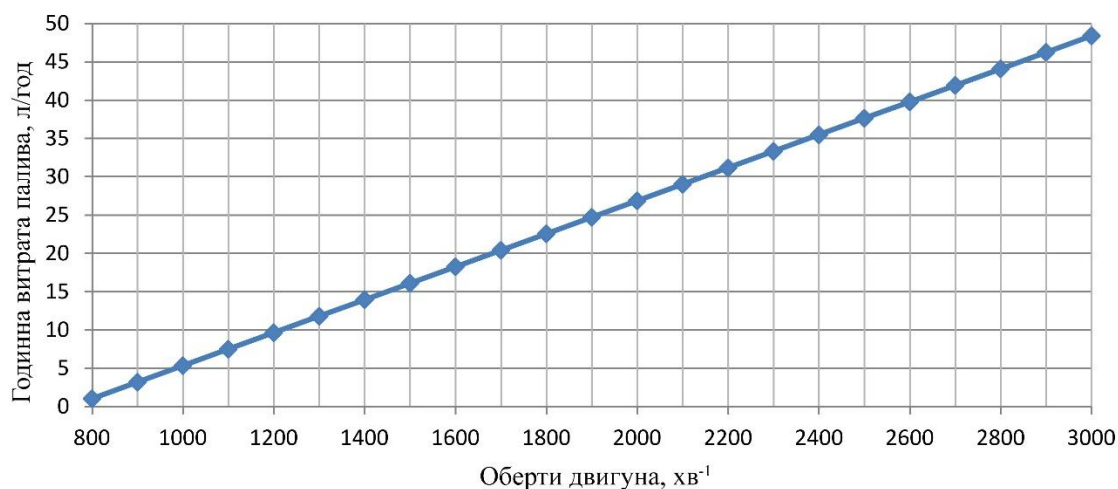


Рис. 3.11. Зміна годинної витрати палива від обертів двигуна (маса контейнера з відходами – 2000 кг).

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

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

На рис. 3.12 представлено порівняння розрахункових та експериментальних даних.

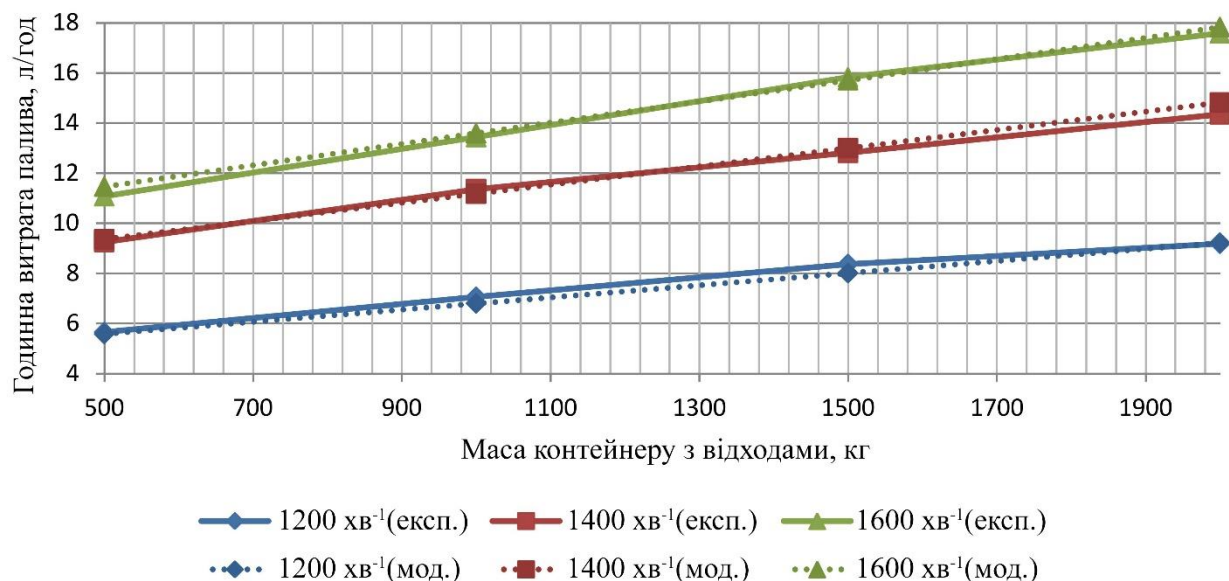


Рисунок 3.12 – Порівняння розрахункових та експериментальних даних

Методику оцінки адекватності моделі реальному об'єкту описано раніше. Порівняння розрахункових та експериментальних даних проводилося за допомогою критерію Фішера (F -критерій), тобто порівнювалися відношення більшої дисперсії до меншої та табличне значення F -критерію, при заданому рівні значущості $\alpha = 0,05$.

Розрахункове значення критерію Фішера виявилось менше табличного значення, тобто умова виконується. Таким чином, розроблена математична модель значимо визначає результати експериментальних досліджень, тобто адекватна реальним процесам. Математична модель може бути використана для аналітичних досліджень та визначення витрати палива в залежності від маси відходів, що завантажуються.

На розробленій математичній моделі було проведено аналітичні дослідження. Була спрогнозована годинна витрата палива спеціальних автомобілів з дизельними двигунами КамАЗ-740 та ЯМЗ-238 при завантаженні відходами та роботі на рекомендованих обертах двигуна (1200 об/хв). Дані, що отримані під час аналітичного дослідження, наведені на рис. 3.13.

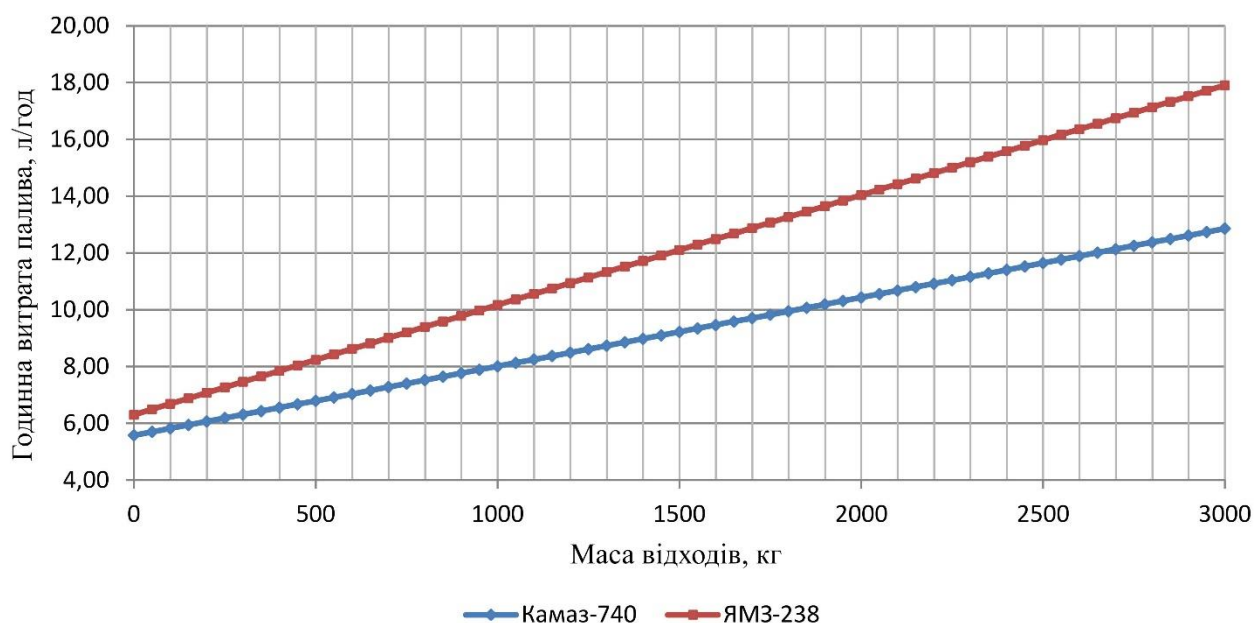


Рисунок 3.13 – Зміна годинної витрати палива від маси вантажу (оберти двигуна – 1200 об/хв).

За результатами аналітичного дослідження можна спрогнозувати норму витрати пального за добу для спеціальних автомобілів на базі шасі з дизельними двигунами КамАЗ-740 та ЯМЗ-238.

3.5 Рекомендації щодо коригування норми витрати палива в технологічному режимі експлуатації спеціальних автомобілів для збирання та транспортування відходів

Для практичного застосування результатів досліджень було розроблено «Методику диференційованого коригування норм витрати палива» з урахуванням завантаження автомобілем різної маси вантажу.

Запропонована методика відрізняється тим, що дозволяє визначати норму витрати палива в технологічному режимі експлуатації залежно від маси відходів, що завантажуються, і оборотів двигуна базового шасі:

$$Q = (0,01H_s S + Q_{техн}(m_o, n_{об}))(1 + D) + 0,25, \quad (3.18)$$

де Q – норма витрати палива; H_s – лінійна норма витрати палива; S – пробіг машини; D – сумарна відносна надбавка до лінійних витрат палива; $Q_{техн}(m_o, n_{об})$ – витрата палива при роботі спецобладнання, що розрахована за розробленою математичною моделлю.

З метою оперативного коригування норм витрати палива на підприємстві необхідно отримувати та обробляти дані про кількість та масу завантажених контейнерів з відходами.

На рис. 3.14 наведено алгоритм визначення норми витрати палива за зміну на основі розробленої математичної моделі.

За допомогою автоматичної бортової системи зважування здійснюється збір, обробка та передача даних про дату, час і місце завантаження відходів, кількість і масу контейнерів, що завантажуються з відходами, а також час здійснення операції завантаження і роботи в технологічному режимі.

Для простоти застосування розробленої методики на будь-якому автотранспортному підприємстві запропоновано її програмну реалізацію. Приклад робочого вікна програми представлено на рис. 3.15.

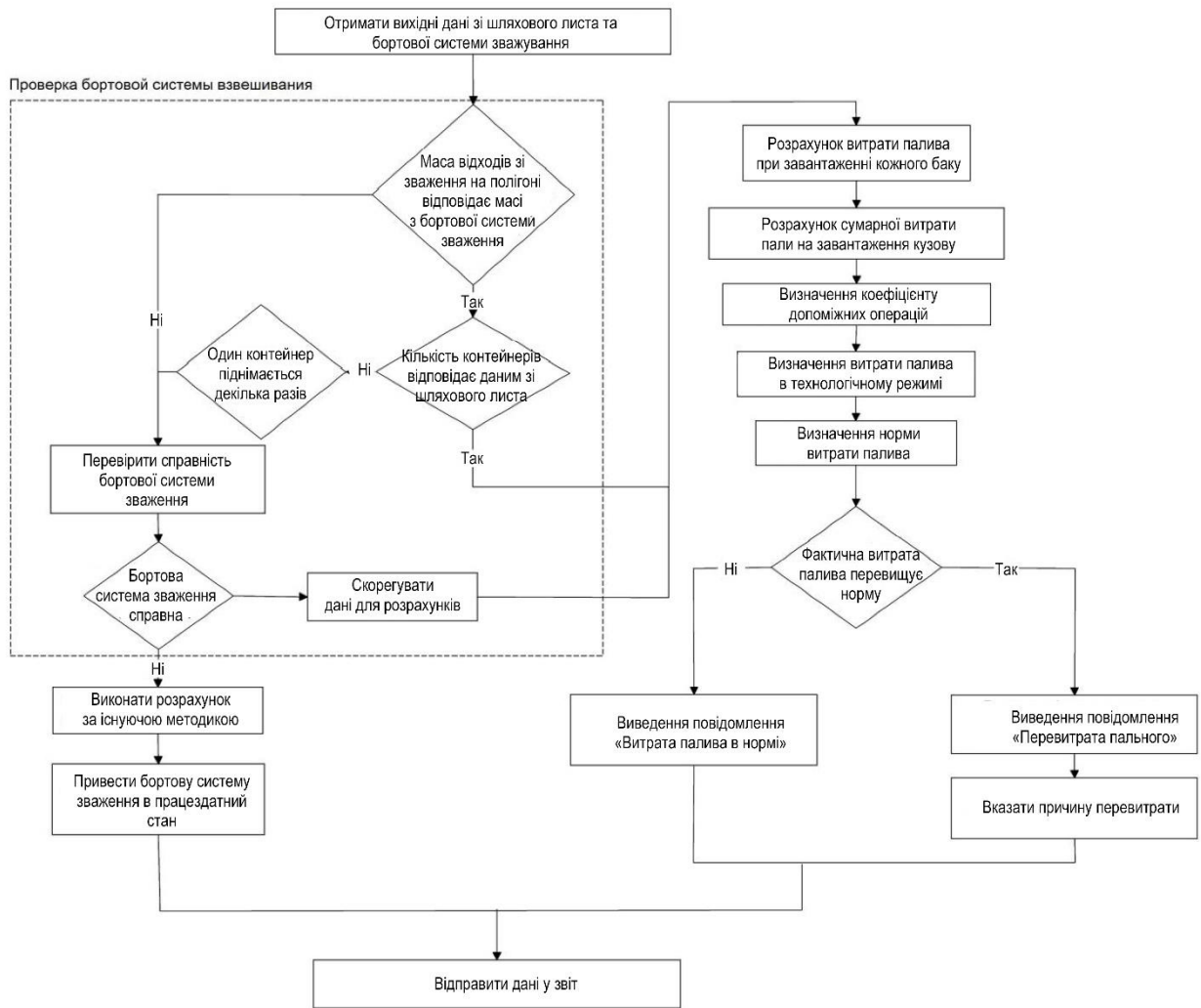


Рисунок 3.14 – Алгоритм визначення норми витрати палива спеціального автомобіля для збирання та транспортування відходів

РОЗРАХУНОК НОРМИ ВИТРАТИ ПАЛИВА

РОЗРАХУНОК НОРМИ СФОРМУВАТИ ЗВІТ

Дата: 16.01.2022 Водій: Алексеев Петр Семенович Область: 59

АВТОМОБІЛЬ

Д/н: [] Марка: БМ-534332 Двигун: ЯМЗ-236 Кількість баків: 12

Витрата палива: 88 Пробіг: 178 Маса баків: 4960

НАДБАВКА

Д1 - надбавка при роботі спецмашин в межах

Д2 - надбавка на роботу спецмашин в зимовий

Д3 - надбавка для автомобілів, що знаходяться

Д4 - надбавка при роботі в місцях з великою кі

Д5 - надбавка до загальної витрати на виконан

Норма витрати в технічному режимі: 7,4

Коефіцієнт оптимізації: 0,92

Норма витрати за зміну: 91,8

Причина перевитрати: []

ІМПОРТ ДАНИХ РОЗРАХУВАТИ НОРМУ ЗБЕРЕГТИ В ЗВІТ

Рисунок 3.15 – Розроблене програмне забезпечення для реалізації запропонованої методики

ВИСНОВКИ

1. На основі розроблених експериментально-розрахункових залежностей вирішено завдання підвищення ефективності перевезення твердих відходів переробних виробництв шляхом оперативного коригування норм витрати палива у технологічному режимі експлуатації спеціальних автомобілів для збирання та транспортування відходів.

2. Аналіз факторів, що впливають на зміну витрати палива спеціальних автомобілів для збору і транспортування відходів в технологічному режимі експлуатації, показав, що маса відходів, що завантажуються, і обороти двигуна базового шасі мають найбільший вплив на витрату палива. Встановлено, що найважливішим чинником є обороти двигуна базового шасі.

3. Розроблено математичну модель зміни навантаження на колінчастому валу двигуна спеціального автомобіля для збирання та транспортування відходів у технологічному режимі експлуатації, в якій вперше враховані фактори: маса вантажу та оберти двигуна базового шасі.

Доведено адекватність розробленої математичної моделі реальному об'єкту. Модель дозволяє теоретично визначити витрату палива у технологічному режимі експлуатації спеціальних автомобілів.

4. Встановлено експериментальні закономірності зміни витрати палива в технологічному режимі експлуатації автомобіля від маси завантажуваних відходів та обертів двигуна. Робота на рекомендованих обертах двигуна дозволить знизити кількість фактично витраченого палива під час здійснення операції підйому та опускання контейнерів з відходами до 1,5 л за рейс.

5. З урахуванням отриманих закономірностей, розроблено методику диференційованого коригування норм витрати палива спеціальних автомобілів для збирання та транспортування відходів у технологічному режимі експлуатації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ларин А.Н. Колесные узлы современных автомобилей / А.Н. Ларин, Е.Е. Черток, А. Н. Юрченко – Х. : «С.А.М.». – 2004. – 260 с.
2. Pacejka H. B. The magic formula tyre model / H. B. Pacejka, E. Bakker // Prog. IstCollog. Models for Vehicle Dynamics Analysis. Delft. – Amsterdam, 1993: Swits and Zeitlinger, P. 1–18.
3. Говорущенко Н. Я. Техническая эксплуатация автомобилей / Н.Я. Говорущенко – Х.: Вища школа, 1984 – 120 с.
4. Норми витрат палива для автомобілів, норми ресурсу шин та акумуляторів / Уклад. В. Кузнецов. – Х. : Фактор, 2009. – 528 с.
5. Barr R, Haas ZJ, van Renesse R (2005) Jist: an efficient approach to simulation using virtual machines. *Softw Pract Exp* 35(6):539–576
6. Fiore M et al (2006) Mobility models in inter-vehicle communications literature. Politecnico di Torino, p 147
7. Fiore M, Harri J, Filali F, Bonnet C (2007) Vehicular mobility simulation for vanets. In: Proceedings of the 47th annual simulation symposium. IEEE, Washington, DC, pp 301–309
8. Kravchenko A. Tire Life Adjustment on the Coefficients of Operational and Road Conditions / A. Kravchenko, O. Sakno // TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. – Lublin, Poland : Polish academy of sciences, 2011. – Vol. XI A. – P. 121–128.
9. Paternoster, N. et al., Software development in startup companies: a systematic mapping study. *Information and Software Technology*, 56(10), pp. 1200-1218, 2014. DOI: 10.1016/j.infsof.2014.04.014
10. Sousa-Junior, W.T.De, et al., Multi-criteria decision at a mining company to highway truck selection aid methodology applied to highway truck selection at a mining company. *REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto*, 67(3), pp. 285-290, 2014. DOI: 10.1590/S0370-44672014000300007

11. Hsu Wj, Merchant K, Shu Hw, Hsu Ch, Helmy A (2005) Weighted waypoint mobility model and its impact on ad hoc networks. SIGMOBILE Mob Comput Commun Rev 9(1):59–63

12. Кравченко О.П. Наукові основи управління ефективністю експлуатації автомобільних поїздів // Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук.- Харків: 2007. – 38 с.

13. Карпенко О.А. Життєвий цикл як попереджуючий фактор негативних наслідків циклічності // Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту та експлуатації автомобілів: Зб. наук. пр. /Редкол.: М. Ф. Дмитриченко (голов. ред.) – К.: НТУ; ТАУ, 2003.– Вип. 16. – 324с. – С.274 – 279.

14. Скальський, В.Р. Деякі аспекти експлуатування силових елементів шасі вантажних автомобілів / В.Р. Скальський, О.С. Дубицький // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за напрямом “Інженерна механіка”). – Випуск 30. – 2011. – С. 146–157.

15. Bodziony, P., Kasztelewicz, Z. and Sawicki, P., The problem of multiple criteria selection of the surface mining haul trucks. Archives of Mining Sciences, 61(2), pp. 223-243, 2016. DOI: 10.1515/amsc-2016-0017

16. Guarnieri, P., Síntese dos principais critérios, métodos e subproblemas da seleção de fornecedores multicritério. Revista de Administração Contemporânea, 19(1), pp. 1-25, 2015. DOI: 10.1590/1982-7849rac20151109

17. Torres-Carrión, P.V., González-González, C.S., Aciar, S. and RodríguezMorales, G., Methodology for systematic literature review applied to engineering and education, in: 2018 IEEE Global Engineering Education Conference

18. Piyrkowski M, Raya M, Lugo AL, Papadimitratos P, Grossglauser M, Hubaux JP (2008) Trans: realistic joint traffic and network simulator for vanets. SIGMOBILE Mob Comput Commun Rev 12(1):31–33

19. Rondinone M, Maneros J, Krajzewicz D, Bauza R, Cataldi P, Hrizi F, Gozalvez J, Kumar V, Rцckl M, Lin L, Lazaro O, Leguay J, Haerri J, Vaz S,

Lopez Y, Sepulcre M, Wetterwald M, Blokpoel R, Cartolano F (2013) itetris: a modular simulation platform for the large scale evaluation of cooperative its applications. *Simul Model Pract Theory* 34(Supplement C): 99–125