

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВЕТЕРИНАРНОЇ МЕДИЦИНИ ІМ. С. ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АВТОМОБІЛІВ І ТРАКТОРІВ**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему: **“ Обґрунтування методики оцінки показників використання
автомобілів-самоскидів ”**

Виконав: студент групи Ат-61
Спеціальності 274 "Автомобільний транспорт"
(шифр і назва)

Іван ГИМОН
(ім'я та прізвище)

Керівник: Ростислав ПАСЛАВСЬКИЙ
(ім'я та прізвище)

Дубляни 2025

УДК 631.3.004.

Гимон І. І. Обґрунтування методики оцінки показників використання автомобілів-самоскидів: кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський НУВМГ, 2025. 85 с.

14 рис., 12 табл., 25 літ. джерел.

У магістерській роботі за допомогою апарату кореляційного аналізу встановлені статистичні зв'язки експериментальних даних та побудовані: графік залежності зміни продуктивності автомобіля під час перевезення сипучих вантажів відповідно до початкових даних роботи транспортного засобу на лінії залежно від зміни коефіцієнта використання вантажомісткості; графік залежності собівартості 1 км перевезеного вантажу від зміни коефіцієнта використання вантажомісткості; графік залежності змін затрат на відновлення дорожнього покриття від зміни коефіцієнта використання вантажомісткості.

Сформована матриця ефективних рішень з різними варіантами значення коефіцієнта використання вантажомісткості в залежності від середовища експлуатації в системі «автомобіль-середовище». Ця матриця необхідна для оцінки показників роботи великовантажних автомобілів, що диференціюється, під час перевезення навалювальних вантажів.

З М І С Т

ВСТУП	6
1. ОПТИМІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ПОКАЗНИКІВ ВИКОРИСТАННЯ ВЕЛИКОВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ	7
1.1. Аналіз нормативної бази для збереження дорожнього покриття від дії автомобілів підвищеної вантажопідйомності	7
1.2. Коефіцієнт використання вантажопідйомності автомобіля в системі «автомобіль-дорога»	13
1.3. Аналіз моделі розрахунку навантажень на вісь великовантажних автомобілів при перевезенні насипних вантажів	18
Висновки до розділу	21
2. МЕТОДИКИ БАГАТОКРИТЕРІЙНОЇ ОЦІНКИ ПОКАЗНИКІВ ВИКОРИСТАННЯ ВЕЛИКОВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ	22
2.1. Оцінка окремих критеріїв використання великовантажних автомобілів в системі «автомобіль-дорога»	23
2.2. Стратегія визначення оптимального стану досліджуваної системи «автомобіль-дорога»	38
2.3. Постановка завдання оптимізації в системі перевезень навалювальних вантажів великовантажними автомобілями в системі «автомобіль-дорога» ...	42
Висновки до розділу	47
3. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	48
3.1. Початкові дані для проведення експерименту	48
3.2. Визначення статистичного значення коефіцієнта використання вантажопідйомності	50
Висновки до розділу	61
4. АПРОБАЦІЯ МЕТОДИКИ БАГАТОКРИТЕРІЙНОЇ ОЦІНКИ ПОКАЗНИКІВ ВИКОРИСТОВУВАННЯ ВЕЛИКОВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ	62
4.1. Алгоритм рішення задачі з оптимізації стратегії експлуатації великовантажних автомобілів	62

4.2. Застосуванню методики багатокритеріальної оцінки коефіцієнта використання вантажопідйомності автомобілів	67
Висновки до розділу	71
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАСЕЛЕННЯ У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	73
5.1. Основні завдання охорони праці	73
5.2. Структура служби охорони праці у ПАТ "Галичина Авто"	73
5.3. Аналіз умов праці та травматизму	75
5.4. Захист населення у надзвичайних ситуаціях	78
Висновки до розділу	81
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	82
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	84

ВСТУП

Проблема ефективної експлуатації великовантажних автомобілів з урахуванням допустимих навантажень на дорожнє покриття при перевезеннях вантажів першого класу не втратила своєї актуальності. На даний час на дорогах загального користування нерідко застосовують автомобілі з осьовим навантаженням, яке невідповідає по нормативам технічного стану якості дороги, що зумовлює передчасне руйнування покриття автомобільних доріг.

У останні десятиліття в Україні питанням експлуатації великовантажних автомобілів з урахуванням допустимих навантажень на дорожнє покриття приділяється значна увага. Створена система обмежень, що знижують можливість максимального використання технічних характеристик великовантажних автомобілів, закладених в їх конструкцію.

В результаті виникає суперечність: загальноприйнята система розрахунку показників використання великовантажних автомобілів не враховує обмеження, визначувані нормативними вимогами до осьових навантажень, а розрахунок виробничої програми перевезень припускає максимальне використання вантажопідйомності транспортного засобу.

Щоб зняти дану суперечність, необхідно застосувати спеціальну методику, яка з одного боку, оптимізує процеси експлуатації великовантажних транспортних засобів на дорогах загального користування, а, з другого боку, забезпечить зниження витрат на реструктуризацію відновлення дорожнього покриття.

Затребувана практикою задача оптимізації процесів експлуатації великовантажних автопоїздів відповідно до вимог обмеження навантажень на вісь автомобілів є проблемою, що вимагає вирішення з урахуванням сучасних реалій. У кваліфікаційній роботі розглянуто методики, які дозволяють системно з урахуванням багатокритеріального середовища експлуатації застосовувати показники використання автопоїздів великої тоннажності під час перевезеннях вантажів першого класу.

1. ОПТИМІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ПОКАЗНИКІВ ВИКОРИСТАННЯ ВЕЛИКОВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ

1.1. Аналіз нормативної бази для збереження дорожнього покриття від дії автомобілів підвищеної вантажопідйомності

В Україні застосовуються Європейські стандарти та нормативні документи, що здійснюють міждержавні перевезення по автомобільних дорогах держав - учасників європейського союзу. Ці документи визначають особливі умови перевезення вантажів важкоатлетів, і не дозволяють безконтрольний рух автомобілів з підвищеним осьовим навантаженням. Функції контролю за дотриманням правил користування автомобільними дорогами загального користування і функції для здійснення вагового контролю за автомобілями покладено на Укртрансбезпеку.

Не дивлячись на наявність великої кількості нормативно-правових документів до 2015 року дорожнім службам було юридично складно здійснювати контроль за рухом автомобілів великої вантажопідйомності повною мірою, тобто об'єктивно здійснювати штрафні санкції. Для вирішення цієї задачі в 2015 році Кабінет міністрів України підтримав постанову про лібералізацію перевезень великогабаритних і великовагових вантажів, якою запроваджуються європейські стандарти щодо габаритно-вагових обмежень. Про це повідомили у Міністерстві інфраструктури України.

Зокрема з 23 червня 2021 року Мін інфраструктури запустило програму автоматизації нарахування штрафів за перевантаження. 3 серпня президент Володимир Зеленський підписав закон про штрафи за порушення вагового контролю. З 1 жовтня набули чинності закони, що впроваджують автоматичну фіксацію порушень габаритно-вагових норм у русі Weigh-in-Motion (WiM).

Визначався єдиний порядок здійснення процедур для видачі спеціального дозволу на рух по автомобільних дорогах транспортних засобів з великою масою або великогабаритним вантажем. Відповідно до цього документа обмежуватимуться допустимі

маси автомобіля (таблиця 1.1), а також допустимі навантаження на вісь (таблиця 1.2) і граничні допустимі габарити великогабаритних автомобілів (таблиця 1.3) [1].

Таблиця 1.1 – Допустимі маси автомобіля

Тип транспортного засобу або комбінації транспортних засобів, кількість і розташування осей	Допустима маса транспортного засобу, т
Одиночні автомобілі	
двовісні	18
тривісні	25
чотиривісні	32
п'ятивісні	35
Автопоїзда сидельні і причіпні	
тривісні	28
чотиривісні	36
п'ятивісні	40
шестивісні і більш	44

Таблиця 1.2 – Допустимі осьові навантаження транспортного засобу

Розташування осей транспортного засобу	Розташування між зближуючими осями, м	Допустимі осьові навантаження колісних транспортних засобів залежно від нормативного (розрахункової) осьового навантаження (т) і числа коліс на осі		
		Для автодоріг, розрахованих на осьове навантаження 6 тон/ось (*)	Для автодоріг, розрахованих на осьове навантаження 10 тон/ось (*)	Для автодоріг, розрахованих на осьове навантаження 11,5 тон/ось (*)
1	2	3	4	5
одиночні	Від 2,5 м і більш	5,5 (6)	9 (10)	10,5 (11,5)
Здвоєні осі причепів, напівпричепів, вантажних автомобілів, ав-	До 1 м (включно)	8 (9)	10 (11)	11,5 (12,5)
	Від 1 м до 1,3 м (включно)	9 (10)	13 (14)	14 (16)

Продовження таблиці 1.2

1	2	3	4	5
томобілів тягачів, сідельних тягачів при відстані між осями (навантаження на візок, сума осьових мас)	Від 1,3 м до 1,8 м (включно)	10 (11)	15 (16)	17 (18)
	Від 1,8 м до 2,5 м (включно)	11 (12)	17 (18)	18 (20)
Строєні осі причепів, напівпричепів, вантажних автомобілів, автомобілів тягачів, сідельних тягачів при відстані між осями (навантаження на візок, сума осьових мас)	До 1 м (включно)	11 (12)	15 (16,5)	17 (18)
	Від 1 м до 1,3 м (включно)	12 (13)	18 (19,5)	20 (21)
	Від 1,3 м до 1,8 м (включно)	13,5 (15)	21 (22,5<*>)	23,5 (24)
	Від 1,8 м до 2,5 м (включно)	15 (16)	22 (23)	25 (26)

(*) У випадку встановлення власником автомобільної дороги відповідних дорожніх знаків і розміщення на його офіційному сайті інформації про допустиме для автомобільної дороги осьове навантаження транспортного засобу.

(**) Для транспортних засобів з одинарними колесами, обладнаними пневматичною або еквівалентною їй підвіскою.

Примітки.

1. У дужках приведені значення для здвоєних коліс, без дужок – для одинарних.
2. Осі з одинарними і спареними колесами, об'єднані в групу зближуючих осей, слід розглядати як зближені осі з одинарними колесами.
3. Допускається нерівномірний розподіл навантаження по осях для двовісних і тривісних візків, якщо сумарне навантаження на візок не перевищує допустиме, і навантаження на найбільш навантажену вісь не перевищує допустиме осьове навантаження відповідної (одноколісної або двоколісної) одиночної осі.

Таблиця 1.3 – Гранично допустимі габарити автомобіля

Габарити автомобіля	Значення, мм
Довжина одиночного автомобіля	12000
Довжина причепа	12000
Довжина автопоїзда	20000
Ширина автомобіля	2550
Ширина ізотермічні кузови автомобіля	2600
Висота автомобіля	4000

Допустиме осьове навантаження з одного боку це технічний параметр транспортного засобу, який застосовується в процесі проектування автомобілів. З іншої сторони, це дозволене нормативно-технічними документами фізичне навантаження, яке передається на дорожнє покриття через колеса однієї осі автомобіля.

Відповідно до нормативно-технічних документів представлено значення допустимих осьових навантажень двовісних автомобілів в наступних межах (таблиця 1.4).

Таблиця 1.4 – Допустиме осьове навантаження для двовісних автомобілів

Відстань між осями (м)	Допустиме навантаження на кожну вісь, т	
	Автомобілі групи А - максимальне осьове навантаження 6...10 т	Автомобілі групи Б - максимальне осьове навантаження до 6 т
Понад 2,00	10,0	6,0
1,65 – 2,00	9,0	5,7
1,35 – 1,65	8,0	5,5
1,00 – 1,35	7,0	5,0
До 1,00	6,0	4,5

Технічні норми і транспортно-експлуатаційні показники автомобільних доріг загального користування та характеристики їх елементів і визначаються рядом нормативних документів. Зокрема максимальні габарити та вага транс-

портних засобів для перевезень у межах ЄС встановлюються директивою (ЄС) 2015/719 від 29 квітня 2015 року [14]. Поправки до директиви 96/53/ЄС 1996 року допускають відхилення від максимальної довжини за умов поліпшення аеродинамічних характеристик вантажних автомобілів. За рахунок додаткового простору в кабіні водія зростає їх безпечність. Також дозволяється відхилення від допустимої ваги для транспортних засобів, які працюють на альтернативних видах палива. Що стосується транскордонного руху транспортних засобів, то габарити, встановлені в первинній директиві, залишилися незмінними.

Таким чином, для транспортних засобів з поліпшеними аеродинамічними характеристиками навантаження на одиночну вісь не може перевищувати 10 т, на здвоєну вісь – 18 т (при цьому відстань між осями має бути не менше 1,3 м і не більше 1,8 м), на сторону – 24 т (відстань між осями не менше 1,3 м і не більше 1,4 м). Загальна вага двовісного транспортного засобу з трьохвісним напівпричепом, який перевозить в рамках інтермодальних транспортних операцій один або кілька контейнерів або знімних кузовів, загальною довжиною до 45 футів (13,716 м), не може перевищувати 42 т ; вага аналогічного трьох вісного транспортного засобу з дво- чи трьох вісним напівпричепом не може перевищувати 44 т. Для двовісних транспортних засобів, окрім автобусів, які працюють на альтернативному паливі, дозволена вага збільшується на 1 т, за рахунок додаткової ваги, необхідної для альтернативної паливної технології, однак не може перевищувати 19,5 т. Це відноситься і до трьох вісних транспортних засобів, у яких провідна вісь оснащена здвоєними шинами і пневматичною підвіскою, або тих, у яких кожна вісь оснащена здвоєними шинами та максимальна вага кожної осі не перевищує 9,5 т. Розмір штрафів за перевищення допустимих норм регулюється національним законодавством країн ЄС та варіюється від кількох сотень до кількох тисяч євро у різних країнах. У Польщі розмір штрафу за перевищення ваги залежить від категорії транспортного засобу та наявності відповідного дозволу. Зокрема, якщо навантаження на вісь перевищує допустиму для доріг норму у 11,5 т (категорія VII) на менш ніж 10%, стягується штраф у 500 злотих (близько 114 євро). Якщо тиск перевищує допустимі значення на

10-20%, стягується штраф у 2000 злотих. У інших випадках штраф становитиме 15000 злотих (близько 3413 євро). Фіксований штраф за перевищення максимально допустимого навантаження на одну вісь у Великобританії становить 100 фунтів, якщо перевищення менше 10%, 200 фунтів – якщо менше 15% та 300 фунтів – якщо більше 15%. Якщо ж перевищення становить 5 т, або 30%, водій отримує повістку до суду. Окрім фіксованого штрафу, незалежно від обсягу порушення, інспектор також забороняє рух транспортного засобу. В Ірландії штраф за перевищення допустимої маси транспортного засобу на 1-2 т складає 500 євро, на 2-3 т – 1000 євро, 3-4 т – 1500 євро, 4-5 т – 3000 євро, за перевищення у понад 5 т штраф становить 5000 євро. У Франції штрафи за перевищення допустимої ваги у межах 20% становлять 90 євро (зменшений), 135 євро (стандартний) та 375 євро (збільшений). За перевищення у 20 % або більше передбачений штраф у розмірі до 1500 євро. У разі повторного перевищення норм протягом одного року сума штрафу збільшується до 3000 євро [22].

1.2. Коефіцієнт використання вантажопідйомності автомобіля в системі «автомобіль-дорога»

Взаємодію автомобіля з дорогою відображає в основному коефіцієнт використання вантажопідйомності, який вказує наскільки повно (повна маса автомобіля і маса вантажу) використовуються закладені технічні характеристики в конструкції транспортного засобу і реалізуються в навантаженнях на вісь автомобіля. Цей коефіцієнт відображає взаємозв'язок об'ємних та вагових характеристик вантажу і автомобіля, а відповідно, впливає на величину осьових навантажень в транспортному засобі.

Характер вантажу визначається його фізичними характеристиками, наприклад густиною ρ_r . Для однорідного вантажу густина визначається за формулою:

$$\rho_r = \frac{m}{V}, \quad (1.1)$$

де: m – маса вантажу, кг;

V – об'єм вантажу, м^3 .

Також застосовується поняття відносної густини вантажу. Цей параметр визначається за відношенням до прийнятого стандарту: нормальний атмосферний тиск і сухе повітря за температури 20°C :

$$\alpha = \frac{\rho_r}{\rho_r^0}, \quad (1.2)$$

де: ρ_r – густина вантажу, $\text{кг}/\text{м}^3$;

ρ_r^0 – густина вантажу відповідно до стандарту, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Під час організації перевезень навалювальних та насипних вантажів об'ємну масою вантажу визначають з виразу:

$$\varepsilon = \frac{m}{V}, \quad (1.3)$$

де V – об'єм, який займає вантаж, м^3 .

Питомий об'єм вантажу – це величина зворотна до об'ємної маси вантажу для однорідної речовини, за 1 кг маси і об'ємі в 1 м^3 :

$$v = \frac{V}{m}. \quad (1.4)$$

Питома об'ємна вантажопідйомність автомобіля визначається виходячи із співвідношення геометричних характеристик кузова та його номінальної вантажопідйомності за формулою:

$$q_{\text{уд}} = \frac{q}{a \cdot b (h \pm h^*)}, \quad (1.5)$$

де b , h , a – відповідно довжина, висота і ширина місткості кузова автомобіля, м;

q – вантажопідйомність автомобіля, т;

h^* – відстань від верхнього краю борту до допустимого рівня завантаження вантажу в кузов автомобіля, м.

Коефіцієнт статичного використання вантажопідйомності застосовується для визначення продуктивності транспортного засобу в процесі його експлуатації та визначається з виразу:

$$\gamma_c = \frac{q_\phi}{q}, \quad (1.6)$$

де q_ϕ – маса однорідного вантажу, яка фактично перевозиться, т.

На рис. 1.1 показана функція зміни q_ϕ від q номінальної вантажопідйомності автомобіля.

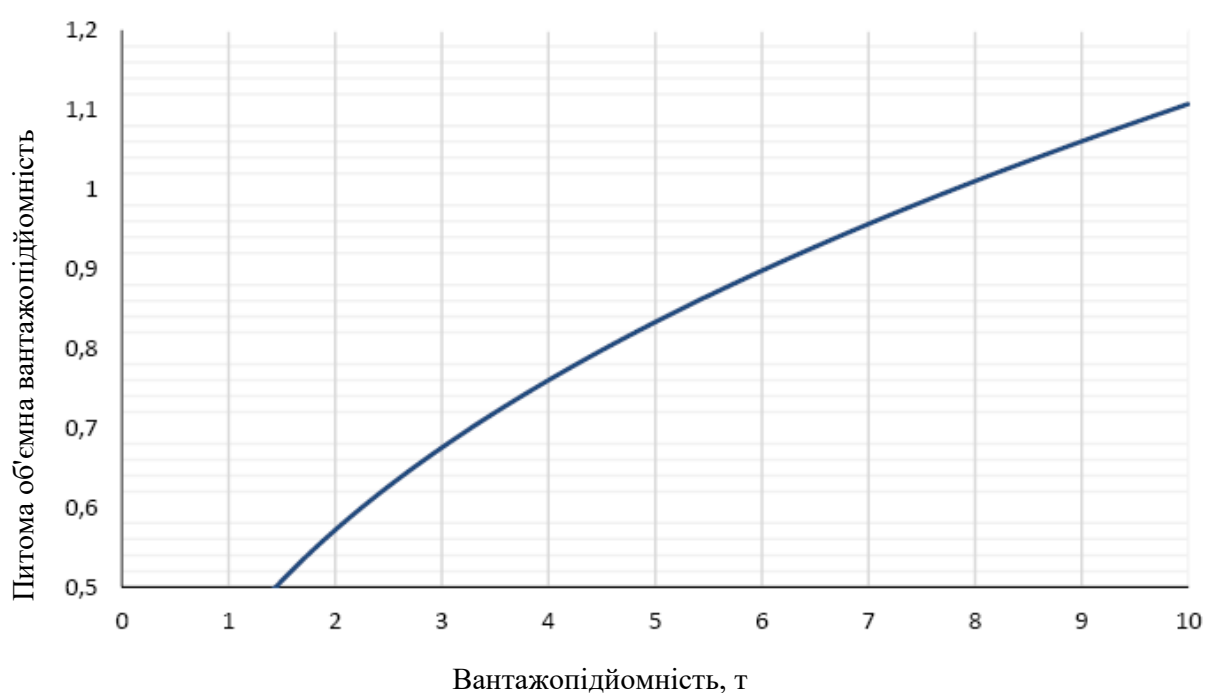


Рисунок 1.1 – Функція зміни питомої об'ємної вантажопідйомності від номінальної вантажопідйомності транспортного засобу

Ступінь використання вантажопідйомності автомобіля також визначається коефіцієнтом використання об'єму (η_v), визначуваного геометричними розмірами кузова та об'ємної маси однорідного вантажу з виразу:

$$\eta_v = \frac{q}{V_a \cdot \varepsilon}, \quad (1.7)$$

Як правило в процесі експлуатації вантажних автомобілів використовують можливість завантаження вантажу в кузов вище за рівень бортів, тоді значення коефіцієнта статичного використання вантажопідйомності може бути ≥ 1 ,

[4]. Наприклад, для автомобіля-самоскида необхідно враховувати завантаження сипких вантажів з «надлишком» (рис. 1.2).

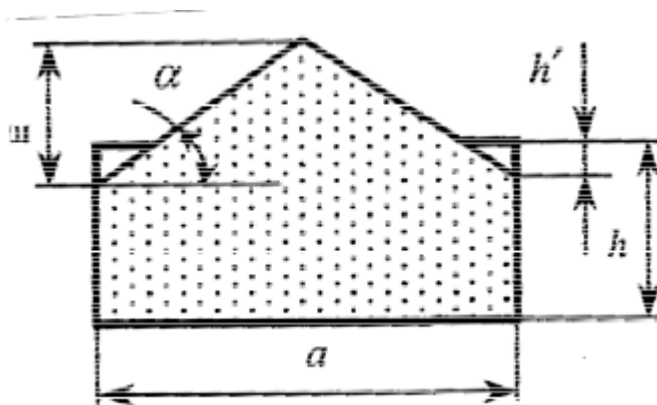


Рисунок 1.2 - Розподіл вантажу в кузові автомобіля-самоскида

Тоді фактичний об'єм вантажу визначається за формулою:

$$V_r = \frac{q}{\rho_r} = V_p + V_{\text{ш}}, \quad (1.8)$$

де V_p – робочий об'єм місткості кузова, м^3 ;

$V_{\text{ш}}$ – об'єм «шапки» вантажу, м^3 .

Якщо виконати геометричні розрахунки об'ємів однорідного вантажу з урахуванням надлишку, то отримаємо рівняння:

$$V_{\text{ш}} = \frac{1}{3} S \cdot h_{\text{ш}} = \frac{1}{3} S \cdot \frac{a}{2} \tan \alpha, \quad (1.9)$$

$$V_p = \frac{q}{\rho_r} - V_{\text{ш}}; \quad V_p = S(h - h') \quad (1.10)$$

де S – площа платформи кузова, м^2 ;

h – висота борту кузова, м;

α – кут природного ухилу вантажу, град;

h' – відстань від верхнього краю борту до рівня завантаження в кузові, м.

Враховуючи, що h' приймається в межах 0,05...0,15 м, тоді робочий об'єм кузова розраховується за формулою:

$$V_p = S(h - 0,1), \quad (1.11)$$

тоді

$$S \cdot h - 0,1S = \frac{q}{\rho_r} - \frac{1}{3}S \cdot \frac{a}{2} \tan \alpha \quad (1.12)$$

або

$$S \cdot h = \frac{q}{\rho_r} - S \left(\frac{a \tan \alpha}{6} - 0,1 \right). \quad (1.13)$$

З табл. 1.5 і 1.6 видно, що фактичний об'єм вантажу, який перевозиться, більше геометричного об'єму місткості кузова на 18...23 % [6].

Таблиця 1.5 – Кути природного ухилу насипних і навалювальних вантажів

Найменування вантажу	Під час руху автомобіля	В стані спокою
Булижник	-	38
Гравій	30	45
Пісок	30	45
Цемент	-	40
Шлак	35	50
Щебінь	35	45
Грунт глинистий:		
– сухий	-	40–45
– вологий	-	35
– мокрий	-	15–20
Земля:		
– суха		40
– волога		35
– мокра		25

Таблиця 1.6 – Коефіцієнт статичного використання вантажопідйомності в порівнянні з вантажопідйомністю автомобіля для навалювальних вантажів

Найменування вантажу	Об'ємна маса, т/м ³	Коефіцієнт використання вантажопідйомності при номінальній вантажопідйомності q, т			
		4	6	8	Понад 12
Гравій, щебінь	1,70	2,77	2,19	1,79	1,70
Земля суха	1,30	2,25	1,67	1,51	1,30
Земля волога	1,60	3,14	2,60	2,14	1,60

Відповідно до представленої інформації встановлено, що коефіцієнту використання вантажопідйомності, який характеризує ступінь використання ван-

тажопідйомності автомобіля, залежно від об'ємної маси вантажу, можуть відповідати різні значення коефіцієнтів вантажомісткості транспортних засобів. В процесі перевезенні таких видів вантажу як земля, гравій і щебінь, його значення за умови повного використання об'єму кузова може бути більше одиниці [6, 14].

Розраховуючи виробничі програми з експлуатації автомобілів розрізняють коефіцієнт статичного використання вантажопідйомності та коефіцієнт динамічного використання вантажопідйомності. За день (зміну) коефіцієнт статичного використання вантажопідйомності визначається з виразу:

$$\gamma_c = \frac{Q}{q \cdot n_e} = \frac{\sum q_{\phi}}{q \cdot n_e}, \quad (1.14)$$

де Q – добовий об'єм перевезення, т/день;

n_e – кількість переїздів автомобіля з вантажем.

Коефіцієнт динамічного використання вантажопідйомності характеризує не тільки кількість фактичного вантажу, перевезеного АТС, але і довжини навантаженої їзди. Цей коефіцієнт за одну їзду визначається з виразу:

$$\gamma_d = \frac{q_{\phi} l_{ег}}{q l_{ег}} = \frac{q_{\phi}}{q}, \quad (1.15)$$

де $l_{ег}$ – довжина перевезення вантажу, км.

За один день роботи або за одну зміну цей коефіцієнт γ_d розраховуємо за формулою:

$$\gamma_d = \frac{P}{P_{возм}} = \frac{\sum q_{\phi} l_{ег}}{q \sum l_{ег}}, \quad (1.16)$$

де P – кількість транспортної роботи, виконаної за одну зміну (день), т/км;

$P_{возм}$ – транспортна роботи (максимально можлива) за одну поїзду або один день, т/км.

Вказані коефіцієнти можуть бути однаковими за величиною тільки за наступних умов:

1. Під час рейсів перевозиться однакова кількість вантажу ($q = \text{const}$).

$$\gamma_d = \frac{q_\phi \Sigma l_{er}}{q \Sigma l_{er}} = \frac{q_\phi}{q} = \gamma_c. \quad (1.17)$$

2. Довжина перевезення вантажу однакова ($l_{er} = \text{const}$).

$$\gamma_d = \frac{l_{er} \Sigma q_\phi}{l_{er} \Sigma q} = \gamma_c. \quad (1.16)$$

1.3. Аналіз моделі розрахунку навантажень на вісь великовантажних автомобілів при перевезенні насипних вантажів

Визначимо статичне навантаження 2-осного сідельного тягача масою 9 т (на задній осі встановлені здвоєні колеса) з 3-осним і 4-осним напівприцепом масою 9 т. Початкові дані вказані в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Початкові дані для визначення осьових навантажень

Показник	Значення показника
Споряджена маса автопоїзда, т	18
Тип коліс тягача	
– передні осі	одинарні
– задні осі	спарені
Тип коліс напівпричепа	спарені
Відстань між осями напівпричепа, м	
триохосний напівпричіп	1,31
чотириохосний напівпричіп	1,35
Умови експлуатації	дорога загальнодержавного значення
Тип вантажу	земля суха
Вантажомісткість напівпричепа	30 м ³
Коефіцієнт використання вантажопідйомності	1,0
Маса вантажу, т	45

Визначимо розподіл навантажень на вісь автопоїзда (рис 1.3 і 1.4).

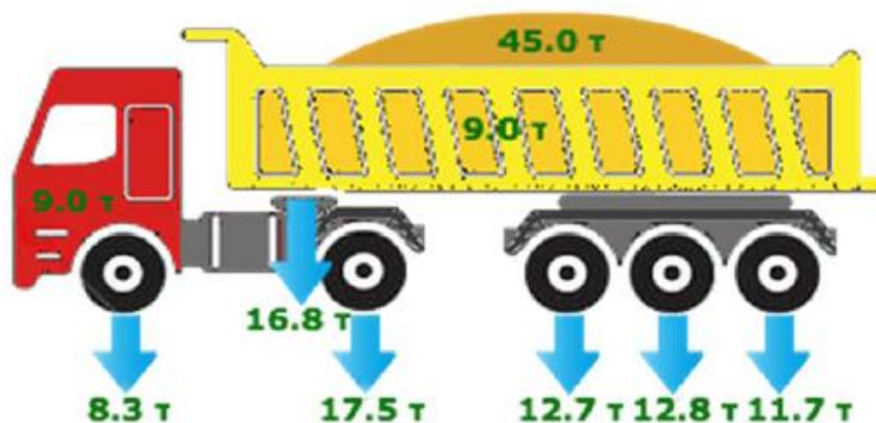


Рисунок 1.3. - Розподіл навантажень на осі п'ятиосного автопоїзда



Рисунок 1.4. – Розподіл навантажень на вісь семиосного автопоїзда

В табл. 1.8 та 1.9 зведено нормативні та фактичні значень навантажень на осі автопоїзда.

Відповідно до виконаних розрахунків у науково-технічній літературі показано, що за умови завантаження двохосного сідельного тягач масою 9 т (на задній осі встановлені спарені колеса) або трьохосного самоскида з чотирьохосним напівпричепом масою 9 т навалювальним вантажем першого класу (суха земля) з урахуванням закладених характеристик, то це приведе до перевищення допустимих осьових навантажень відповідно до умов існуючих нормативних обмежень в системі «автомобіль-дорога» [7, 8, 16].

Таблиця 1.8 – Нормативні і фактичні значення навантажень на осі п'яти-
сного автопоїзда

Вид показника	Передня вісь тягача	Задня вісь тягача	Напівпричіп		
			одноосний	двохосний	трьохосний
Навантаження на вісь (нормативне значення)	10,5 т	11,5 т	8,0 т	8,0 т	8,0 т
Навантаження на вісь (фактичне значення)	8,3 т	17,5 т	12,7 т	12,8 т	11,7 т
Перевантаження по осях	-	6,0 т (52%)	4,7 т (59%)	4,8 т (60%)	3,7 т (46%)

Таблиця 1.9 – Нормативні і фактичні значення навантажень на осі семио-
сного автопоїзда

Вид показника	Передня вісь тягача	1-а задня вісь тягача	2-а задня вісь тягача	Напівпричіп			
				1-а вісь	2-а вісь	3-а вісь	4-а вісь
Навантаженн я на вісь (нормативне значення)	10,5 т	9,0 т	9,0	9,0 т	8,0 т	8,0 т	8,0 т
Навантаженн я на вісь (фактичне значення)	8,3 т	9,0 т	8,5	8,5	9,3 т	9,4 т	9,5 т
Перевантаже ння по осям	-	-	-	-	1,3 т (16%)	1,4 т (18%)	1,5 т (19%)

Висновки до розділу

Використання на дорогах великовантажних транспортних засобів з повною масою і осьовими навантаженнями, відповідними номінальним показникам вантажопідйомності або вантажомісткості, але не відповідними нормам проектування і стану доріг, зумовлює їх передчасне руйнування.

З 1 жовтня 2021 р. набули чинності закони, що впроваджують автоматичну фіксацію порушень габаритно-вагових норм у русі Weigh-in-Motion (WiM).

Попередні дослідження встановили, що всі сипкі вантажі перевозяться з «шапкою», при цьому в залежності об'ємної маси коефіцієнту використання вантажопідйомності можуть відповідати різні значень коефіцієнтів вантажомісткості автомобіля, що зумовлює перевищення нормативних вимог до навантаження на вісь транспортного засобу.

Визначено, що в процесі транспортування навалювального вантажу першого класу (земля суха), двохосним сідельним тягачем масою 9 т (на задній осі встановлені спарені колеса), з трьохосним або чотирьохосним напівпричепом масою 9 т, з урахуванням закладених характеристик, то це приведе до перевищення допустимих осьових навантажень за умовою існуючих нормативних обмежень в системі «автомобіль-дорога».

З огляду науково технічної літератури встановлено актуальність виконання багатокритеріальної оцінки параметрів ефективності (коефіцієнт використання вантажопідйомності та вантажомісткості, пошкодження, які наноситься дорожньому покриттю) під час перевезення навалювальних вантажів першого класу великовантажними автомобілями в умовах обмежень, визначених дорожніми умовами.

Потрібно застосувати аналітичні моделі, які відображають залежність показників ефективності: пошкодження дорожньому покриттю, продуктивність роботи транспортного засобу, витрати на перевезення вантажів від зміни показників використання.

2. МЕТОДИКИ БАГАТОКРИТЕРІЙНОЇ ОЦІНКИ ПОКАЗНИКІВ ВИКОРИСТАННЯ ВЕЛИКОВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ

Універсальність методу системного дослідження забезпечує можливість широкого використання його на практиці, багаторівневу структурування процесу рішення даної проблеми. Також забезпечує необхідність конкретизації змісту понять, що використовуються під час обґрунтування ухвалюваних рішень з урахуванням цілей та часу (етапності) дослідження.

Дослідження системи ґрунтується на описі моделі. Моделювання як інструмент дослідження та розробка теорії, особливо важливі з урахуванням вимог по формалізації досліджень. Це пояснюється такими перевагами моделі перед словесним (вербальним) описом як стислість та точність представлення виконаної роботи.

Модель розкриває важливі причинно-наслідкові зв'язки, робить зрозумілою загальну структуру досліджуваного об'єкту. З цієї причини розглядатимемо модель і як інструмент прогнозування, і засіб постановки експериментів, і засіб осмислення дійсності, та засіб спілкування, і засіб навчання.

Особливості досліджуваного об'єкту зумовлюють форму опису моделі систематизованої оцінки показників використання великовантажних автомобілів, як системи оптимізації процесів у вигляді комплексу результативних показників, [5, 6]. Оптимальний стан системи визначається поєднанням результатів за трьома критеріями. Розглядати перераховані критерії у функціональній залежності від значення коефіцієнта використання вантажопідйомності, з урахуванням обмежень зовнішнього середовища по кожному з них під час перевезення вантажів першого класу. Такий науковий підхід дозволить формувати групу оптимальних значень коефіцієнта використання вантажопідйомності в процесі планування показників роботи транспортних засобів, для розрахунку виробничої програми з перевезення і оцінювати ефективність взаємовпливу

елементів в системі «автомобіль-дорога» під час реалізації багатокритеріального підходу

1. Витрати на перевезення навалювальних вантажів першого класу мінімізується: $D_{(k2)} > \min$.

2. Продуктивність великовантажних автомобілів максимізується:
 $D_{(k1)} > \max$.

3. Пошкодження, що наносяться дорожньому покриттю і, відповідно, витрати на відновлення дорожнього покриття мінімізується: $D_{(k3)} > \min$.

2.1. Оцінка окремих критеріїв використання великовантажних автомобілів в системі «автомобіль-дорога»

Продуктивність роботи великовантажних автомобілів в тоннах за одну їзду визначається з рівняння:

$$Q_e = q \cdot \gamma_c, \quad (2.1)$$

В тонно-кілометрах за один рейс великовантажного автомобіля визначається продуктивність з виразу:

$$P_e = Q_e \cdot l_{ez} = q \cdot \gamma_c \cdot l_{ez}. \quad (2.2)$$

Число рейсів великовантажних транспортних засобів за зміну визначається з виразу:

$$n_e = \frac{T_H \cdot \beta \cdot V_T}{l_{er} + t_{n-p} \cdot \beta \cdot V_T}. \quad (2.3)$$

Продуктивність за один робочий день або за зміну в тоннах обчислюється з формули:

$$U_{p-d} = \frac{q \cdot \gamma_c \cdot T_H \cdot \beta \cdot V_T}{l_{er} + t_{n-p} \cdot \beta \cdot V_T}. \quad (2.4)$$

Відповідно продуктивність автомобіля в тонно-кілометрах за один робочий день або за зміну становить:

$$W_{p-д} = \frac{T_n \cdot \beta \cdot V_T \cdot l_{ег} \cdot q \cdot \gamma_d}{l_{ег} + t_{n-p} \cdot \beta \cdot V_m}, \quad (2.5)$$

де T_n – загальна тривалість роботи за один день або зміну, г;

t_n – тривалість навантажувально-розвантажувальних робіт, г;

$l_{ег}$ – віддаль перевезення вантажем, км;

V_T – технічна швидкість, км/г;

β – коефіцієнт використання пробігу.

Підвищення продуктивності рухомого складу може бути досягнуте завдяки оптимізації всіх показників, що входять у формулу (2.5) [7, 8]. Оцінка впливу цих показників на продуктивність великовантажних автомобілів виконується за допомогою представлених на рис. 2.1 функціональних залежностей.

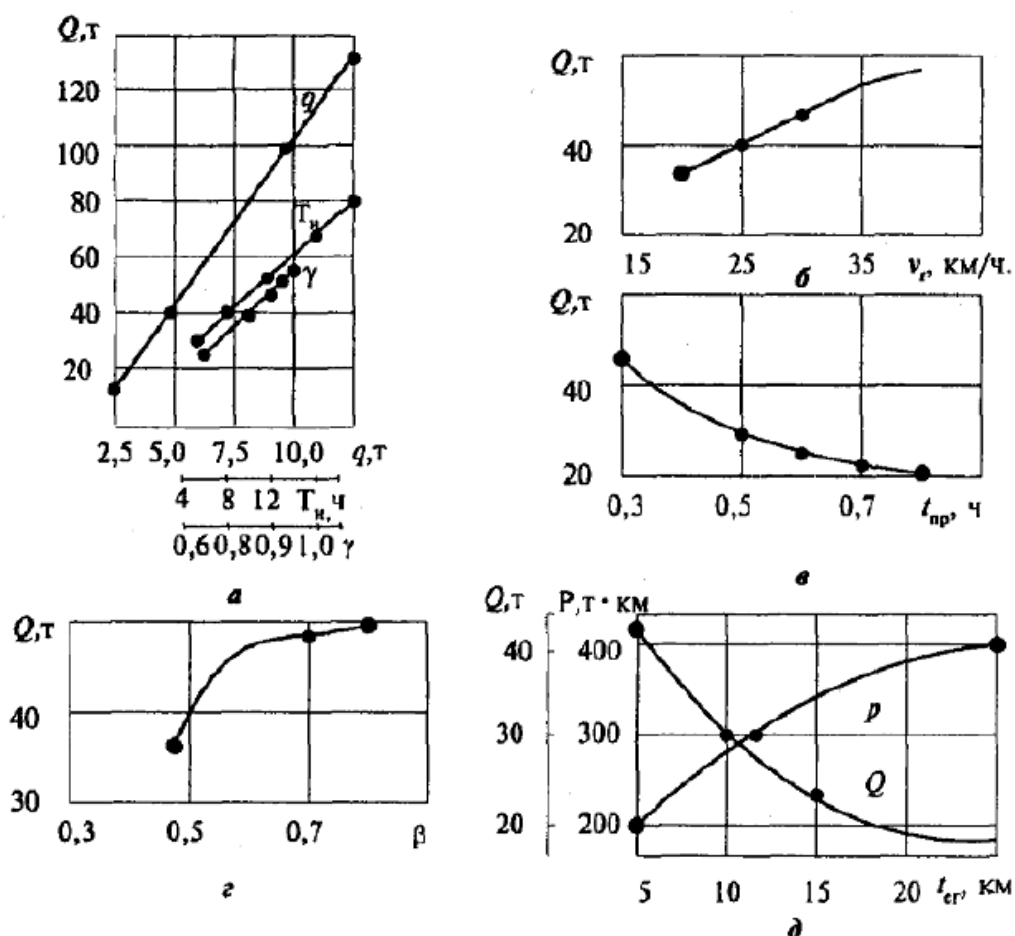


Рисунок 2.1. – Оцінка впливу показників на продуктивність великовантажних автомобілів

На маятникових маршрутах автомобіля вплив коефіцієнта використання вантажопідйомності на продуктивність роботи автомобілів визначається лінійною функцією:

$$D_{k1} = f(\gamma_c) = k_1 \gamma_c + a_1, \quad (2.6)$$

де k_1 – коефіцієнт кута нахилу прямої на графіку функції;

a_1 – значення продуктивності за початкового значення коефіцієнта використання вантажопідйомності.

Залежно від способу фіксації величини роботи автомобіля витрати автотранспортної організації розраховані на одиницю транспортної продукції обчислюються в грн./($t \cdot km$), грн./км, грн./т або грн./год.

Структура собівартості – це склад та співвідношення статей витрат в загальних експлуатаційних витратах (табл. 2.1)

З аналізу багатьох досліджень різних авторів, присвячених визначенню собівартості перевезень на автомобільному транспорті можна стверджувати, що зміна відстані перевезення навантаженого автомобіля робить істотний вплив на собівартість (рис. 2.2) [4, 5, 7]. Природно, що на незначних відстанях перевезення вантажів вона велика, а за умови збільшення відстані перевезення вона знижується. Зростання експлуатаційної швидкості автомобіля і зниження часу навантажувально-розвантажувальних робіт зумовлює збільшення продуктивності транспортного засобу за умови незмінних величин постійних витрат. В цьому випадку знижується питома собівартість перевезень, грн./1 $t \cdot km$.

Численні дослідження вітчизняних та закордонних авторів показали, що залежність собівартості від коефіцієнтів вантажопідйомності та використання вантажопідйомності (рис 2.2) має зворотно пропорційний характер [4, 16].

Функція залежності собівартості перевезень великовантажним автомобілем від вантажопідйомності описується виразом:

$$S_q = \frac{a_1}{q \gamma_c}, \quad (2.7)$$

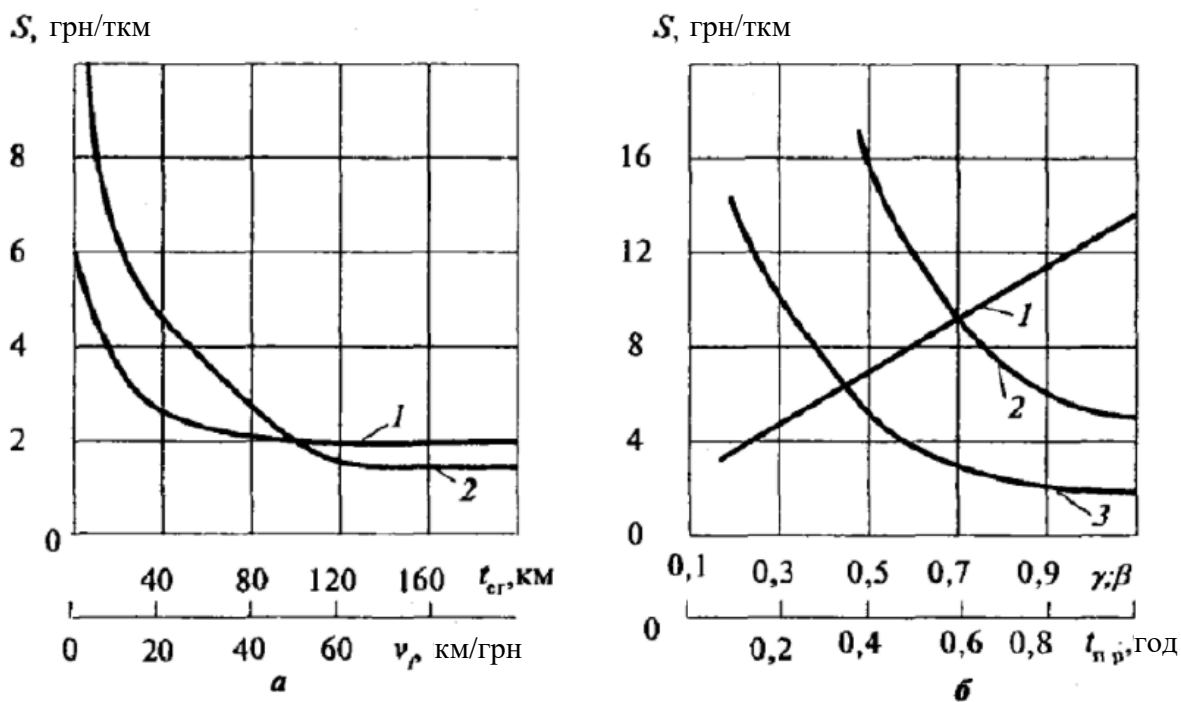
$$a_1 = \frac{S_{\text{пер}}}{\beta} + \frac{S_{\text{пост}}}{V_T \beta} + \frac{S_{\text{пост}} t_{\text{п-р}}}{l_{\text{ер}}}. \quad (2.8)$$

де

Таблиця 2.1 – Структура собівартості перевезень на автомобільному транспорті

№ п/п	Стаття витрат	Повна собівартість, тис. грн.	Калькуляція собівартості		
			1 т·км	1 км	1 год
1	2	3	4	5	6
1	Зарплата водіїв	+	+	-	(Умовно) +
Змінні витрати					
2	Паливо	+	+	+	-
3	Змащувальні та інші експлуатаційні матеріали	+	+	+	-
4	Технічне обслуговування і ремонт рухомого складу	+	+	+	-
5	Відновлення і ремонт шин	+	+	+	-
6	Амортизація рухомого складу (у частині, призначеній на капітальний ремонт)	+	+	+	-
Постійні витрати					
7	Накладні витрати	+	+	-	+
8	Амортизаційні відрахування (у частині, призначеній на повне відновлення)	+	+	-	+
Разом		Σ пов.	Σ т. км	Σ зм.	Σ пост.

Примітка. Позначення "+" показує, що витрати розраховуються по відповідній статті; якщо позначення "-", то витрати не розраховуються.



а – відстань переїдів навантаженого автомобіля (1); технічна швидкість (2); б – тривалість навантажувально-розвантажувальних робіт (1), коефіцієнт використання вантажопідйомності (2) та пробігу (3)

Рисунок 2.2. – Функція зміни собівартості перевезень залежно від різних чинників

Залежність собівартість перевезень від коефіцієнта використання вантажопідйомності має гіперболічний характер, що показано на графіку (рис. 2.3).

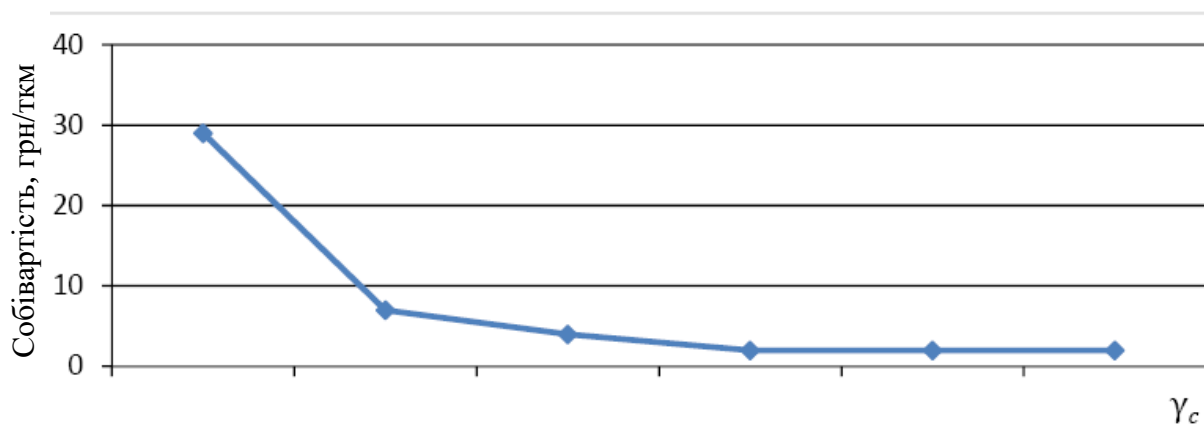


Рисунок 2.3. – Залежність собівартості від коефіцієнта використання вантажопідйомності

Значення показника, що визначає другий критерій, визначиться обернено пропорційною залежністю від коефіцієнта використання пробігу:

$$D_{k2} = f(\gamma_c) = \frac{k_2}{\gamma_c}. \quad (2.9)$$

В процесі здійснення перевезень великовантажними автомобілями важливою особливістю розрахунку собівартості, є необхідність оцінки зміни витрат за наявності затримок руху, пов'язаних з процедурами вагового контролю.

В цьому випадку необхідно виконати додаткову оцінку ефективності використання автомобілів в перевізному процесі з урахуванням швидкості потоку, інтенсивності руху автомобілів і густини потоку [6].

Рівняння стану транспортного потоку або фундаментальна (основна) діаграма визначається швидкістю, інтенсивністю і густиною (рис. 2.4).

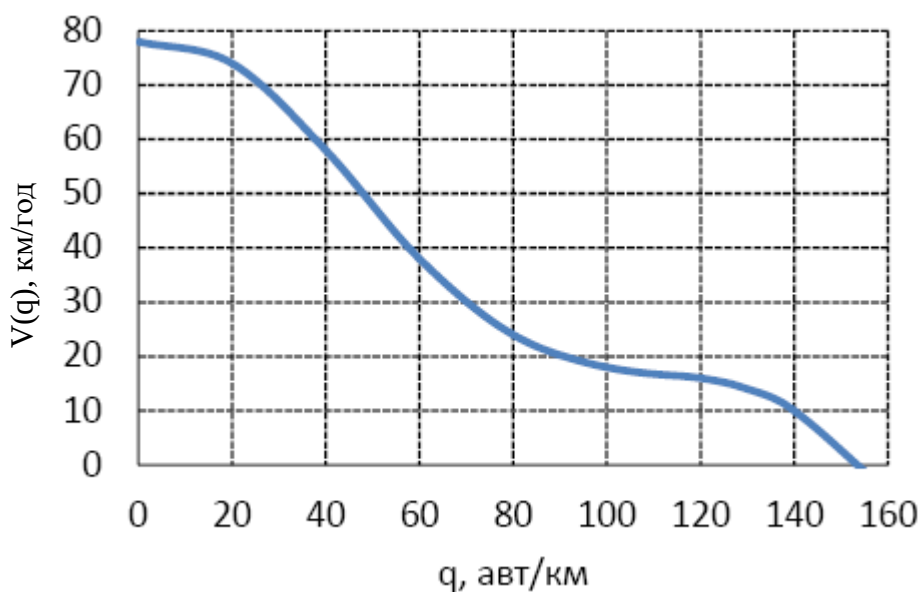


Рисунок 2.4. Діаграма зміни стану транспортного потоку

Будь-яке зниження швидкості руху або перерви в русі (зупинка), приводять до економічних втрат. Тому в процесі організації дорожнього руху особлива увага повинна бути звернута на усунення затримки руху. До затримок слід відносити і зниження швидкості через стан дорожнього полотна, в порівнянні з дозволеною для даної дороги. Також необхідно враховувати затримки руху, пов'язані з впливом навколишнього середовища (сніг, ожележиця). Затримки ру-

ху, що характеризуються втратою часу під час проїзду транспортним засобом заданої ділянки l_1, l_2 із швидкістю нижче оптимально], визначаються з виразу:

$$\Delta T = \int_{l_1}^{l_2} \left(\frac{1}{v_{\phi}} - \frac{1}{v_0} \right) dl, \quad (2.10)$$

де v_{ϕ} і v_0 – відповідно фактична і оптимальна швидкості руху автомобіля (максимально дозволена швидкість).

Як правило, за початкову величину для визначення затримки руху приймають нормативну швидкість руху для даного типу дороги [4].

В цьому випадку втрати часу для транспортного потоку можуть бути визначені з формули:

$$\Delta T = N_a t_{\Delta} T, \quad (2.11)$$

де N_a – інтенсивність транспортного потоку, авт/год;

t_{Δ} – тривалість середньої затримки автомобіля, с;

T – інтервал спостереження, год.

Коефіцієнт затримки обчислюється рівнянням:

$$K_z = t_{\phi} / t_p, \quad (2.12)$$

Де t_{ϕ} – фактичний часу знаходження в дорозі;

t_p – розрахунковий час в дорозі.

Втрати часу для транспортного потоку [4, 6,]:

$$T = \sum_{i=1}^n q_i K_{\text{при}} \Delta T, \quad (2.13)$$

де q_i – інтенсивність руху транспортних засобів i -го типу;

$K_{\text{при}}$ – коефіцієнт приведення транспортних засобів i -го типу.

Інтенсивність руху транспортних засобів визначаємо з виразу:

$$q = \frac{n_t}{T} \quad (2.14)$$

де n_t – кількість автомобілів в одиницю часу;

T – час спостереження, год.

Описана методика визначення втрати часу дозволяє перейти до розрахунку економічних втрат від затримок транспорту. В цьому випадку втрати часу визначаються за методикою, запропонованій Г. М. Antonova [10] і регулярно

застосовної в різних дослідженнях [13, 14]. Дана методика формалізує обернено пропорційну залежність між величиною втрат і швидкістю руху транспортних засобів та може бути уточнена з урахуванням приведеного вище матеріалу наступним положенням: витрати за фактичної швидкості руху транспортних засобів, тобто за наявності затримок в русі повинні визначатися експоненціальною залежністю:

$$C_{\phi} = C_0 \exp^{K_n T}, \quad (2.15)$$

де C_0 – витрати на експлуатацію транспортних засобів за умови дотримання оптимальної швидкості руху, тис. грн.;

K_n – коефіцієнт, що враховує затримки великовантажних автомобілів в пунктах вагового контролю.

Представлена модель уточнює процес визначення витрат у разі зниження фактичної швидкості руху великовантажних автомобілів в пунктах вагового контролю, що дозволить оцінювати реальні витрати на комерційну експлуатацію транспортних засобів, які перевозять навалювальні вантажі.

У методиках визначення шкоди від проїзду великовантажних автомобілів, заподіяної дорожньому покриттю, застосують наступні основні поняття:

- 1) нормативне (розрахункова) осьове навантаження автомобіля;
- 2) допустиме осьове навантаження автомобіля;
- 3) міжремонтний термін служби;
- 4) розрахунковий термін служби дорожнього покриття.

Величину пошкодження дорожнього полотна за одиницю проїзду j -ої осі великовантажного автомобіля на одному кілометрі визначається з рівняння:

$$I_{pj} = K_c \cdot \frac{Y}{\Delta N_p}, \quad (2.16)$$

де K_c – сезонний коефіцієнт агресивності дії навантаження автомобіля;

ΔN_p – кількість проїздів приведена до розрахункових осьових навантажень, що знижують розрахунковий термін служби дорожнього покриття (T_H) з модулем пружності (E_p) до величини фактичного терміну служби (T_{ϕ});

Y – витрати на компенсацію шкоди, від проїзду великовантажних автомобілів з урахуванням витрат на поточний (C_{Π}) і капітальний ремонт (C_y) визначаються за формулою, (грн./км):

$$Y = \frac{C_y \cdot \alpha_j}{(1+E_{\Pi})^{T_{\Phi}}} + C_{\Pi} \cdot \alpha_{Cj}, \quad (2.17)$$

де α_j і α_{Cj} – коефіцієнти приведення навантаження Q_j до розрахункового навантаження Q_R ;

E_{Π} – норматив для приведення витрат різних у часі.

Витрати на поліпшення властивостей дорожнього покриття визначаються з рівняння:

$$C_y = 142,857 \cdot a \cdot (e^{bE_{\text{тр}}} - e^{bE_{\text{ф}}}) \cdot Z_d \cdot X_d \cdot B_{\text{ш}} \cdot K_{\text{т}} \cdot K_{\text{инф}} \cdot K_{\text{уд}}, \quad (2.18)$$

де a і b – емпіричні коефіцієнти, які диференціюють вартість одного м^2 дорожнього одягу за модулем пружності конструкції ($a = 27,8$; $b = 0,0074$);

$E_{\text{тр}}$ і $E_{\text{ф}}$ – відповідно розрахунковий і фактичний модулі пружності дорожньої конструкції, МПа;

$B_{\text{ш}}$ – ширина проїжджої частини, м;

$K_{\text{т}}$ – коефіцієнт витрат;

Z_d – емпіричний коефіцієнт, що враховує сумісні витрати в процесі ремонту (таблиця 2.2);

X_d – коефіцієнт обліку поточних цін (16,78);

$K_{\text{инф}}$ – коефіцієнт інфляції;

$K_{\text{уд}}$ – коефіцієнт дорожчання, який враховує якість матеріалів.

Таблиця 2.2. – Типи дорожнього покриття

Тип дорожнього одягу	Категорія дороги	Коефіцієнти	
		Z_d	Z_n
Капітальний	I та II	2,08	1,50
	III	2,14	1,52
	IV	2,22	1,62
Полегшений	III; IV та V	2,46	1,68
Перехідний	IV та V	3,72	2,67

Приведена до розрахункового автомобіля інтенсивність руху транспортного потоку з великовантажними транспортними засобами визначається з рівняння:

$$N_{1x} = xN_1, \quad (2.19)$$

де x – коефіцієнт, який залежить від потоку великовантажних автомобілів;

N_1 – інтенсивність руху, приведена до розрахункового навантаження Q_p , визначається за формулою відповідно до геометричної прогресії, од/добу:

$$N_1 = f \frac{N_{np}}{q^{T_H-1}} \sum_1^{\omega} \alpha_j \cdot p_j, \quad (2.20)$$

де N_{np} – перспективна інтенсивність руху, авт/добу;

q – коефіцієнт зростання інтенсивності руху ($q > 1$);

ω – кількість типів автомобілів у транспортному потоці;

T_H – розрахунковий міжремонтний термін;

f – коефіцієнт, який враховує кількість смуг на дорозі;

p_j – частка окремих типів транспортних засобів.

Коефіцієнт (α_j) визначається з виразу:

$$\alpha_j = \left(\frac{Q_j}{Q_p} \right)^{\beta}, \quad (2.21)$$

де β – показник, який вибирають у відповідності до типу дорожнього покриття, (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Показник β

Тип дорожнього покриття, категорія дороги	K_{np}^*	β
Дорожній одяг капітального типу на дорогах I- II категорії	1,00	4,4
Дорожній одяг капітального типу на дорогах III-IV категорій	0,94	4,4
Полегшений дорожній одяг	0,90	3,0
Перехідний дорожній одяг	0,63	2,0

Повторюваність на смузі великовантажних автомобілів за період часу t визначено з рівняння:

$$\Delta N_p = n \cdot \frac{q^t - 1}{q - 1} \cdot (N_{1x} - N_1), \quad (2.22)$$

Відповідно до правил діагности і оцінки стану доріг визначають модуль пружності конструкції за формулами:

$$E_t = E_i \cdot K_{\text{пр}} \cdot K_{\text{рег}} \cdot K_{\text{си}} \cdot K_z \frac{1}{x_i}, \quad (2.23)$$

$$E_i = A + B \cdot \left[\lg \left(\gamma \cdot \omega^* \cdot N_1 \frac{q^{T_H - q^{t_i}}}{q - 1} \right) - 1 \right], \quad (2.24)$$

де $A, B, \omega^*, K_{\text{пр}}, K_z, K_{\text{рег}}$ – показники, що враховують кліматичні умови;

$K_{\text{си}}$ – коефіцієнт опору конструктивних шарів дорожнього полотна зрушенню і розтягуванню в процесі вигині;

X_i – параметр, визначений надійністю дорожнього полотна.

Формула (2.24) справедлива при величині під логарифмом ≥ 5 .

$$T_\Phi = \frac{1}{\lg q} \lg \left[\frac{10^x \cdot (q - 1)}{\gamma \cdot \omega^* \cdot N_{1x}} + 1 \right], \quad (2.25)$$

$$X = \frac{E_i - A}{B} + 1, \quad (2.26)$$

$$E_i = \frac{E_p \cdot X_i}{K_{\text{пр}} \cdot K_{\text{рег}} \cdot K_{\text{си}} \cdot K_z}, \quad (2.27)$$

Тоді витрати на ремонт 1-го кілометра дороги (грн./км) розраховуємо з виразу:

$$C_{\text{п}} = 10^3 \cdot Z_{\text{п}} \cdot C_{\text{п}}^* \cdot X_{\text{п}} \cdot \Delta C_{\text{п}} \cdot B_{\text{ш}} \cdot K_{\text{т}} \cdot K_{\text{инф}} \cdot K_{\text{уд}}, \quad (2.28)$$

де $B_{\text{ш}}$ – ширина проїжджої частини, м;

$\Delta C_{\text{п}}$ – частка витрат на ремонт, пов'язана з дією великовантажних автомобілів;

$X_{\text{п}}$ – поправочний коефіцієнт-дефлятор визначаючий вартість ремонту $C_{\text{п}}$ в i -тому році по відношенню до базового;

$K_{\text{уд}}$ – коефіцієнт дорожчання по відношенню до інфляції для доріг відповідно I, II, III, IV категорій.

Дія великовантажних автомобілів викликає прискорене руйнування дорожніх покриттів та скорочення міжремонтних термінів, не змінюючи в цілому вартості поточного ремонту (поверхнева обробка), що визначається різницею різночасних витрат:

$$\Delta C_{\Pi} = \sum_1^m \frac{1}{(1+E_{\Pi\Pi})^{t_{\Phi\Pi}}} - \sum_1^{\mu} \frac{1}{(1+E_{\Pi\Pi})^{t_{\Pi}}}, \quad (2.29)$$

де $t_{\Phi\Pi}$ – фактичний час проведення поточного ремонту, роки;

t_{Π} – нормативний час проведення поточного ремонту, роки;

$E_{\Pi\Pi}$ – дисконт приведення різночасних витрат – 0,12 [7];

m – фактична кількість поточних ремонтів в межах терміну служби дороги;

μ – нормативна кількість поточних ремонтів в межах фактичного терміну служби дорожнього полотна.

Вплив великовантажних автомобілів на зміну нормативних термінів служби оцінюють за величиною пошкоджень дорожніх покриттів:

$$T_{\Phi\Pi} = \frac{\alpha_{cp}}{\alpha_{cj}} \cdot T_{\Pi}, \quad (2.30)$$

де α_{cp} – коефіцієнт, що приводить до розрахункового навантаження ($\alpha_{cp}=1$, $P_j^* = 0,6$ МПа);

α_{cj} – коефіцієнт обліку j -ой осі великовантажного автомобіля до розрахункового навантаження 100 кН [7];

$$\alpha_{cj} = 0,324 \cdot \frac{P_j^{*+0,02}}{0,8 - P_j^*}, \quad (2.31)$$

де P_j^* – середній питомий тиск в площині контакту колеса автомобіля (МПа), визначуваний залежно від осьового навантаження (табл. 2.4) [5].

Тоді кількість поточних ремонтів дорожнього покриття в межах фактичного терміну служби дорожнього одягу (m , ціле число) знаходимо з виразу:

$$m = \frac{T_{\Phi}}{T_{\Phi\Pi}}. \quad (2.32)$$

Сезонний коефіцієнт агресивності дії навантаження автомобіля K_c визначається відповідно до залежності зміни сезонної рівності дорожнього покриття:

$$K_c = 10^Y, \quad (2.33)$$

$$Y = \frac{E_p \cdot (K_j - 1)}{B \cdot K_{np} \cdot K_{per} \cdot K_j}, \quad (2.34)$$

де K_j – середнє значення коефіцієнтів варіації міцності дорожнього полотна для різних періодів року.

Таблиця 2.4 – Різні залежності від осьового навантаження транспортного засобу

Q_j , (т)	P_j^* (МПа)	Q_j (т)	P_j^* (МПа)	Q_j (т)	P_j^* (МПа)	Q_j (т)	P_j^* (МПа)
4	0,38	8	0,56	12	0,64	16	0,68
5	0,47	9	0,58	13	0,65	17	0,69
6	0,51	10	0,60	14	0,66	18	0,70
7	0,54	11	0,63	15	0,67	19	0,71

Особливості визначення шкоди від великовантажних автомобілів в період весняного обмеження руху полягають в тому, що у формулі (2.19) замінюється інтенсивність руху N_1 на допустиму інтенсивність руху в період сезонного обмеження руху N_{d1} , приведену до розрахункового навантаження 100 кН:

$$N_{1x} = xN_{d1}. \quad (2.35)$$

Величину заподіяної шкоди визначають на основі даних діагностики доріг (K_{np}) і допустимого осьового навантаження (табл. 2.5)

Представлена методика дозволяє розрахувати величину пошкодження I_j у будь-який момент і за будь-який період в межах фактичного терміну служби дорожнього полотна $T_{\Phi 1}$. За умови осьового навантаження ($Q_j > Q_{доп}$), величина питомої шкоди визначається за формулами, (грн./км):

$$I_j = \frac{C_k}{\Delta N_p} \cdot \alpha_j \cdot \frac{1}{(1 + E_{нп})^{T_{\Phi 1}}}, \quad (2.36)$$

$$\Delta N_p = n \cdot \frac{q^{T_{\Phi 1} - 1}}{q - 1} \cdot (N_1 - N_{d1}), \quad (2.37)$$

де n – розрахункове число днів в році;

q – показник зростання інтенсивності руху в часі ($q > 1$);

$E_{\text{нп}}$ – норматив для приведення різних витрат в часі (в середньому 0,12);
 a – коефіцієнт приведення j -того осьового навантаження до розрахункової $Q = 100$ кН;

C_K – витрати на передчасний капітальний ремонт;

N_1 і N_{d1} – відповідно інтенсивність руху транспортного потоку автомобілів з $Q_j > Q_{\text{доп}}$ і допустима інтенсивність руху на дорозі, приведені до розрахункового осьового навантаження, авт/доб.

Таблиця 2.5 – Допустимі осьові навантаження великовантажних автомобілів

Коефіцієнт міцності, $K_{\text{ПР}}$	Допустиме навантаження ($Q_{\text{доп}}$) на кожну вісь транспортного засобу для:		
	однієї осі, т	двовісного візка, т	тривісного візка, т
1,14 – 1,09	12	10	9
1,08 – 1,05	11	9	8
1,04 – 1,00	10	8	7
0,99 – 0,94	9	7	6
0,93 – 0,88	8	6	6
0,87 – 0,81	7	6	5
0,80 – 0,71	6	5	4
0,70 – 0,60	5	4	3
0,59 – 0,50	4	3	3

Розрахунок витрат на передчасний капітальний ремонт – C_K здійснюємо за формулою (2.18) з врахуванням кореляційні залежності для розрахунку шкоди I_j (грн./км) з виразу (2.23):

– для асфальтобетонного покриття;

$$I_j = I_{1K} \cdot \left(1 + 0,2 \cdot \Delta Q^{1,92} \cdot \left(\frac{a}{Q} - b \right) \right), \quad (2.38)$$

де I_{1K} – початкове значення шкоди (грн./км), визначають для різних регіональних умов за умови перевищення допустимого осьового навантаження $\Delta Q = 0,5$ т;

Q – величина допустимого осьового навантаження, т;

a і b – емпіричні параметри, залежні від категорії дороги (табл. 2.6):

– для гравійного покриття:

$$И_j = N_{1k} \cdot \left(1 + 0,14 \cdot \Delta Q^{1,24} \cdot \left(\frac{7,3}{Q} + 0,27 \right) \right). \quad (2.39)$$

Таблиця 2.6 – Емпіричні параметри, залежні від категорії дороги

Категорія дороги	I	II	III	IV
a	98,2	38,5	35,3	11,3
b	8,84	2,76	2,34	0,03
E_{TP} , МПа	346	284	248	234

У методиці визначення втрат, заподіяних великовантажними автомобілями дорожньому покриттю, інтенсивність руху N_1 розраховується з урахуванням збільшення середньорічної добової інтенсивності руху, яка розраховується з виразу:

$$\Delta N_p = \frac{QK}{Dq_{cp}\beta\gamma}, \quad (2.40)$$

де Q – вантажонапруженість перегону, ткм/км;

K – коефіцієнт, що враховує у складі потоку автомобілі, які не перевозять вантажі, орієнтовно змінюється в межах 1,15...1,25;

$Dq_{cp}\beta$ – продуктивність автомобіля на 1 км пробігу в рік.

На основі формул (2.30, 2.31 і 2.34) значення показника, що визначає третій критерій, розраховується обернено пропорційною залежністю від коефіцієнта використання пробігу з виразу:

$$D_{k3} = f(\gamma_c) = \frac{k_3}{\gamma_c}. \quad (2.41)$$

2.2. Стратегія визначення оптимального стану досліджуваної системи «автомобіль-дорога»

Сформулюємо логічно доцільну послідовність етапів дослідження та конкретизуємо їх суть на кожному етапі використовуючи загальні принципи системного методу дослідження, і врахуємо універсальність та відносність застосованих понять,. Рамки даної проблеми обмежують кількість об'єктів, що підлягають дослідженню. Залежно від цілей, серед об'єктів виділимо системні утворення, розглядаючи інші як їх «оточення». Враховуючи, що сьогодні існує багато версій визначення поняття «система», яке все ще обговорюється і уточнюється, приймемо для подальшого викладу наступну версію цього центрального поняття даного підходу.

Система – кінцева, взаємозв'язана безліч елементів, виділених з оточення (середовища), функціонування яких має чітку цілеспрямованість в рамках даної проблеми (задачі) і визначеного при цьому часового інтервалу.

Елементи – частини або компоненти системи. Їх понятійна інтерпретація різноманітна.

В попередніх розділах ми розглянули окремі складові досліджуваної системи. Але знання функції елемента ще не визначає всіх його якісних властивостей і тим більше граничних. Тільки комплексне дослідження здатне забезпечити виявлення всіх характеристик об'єкту в цілому, так і окремого елемента. Відносність поняття «елемент» зумовлює відносність функції. У зв'язку з цим, виділятимемо загальну функцію всього об'єкту, приватні функції окремих його елементів. Це підкреслює наявність і необхідність декількох стадій в дослідженнях об'єкту для виявлення згаданих властивостей.

Якщо комбінація властивостей об'єкту характеризує його стан, то сукупність станів $Q = \{Q_1; \dots Q_i; \dots Q_n\}$ свідчить про його мінливість та визначає область можливих станів об'єкту в різних умовах його існування, характеризуючи тим самим поведінку об'єкту. А оскільки з часом умови міняються, тому під час досліджень необхідно фіксувати дані моменти часу $t = \{t_1; \dots t_i; \dots t_n\}$ функціону-

вання об'єкту та для цих моментів визначати його стани $Q = \{Q_i\}$. Потрібно встановлювати відповідність між елементами впорядкованої безлічі типу $t \rightarrow Q$. Під час всестороннього дослідження об'єкту на певному етапі важливо встановити наявність та закономірності змін його властивостей в процесі взаємодії з іншими об'єктами і, навпаки, вплив даного об'єкту на інших. Здатність об'єкту до вказаних змін, так звана «адаптація», і служить підставою для віднесення об'єкту до класу «систем».

При всій універсальності загального поняття системи для конкретизації поняття раціонально виділяти два характерні види системних утворень: «процес» і «об'єкт».

Виконуючи опис процесу регламентуючими його розпорядженнями, зупинимося на нюансах відмінності інструкцій, що використовуються для цих форм, зокрема, виділених вище. Так, для опису процедур процесів в різних областях діяльності (сфера технічної підготовки виробництва не є виключенням з них) знаходить все більше застосування чисто математичне поняття «алгоритм» через свої характерні особливості.

В загальному випадку процес перетворення є сукупністю операцій. Враховуючи попередню інформацію, алгоритм - це модель процесу перетворення інформації, що однозначно описує як послідовність його операцій, так і зміст. В термінах теорії множин, алгоритм можна трактувати як впорядковану безліч операцій, їх відносин та умов переходу від однієї операції до іншої.

У математиці виділяють три характерні властивості алгоритму: масовості, результативності та визначеності (детермінованості). Доцільно прослідкувати за проявом цих властивостей на практиці технічного проектування. Так, вимоги визначеності в понятті алгоритму зумовлює відповідне пізнання, детальне опрацювання і опис процесу, забезпечуючи однозначне «тлумачення» оператором дій.

Сучасний рівень моделювання процесу забезпечує відтворення моделей технічними засобами (технічними системами з програмним управлінням), що функціонують в автоматичному режимі під час практичного здійснення проце-

су перетворення. В інформаційній і матеріальній сферах реалізації процесу перетворення не завжди можна масово реалізовувати універсальний основоположний принцип автоматизації. Звідси не кожна модель процесу може бути названа алгоритмом.

Властивість масовості алгоритму зумовлює необхідність його універсалізації, що виявляється на практиці в допущенні певної мінливості, множинності, в першу чергу, характеристик входу і, відповідно, виходу. Але розширення діапазону можливої мінливості характеристик, що означає універсалізацію алгоритму, зумовлює його громіздкість, отже, можливе зниження ефективності та навіть вірогідне невиконання властивості – результативності (нездатності технічного засобу-системи забезпечити виконання передбачених йому алгоритмом функцій). Тому в процесі рішення проблеми регламентації можливостей алгоритму і його технічної реалізації в конкретній технічній системі у кожному випадку необхідний пошук «золотої середини». В зв'язку з цим слід розрізняти різновиди алгоритму виділенням понять «гнучкого» і «жорсткого» алгоритмів. «Гнучкий» вид показує теоретичну і практичну можливість забезпечувати адаптацію системи за рахунок відповідної зміни моделі процесу її функціонування. Згадані зміни застосованого алгоритму повинні бути оцінені як з технічної, на предмет можливості технічної реалізації, так і з економічної сторін, підтверджуючих доцільність ускладнення технічної системи.

На основі вказаної інформації стає зрозумілим необхідність серед даних процесів в техніці і, зокрема, в процесах перетворення, особливо виділити процеси регулювання та управління, а під час опису поведінки системи використовувати поняття «стійкість», «рівновага».

Для того щоб оптимізувати (мінімізувати або максимізувати) m критеріїв спочатку розглянемо випадок максимізації з співвідношення:

$$k_j \rightarrow \max, k_i > k_{i0}, i = \overline{1, m}, i \neq j \quad (2.42)$$

Можна максимізувати суму критеріїв:

$$K = \sum_{i=1}^m k_i \rightarrow \max \quad (2.43)$$

або похідну критеріїв:

$$K = \prod_{i=1}^m k_i \rightarrow \max. \quad (2.44)$$

Також застосовують метод визначення «вагомих» коефіцієнтів. Наприклад,

$$K = \sum_{i=1}^m C_i k_i \rightarrow \max, \quad (2.45)$$

де C_i - значущість або вплив i -го показника по j -ому критерію ефективності.

У деяких випадках максимізують (частину – q критеріїв), а частину ($m-q$), що залишилася, мінімізують:

$$K = \frac{\prod_{i=1}^q k_i}{\prod_{i=q+1}^m k_i} \rightarrow \max. \quad (2.46)$$

Приведені розрахунки у ряді досліджень [14 - 17] показують, що всі представлені критерії є суб'єктивним апаратом для ухвалення рішень (за однакових початкових даних можуть давати різні варіанти рішень). Для того, щоб знайти прийнятне (оптимальне) рішення, необхідно під час застосування цих критеріїв, уточнювати ситуації або визначати стану зовнішнього середовища. Інформація із зовнішнього середовища дає можливість уточнити той або інший метод. На даний час існують і інші способи, за допомогою яких можна визначати шлях знаходження рішення.

2.3. Постановка завдання оптимізації в системі перевезень навалювальних вантажів великовантажними автомобілями в системі «автомобіль-дорога»

Основною метою в процесі дослідження системи є її опис. Моделювання, як інструмент дослідження та побудови теорії, особливо важливе з урахуванням вимог по формалізації останній. Це пояснюється такими перевагами моделі перед словесним (вербальним) описом як точність уявлення і стислість. Вона розкриває важливі причинно-наслідкові зв'язки, робить зрозумілою загальну структуру досліджуваного об'єкту,. З цієї причини розглядатимемо модель і засіб постановки експериментів. і як засіб осмислення дійсності, і інструмент прогнозування, і засіб спілкування, і засіб навчання. Особливості досліджуваного об'єкту зумовлюють форму опису моделі. В більшості випадків використовуватимемо символічну форму. Вона завжди абстрактна і тому забезпечує можливість формального з нею спілкування і використання, що особливо важливо для теорії, яка розробляється, і її «машинному» застосуванні.

Функціональний S_ϕ опис покликаний відобразити призначення системи, час і місце її функціонування, взаємовідношення проблеми з іншими системами. Всяка штучна система створюється для досягнення деякої структури цілей, описи якої характеризують її призначення. Одночасно виявляються і описуються як безліч існуючих цілей, так і відносини між ними, зв'язки.

Конкретизація цілей припускає опис поведінки системи, визначена як впорядкована в часі $t = \langle t_1; \dots; t_i; \dots; t_n \rangle$ множина (кортеж) її станів $Q = \langle Q_1; \dots; Q_i; \dots; Q_n \rangle$. Тому цілеспрямована поведінка системи, її станів що веде до бажаних результатів, називатимемо функцією системи, а процес її існування при цьому - функціонуванням.

Складність системи зумовлює необхідність виявлення і опису, як диференціювання її на всю глибину будови системи так і інтегральної функції всієї системи, для виявлення функцій всіх елементів.

У зв'язку з тим, що в більшості випадків функціональна властивість системи відображається в її параметричних характеристиках, то в загальному вигляді структура моделі цієї сторони прояву властивості описується рівнянням:

$$E = R(X_i), \quad (2.47)$$

де E – результат функціонування (вихід системи);

X – змінні та параметри характеристик (вхід) системи;

R – оператор перетворення.

У загальному випадку R -перетворення може бути диференціальним, інтегрально-диференціальним оператором алгебри, логічним, скалярним, матричним, векторним, складеним на підставі статистичних досліджень системи або на підставі знання складових системи.

Встановлення конкретного виду R -перетворення здійснюється або на підставі використання досвіду попередніх досліджень систем-аналогів, або в ході дослідження даної системи.

Зміст функціонального опису представимо виразом, який перераховує безліч характеристик, які відображають ту або іншу сторону прояву функціональної властивості:

$$S_{\Phi} = \{Q, t, E, X\}. \quad (2.48)$$

Морфологічний S_m опис системи покликаний конкретизувати загальний вираз:

$$S_m = \{\Theta, C, O, K\}, \quad (2.49)$$

де S_m – символ морфологічного опису;

Θ – символ безлічі елементів і їх властивостей;

C – символ безлічі зв'язків;

O – символ структури організації;

K – символ композиції.

Першою метою морфологічного дослідження є виявлення складу елементів системи. За своєю природою він може бути гетерогенним, гомогенним (однорідним) або змішаним.

Особливості кожного елементу виявляються через значення характеристичних властивостей. Вся безліч їх $M = \{m_1; \dots m_i; \dots m_j\}$ на даному рівні пізнання ділитимемо на дві підмножини. Перше складають якісні властивості, які називають «ознаками», відносно яких можна вказати лише думку типу «так, – ні», тобто кожен елемент Ξ або володіє даною ознакою, або не володіє нею.

Іншу підмножину складають властивості, що характеризуються числовими значеннями і їх називають «параметрами». Якщо область значень параметра розбити на кінцеве число непересічних інтервалів, що суцільно заповнюють її, то сказане можна записати виразом, наприклад, для параметра $m = \{m_{11}; \dots m_{1i}; \dots m_{1j}\}$. Тут параметр значень m_1 має $i \dots k$ інтервалів значень.

Всі властивості досліджуваних систем і об'єктів запропоновано ділити на енергетичні, речовинні (матеріальні), інформаційні та враховувати це для опису.

Опираючись на вище вказані пояснення про зв'язки (С) між елементами системи в процесі морфологічного дослідження останньої необхідно виявити і описати не тільки склад зв'язків, але і схему їх мережі, названу «структурою», виконати оцінку по ній зв'язність елементів.

Безліч зв'язків між елементами класифікується по суті на енергетичні, речовинні, інформаційні, а по характеру зв'язків – на нейтральні, прямі, зворотні.

У зв'язку з цим за умови виявлення різноманіття зв'язків необхідно описати відповідну кількість структур зв'язків, залежно від того, застосовуючи методи максимально відповідні інформаційному стану системи.

Розглянемо один з них – метод районування за принципом домінування можливих варіантів з подальшим вибором оптимального.

Приймемо позначення:

m – число можливих стратегій з організації перевезень навалювальних вантажів;

n – число критеріїв, які необхідно враховувати в системі;

a_{ij} – показник i -ої стратегії для j -го критерію, $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, n}$.

Тоді матриця вибору стратегії по організації поріже навалювальних вантажів в системі «автомобіль–дорога» матиме вигляд:

$$\|a_{ij}\| = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix}. \quad (2.50)$$

Постановка задачі з урахуванням розробленої моделі оптимізації перевезень навалювальних вантажів, представлених на рис 2.5:

$$\begin{aligned} K_1 &= a_{11}x_1 + a_{21}x_2 + a_{31}x_3 \rightarrow \max, \\ K_2 &= a_{12}x_1 + a_{22}x_2 + a_{32}x_3 \rightarrow \min, \\ K_3 &= a_{13}x_1 + a_{23}x_2 + a_{33}x_4 \rightarrow \min, \\ x_1 + x_2 + x_3 &= N. \end{aligned} \quad (2.51)$$



Рисунок 2.5. Композиція моделі систематизованої оцінки показників використання великовантажних автомобілів

Визначимо обмеження:

$$x_i = \begin{cases} N, i = j \\ 0, i \neq j \end{cases}. \quad (2.52)$$

В цьому випадку матриця вибору стратегії з організації перевезень навалювальних вантажів в системі «автомобіль-дорога» прийме наступний вигляд:

$$A = \begin{pmatrix} k_{11}\gamma_c + b_1 & \frac{k_{12}}{\gamma_c} & \frac{k_{13}}{\gamma_c} \\ k_{21}\gamma_c + b_2 & \frac{k_{22}}{\gamma_c} & \frac{k_{23}}{\gamma_c} \\ k_{31}\gamma_c + b_3 & \frac{k_{23}}{\gamma_c} & \frac{k_{33}}{\gamma_c} \end{pmatrix}. \quad (2.53)$$

Отже, для досягнення мети кваліфікаційної роботи потрібно вирішити задачу у вигляді системи рівнянь:

$$\begin{cases} K_1 = (k_{11}\gamma_c + b_1)x_1 + (k_{21}\gamma_c + b_2)x_2 + (k_{31}\gamma_c + b_3)x_3 \rightarrow \max \\ K_2 = \frac{k_{12}}{\gamma_c}x_1 + \frac{k_{22}}{\gamma_c}x_2 + \frac{k_{23}}{\gamma_c}x_3 \rightarrow \min \\ K_3 = \frac{k_{13}}{\gamma_c}x_1 + \frac{k_{23}}{\gamma_c}x_2 + \frac{k_{33}}{\gamma_c}x_4 \rightarrow \min \end{cases} \quad (2.54)$$

У нашому випадку $n = 3$, тому ця система приймає вигляд:

$$x_1 + x_2 + x_3 = 1, \quad x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0. \quad (2.55)$$

Здійснена постановка багатокритеріальної задачі оптимізації в моделі систематизованої оцінки показників використання великовантажних автомобілів, що розробляється, за умови перевезення навалювальних вантажів з урахуванням зупинок руху в пунктах вагового контролю і пошкодження заподіяного великовантажними транспортними засобами дорожнім покриттям.

Висновки до розділу

У другому розділі сформована структура методики визначення показників по окремих критеріях ефективності в моделі систематизованої оцінки показників використання великовантажних автомобілів.

Згруповані і проаналізовані можливі методи рішення поставленої багатокритеріальної задачі. Виявлене і обґрунтоване для досягнення мети застосування методу районування за принципом домінування можливих варіантів з подальшим вибором оптимального. Під час пошуку оптимального рішення на максимум-мінімум в умовах невизначеності даний метод дозволяє виключити невігідні стратегії ухвалення рішень.

Здійснена постановка багатокритеріальної задачі оптимізації в системі перевезень навалювальних вантажів з урахуванням зупинок руху в пунктах вагового контролю і пошкоджень заподіяних великовантажними автомобілями дорожнім покриттям.

3. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Початкові дані для проведення експерименту

Досліджуваний процес перевезення навальних вантажів великовантажними автомобілями реалізується на території м. Миколаїв Львівської області.

Маршрут перевезення навальних вантажів – простий маятниковий із зворотнім ненавантаженим пробігом: С. Сокільники - об'єкт будівництва (житловий комплекс). Маршрут пролягає по дорожньому покриттю, що відноситься до I-ої категорії (26 км) і III-єї категорії (9 км).

Технико-експлуатаційні показники роботи великовантажних автомобілів на досліджуваному маршруті приведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Технично-експлуатаційні показники роботи великовантажних автомобілів на досліджуваному маршруті

Найменування показника	Значення показника
1. Довжина маршруту, км	70
2. Довжина навантаженої їзди	35
3. Довжина порожньої їзди	35
4. Середньодобовий об'єм перевезень, т	280
5. Технічна швидкість, км/год	35
6. Середній час простою під навантаженням і розвантаженням, хв	20
7. Середній час в наряді, год	8
8. Інтервал кількості навантаженої їзди, виконуваної одним автомобілем.	4...6
9. Кількість автомобілів в експлуатації	8
10. Кількість робочих днів в році, дн.	204

Характеристики навальних вантажів, що перевозяться на досліджуваному маршруті приведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Вагогабаритні характеристики вантажу

Найменування показника	Значення показника
Пісок кар'єрний	
Фракція (модуль зернистості)	0,8...2,0
Коефіцієнт використання вантажомісткості	1,5
Коефіцієнт використання вантажопідйомності	1,1...1,2
Вага вантажу, т	30
Об'єм вантажу, м ³	20
Щебінь гранітний	
Фракція (модуль зернистості)	5,0...20
Коефіцієнт використання вантажомісткості	1,36
Коефіцієнт використання вантажопідйомності	1,1...1,2
Вага вантажу, т	30
Об'єм вантажу, м ³	22

Для автоматизованого розрахунку осьового навантаження великовантажного автомобіля-самоскида на основі технічних характеристик транспортного засобу в кваліфікаційній роботі була застосована програма розроблена кафедрою автомобілів і тракторів. Продемонструємо на прикладі розрахунку осьових навантажень для автомобіля Mercedes-Benz Actros 3336AK з врахуванням геометричних розмірів транспортного засобу і властивостей вантажу (рис. 3.1).

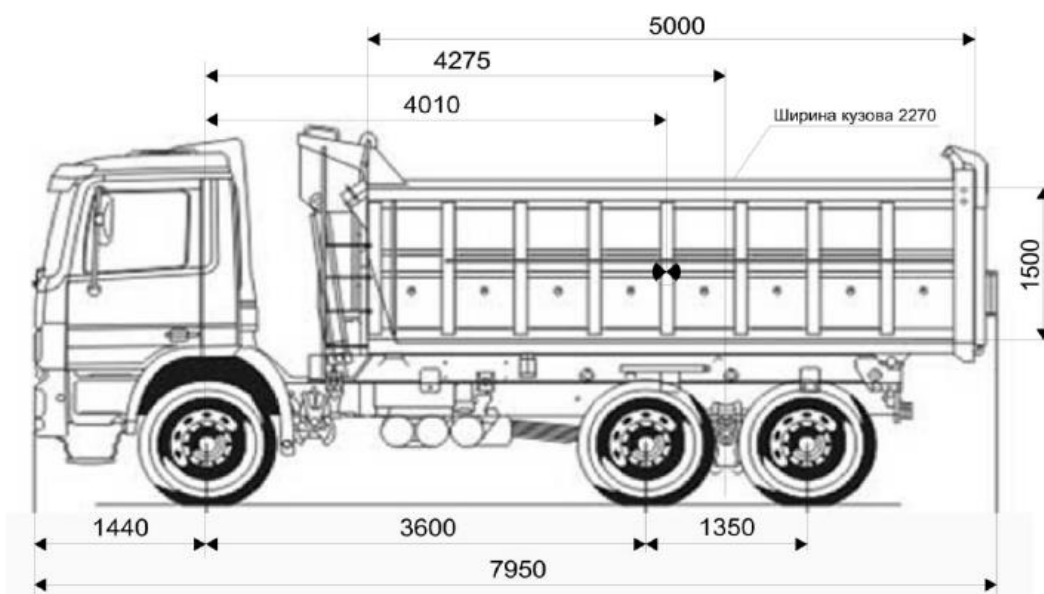


Рисунок 3.1 Геометричні дані великовантажного автомобіля- самоскида Mercedes-Benz Actros 3336AK

Даний тип рухомого складу відноситься до класу будівельних автомобілів-самоскидів особливо великої вантажопідйомності для роботи в кар'єрах. Виходячи з розрахунків, дозволених навантажень на вісь (60 кН на вісь) для автомобіля Mercedes-Benz Actros 3336AK, який перевозить щебінь, об'єм вантажу не повинен перевищувати $12,3 \text{ м}^3$. Завантаження автомобіля для доріг кат. ІА – 16470 кг. Навалювальна густина вантажу – $1,34 \text{ т/м}^3$. Можливе заповнення кузова – 72 %.

3.2. Визначення статистичного значення коефіцієнта використання вантажопідйомності

Визначення вибіркової сукупності (вибірки), як частини генеральної сукупності елементів, яка охоплюється експериментом (спостереженням). Необхідність вибірки пояснюється потребою в зборі достовірної первинної інформації про значення коефіцієнта використання вантажопідйомності реалізовуваний в практичній діяльності під час перевезення навалювальних вантажів для його оцінки, що диференціюється.

Визначаємо об'єм вибірки та виконуємо перевірку розподілу випадкових величин на відповідність нормальному закону.

Розмах варіювання = 6σ і визначаються за виразом:

$$x - 3\sigma(x) < x < x + 3\sigma(x), \quad (3.1)$$

де x – значення випадкової величини;

$\sigma(x)$ – значення середнього квадратичного відхилення досліджуваної величини.

Закон розподілу досліджуваної величини є нормальним, якщо значення генеральної сукупності випадкових величин потрапляє в заданий інтервал 6σ , з вірогідністю 95 %.

Визначаємо об'єм вибірки за формулою:

$$n = \frac{(t^2 \cdot \sigma^2)}{\varepsilon^2}, \quad (3.2)$$

де t^2 – значення функції Лапласа;

σ^2 – дисперсія оцінки середньо випадкової величини;

ε^2 – густина розподілу вибіркової середньої випадкової величини.

Якщо (ε) виражена через величину відносної точності, то отримаємо рівняння:

$$(\varepsilon_0) + \varepsilon_0 = \frac{\varepsilon}{x}, \quad (3.3)$$

$$n > \left[\frac{(t^2 \cdot \sigma^2)}{(\varepsilon^2 \cdot x)} \right] > \frac{(t^2 \cdot v^2)}{\varepsilon_0^2}. \quad (3.4)$$

З а умови коли $t = 1,96$, $\varepsilon_0 = 0,1$ і $a = 0,05$ об'єм вибірки склав $n = 94,5$ (95).

В процесі досліджень одержані експериментальні дані у вигляді накопиченої частоти набутих значень коефіцієнта використання вантажопідйомності представлені у вигляді графіка полігону накопичених частот (Рис. 3.2).

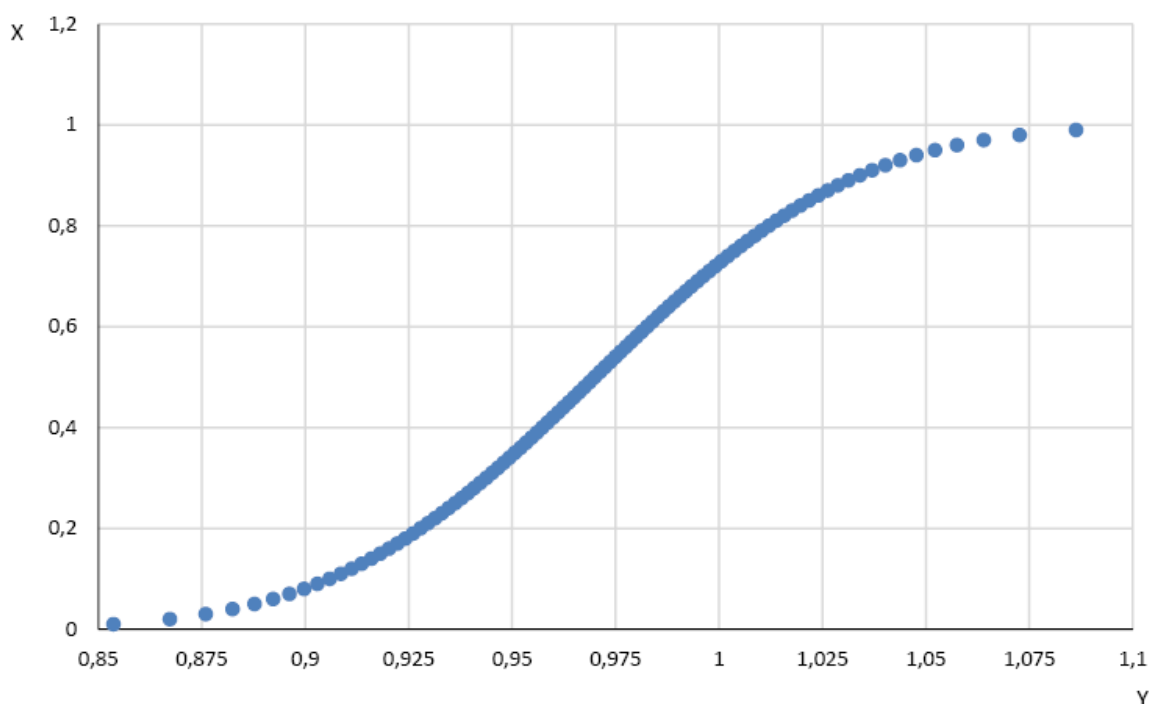


Рисунок 3.2 Полігон накопичених частот значень коефіцієнта використання вантажопідйомності

Розглянемо показники, що характеризують кількісну оцінку експерименту. Середнє арифметичне для згрупованих даних визначається з виразу:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^k f_i x_i}{\sum_{i=1}^k f_i}, \quad (3.5)$$

де x_i – середнє значення i -го інтервалу;

f_i – число попадань в інтервал;

k – число інтервалів.

Середнє квадратичне (стандартне) відхилення для згрупованих даних визначається як позитивний корінь квадратний з дисперсії, яку розрахуємо з рівняння:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^k f_i (x_i - \bar{x})^2}{n-1}, \quad (3.6)$$

де n – загальний об'єм вибірки.

Тоді середнє квадратичне відхилення знайдемо за формулою:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k f_i (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}. \quad (3.7)$$

Результати розрахунків показників кількісної оцінки експериментальних даних приведені в таблиці 3.3. Гістограма розподілу коефіцієнтів використання вантажопідйомності представлена на рис 3.3. Полігон частот коефіцієнтів використання вантажопідйомності відображено на рис 3.4.

Таблиця 3.3 – Результати розрахунків показників кількісної оцінки експериментальних даних коефіцієнтів використання вантажопідйомності

Показник	Значення показника
Об'єм вибірки	100
Середнє арифметичне	0,97
Кількість інтервалів угруповання даних	10
Крок інтервалу	0,025
Середнє квадратичне (стандартне) відхилення	0,05
Дисперсія	0,0025

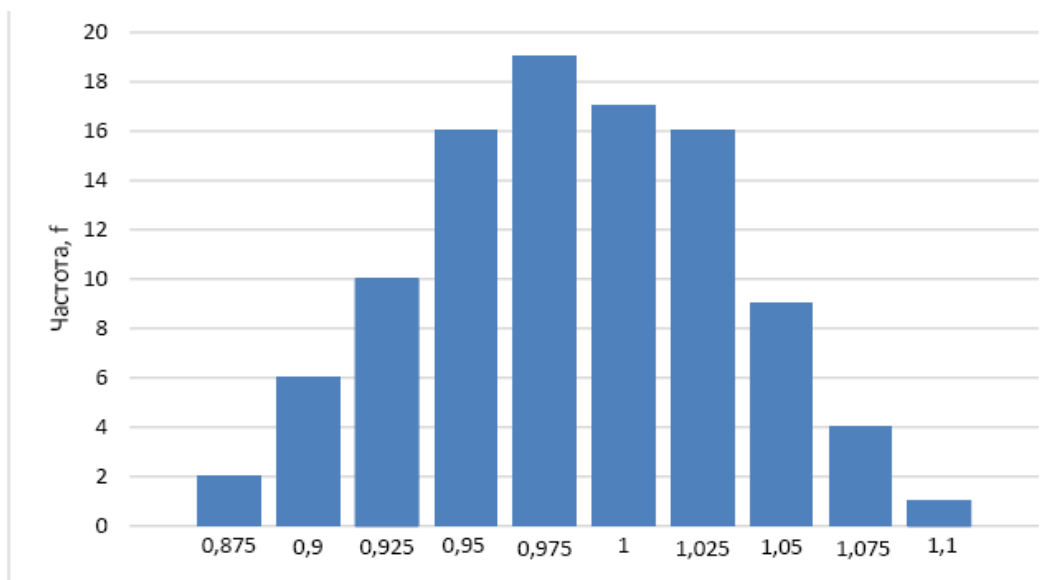


Рисунок 3.4 Гістограма розподілу значень коефіцієнтів використання вантажопідйомності

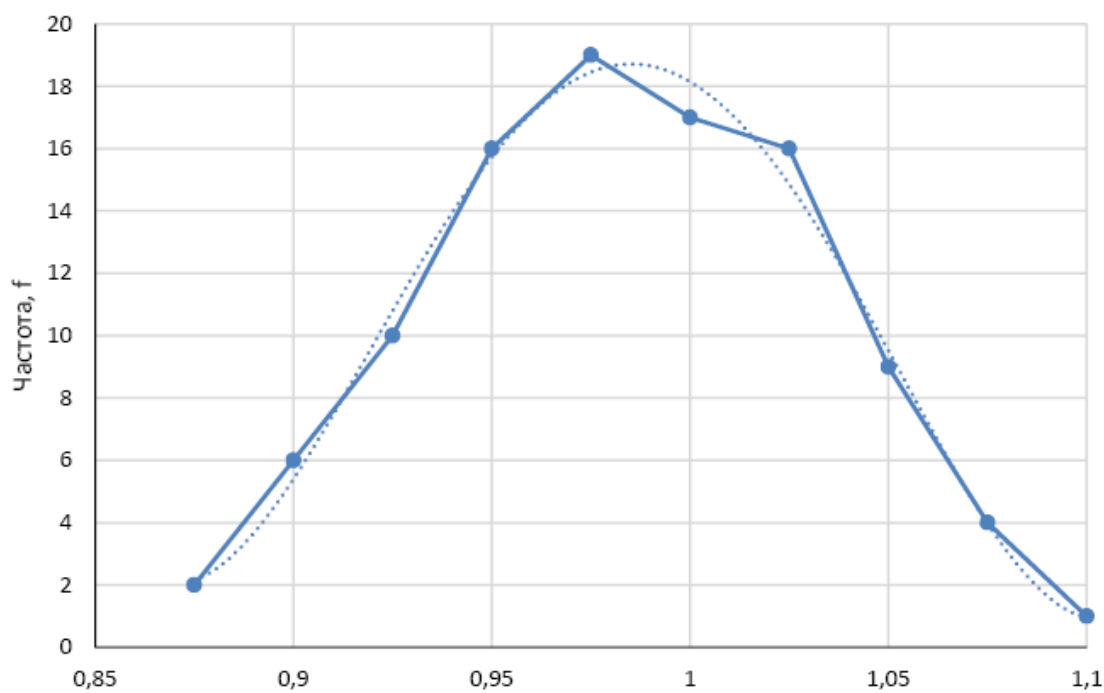


Рисунок 3.5 Полігон частот розподілу коефіцієнтів використання вантажопідйомності

3. 3. Формування матриці вибору стратегії під час організації перевезень навалювальних вантажів в системі «автомобіль-дорога»

На наступному етапі обробки експериментальних даних для формування матриці вибору стратегії з організації перевезень навалювальних вантажів в системі «автомобіль-дорога» застосовувався метод кореляційного аналізу. Визначалася щільність кореляційних зв'язків, оцінювалася за значенням парної кореляції r [7].

Параметри рівнянь обчислюються рішенням систем нормальних рівнянь:

$$\begin{cases} na_0 + a_1 \sum x + a_2 \sum x^2 = \sum y \\ a_0 \sum x + a_1 \sum x^2 + a_2 \sum x^3 = \sum xy \\ a_0 \sum x^2 + a_1 \sum x^3 + a_2 \sum x^4 = \sum xy^2 \end{cases} \quad (3.8)$$

Щільність кореляційних зв'язків за умови лінійної залежності розраховують лінійним коефіцієнтом кореляції з рівняння:

$$r = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{(\sqrt{n \sum x^2 - (\sum x)^2}) \cdot (\sqrt{n \sum y^2 - (\sum y)^2})} \quad (3.9)$$

У разі криволінійного зв'язку кореляційних зв'язків визначається за допомогою теоретичного кореляційного відношення з рівняння:

$$\eta = \sqrt{1 - \frac{\sum (y - y_x)^2}{\sum (y - y_{cp})^2}} \quad (3.10)$$

Значення щільності кореляційних зв'язків може змінюватися від одиниці, за умови коли є повний функціональний зв'язок, до нуля, коли зв'язок відсутній.

Оцінка значущості кореляційних зв'язків здійснювалася за критерієм Стюдента (t). Зв'язок вважається значущим, якщо виконується умова:

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} = t_{\text{табл}(n-k-1;p)}, \quad (3.11)$$

де $t_{\text{табл}}(n-k-1;p)$ – відсоткові точки розподілу Стюдента.

Відповідно до представленого алгоритму виконувалась оцінка показників, які входять в матрицю вибору стратегії з організації перевезень навалювальних вантажів в системі «автомобіль-дорога»: продуктивності роботи автомо-

біля, собівартості перевезень з урахуванням зупинок руху в пунктах вагового контролю та затрати на відновлення пошкодження дорожнього покриття заподіяного великовантажними автомобілями.

За встановлений календарний період визначаємо продуктивність роботи автомобіля в тонах за формулою:

$$U = A_{\text{сп}} D_{\text{и}} \alpha_{\text{в}} \frac{T_{\text{н}} \beta V_{\text{т}} \gamma q}{l_{\text{ег}} + t_{\text{п-р}} \beta V_{\text{т}}}, \quad (3.12)$$

Визначено питомий показник для формування матриці ефективності за критерієм продуктивності роботи автомобіля,:

$$u = \frac{U}{L}, \text{ т/км} \quad (3.13)$$

де L – пробіг транспортного засобу за календарний період.

Графік залежності зміни продуктивності досліджуваного автомобіля під час перевезеннях сипучих вантажів відповідно до початкових даних роботи транспортних засобів на лінії залежно від зміни коефіцієнта використання вантажопідйомності представлений на рис. 3.6.

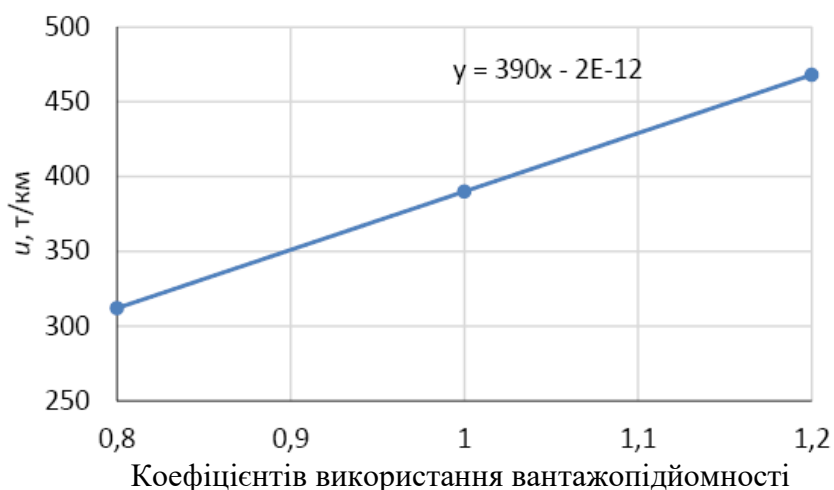


Рисунок 3.6 Графік залежності зміни продуктивності досліджуваного автомобіля залежно від зміни коефіцієнта використання вантажопідйомності

В матриці ефективності за критерієм продуктивності роботи автомобіля, вектор-стовпець має наступний вигляд:

(3.14)

Статті витрат, пов'язаних з процесом транспортування вантажів, відображено у вигляді табл. 3.4.

Таблиця 3.4 Витрати процесу перевезення навальних вантажів на досліджуваному маршруті

Стаття витрат	Порядок розрахунку
Заробітна платня водіїв з нарахуваннями	$C_{зп} = K_{вз} \cdot [\text{оплата за годину відпрацьованого часу}]$, де $K_{вз}$ – коефіцієнт, що враховує внески до фондів і страхування від нещасних випадків
Витрати на паливо	$C_{пал} = K_{вг} (H_{л1} \cdot L_{год}) / 100$ Ц, де $K_{вг}$ – коефіцієнт середніх витрат палива, $H_{л1}$ – л/100 км пробігу, л; Ц – вартість палива, грн.
Витрати на змащувальні та інші експлуатаційні матеріали	Приймаються в % від статті витрат на паливо ($C_{пал}$)
Витрати на придбання і ремонт шин	$C_{ш} = H_{ш} / 1000 \cdot n \cdot L_{год}$, де $H_{ш}$ – норма витрат на шини, грн./1000км; n – кількість шин на колесах а/м, од.
Витрати на сервісне обслуговування автомобіля	$C_{то і р} = (H_{то} \cdot L_{год}) / 1000$, де $H_{то}$ – питомі витрати на ТО і Р, грн./1000 км
Витрати на амортизаційні відрахування (АМ)	$C_{ам} = [(C_б \cdot H_в) / (1000 \cdot 100)] \cdot L_{год}$, де $C_б$ – початкова вартість автомобіля, грн.; $H_в$ – норма АМ, %
Витрати, пов'язані із зупинками автомобіля на маршруті для проведення процедур, пов'язаних з ваговим контролем	Визначається за методикою представленою в пункті 2.2. кваліфікаційної роботи
Накладні витрати	Прийняті у розмірі 50% від статті по заробітній платні

Собівартість одного км перевезеного вантажу визначається з рівняння формулі:

$$S_{1 \text{ км}} = \frac{C_{\text{экспл}}}{L_{\text{год}}}. \quad (3.15)$$

Графік залежності зміни собівартості одного км перевезеного сипучого вантажу відповідно до початкових даних роботи автомобілів на досліджуваному маршруті залежно від зміни коефіцієнта використання вантажопідйомності представлений на рис 3.7.

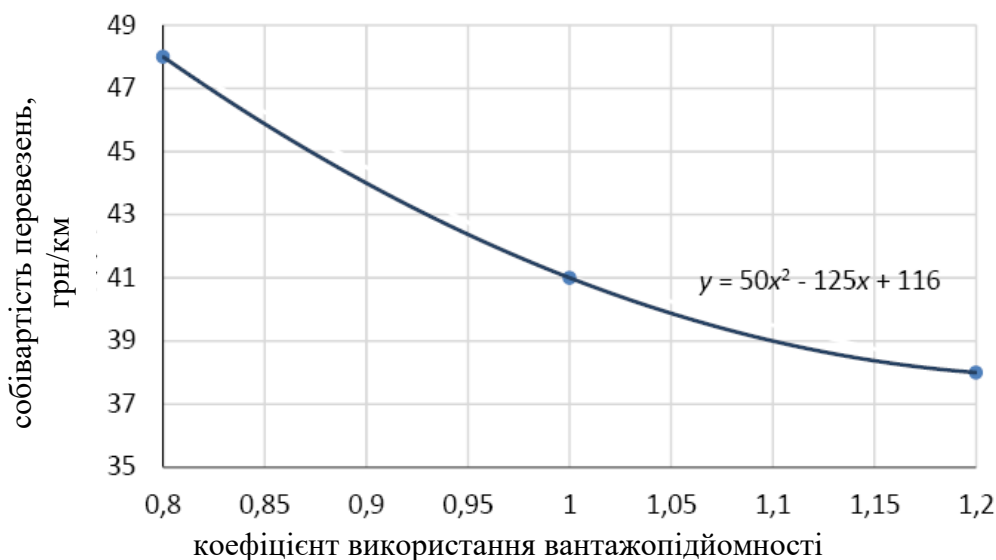


Рисунок 3.7 – Графік залежності зміни собівартості одного км перевезеного сипучого вантажу першої категорії залежності від зміни коефіцієнта використання вантажопідйомності

Затрати на відновлення заподіяної шкоди дорожньому покриттю від автомобілів під час перевезенні навалювальних вантажів, на досліджуваному маршруті розраховується відповідно до методики, приведеної в п.2.2. розраховуємо за формулою:

$$I_{pj} = K_c \cdot \Delta N_p \left[\frac{42,857 \cdot a \cdot (e^{b_{\text{Етр}}} - e^{b_{\text{Еф}}}) \cdot Z_d \cdot X_d \cdot B_{\text{ш}} \cdot K_T \cdot K_{\text{инф}} \cdot K_{\text{уд}} \cdot \alpha_j}{(1 + E_{\text{НП}})^{T_{\text{ф}}}} + C_{\text{п}} \cdot \alpha_{cj} \right], \quad (3.16)$$

де

$$\Delta N_p = \frac{QK}{Dq_{\text{ср}} \beta \gamma},$$

Q – вантажонапруженість перегону, т;

K – коефіцієнт, що враховує у складі потоку автомобілі, які не перевозять вантажі, 1,15...1,25;

D – число днів в році;

$q_{\text{ср}}$ – середня вантажопідйомність автомобілів, т;

β – коефіцієнт використання пробігу;

γ – коефіцієнт використання вантажопідйомності;

Графік залежності зміни затрати на відновлення заподіяної шкоди дорожньому покриттю в процесі перевезення навалювальних вантажів відповідно до початкових даних роботи автомобілів на маршруті залежно від зміни коефіцієнта використання вантажопідйомності представлений на рис 3.8.

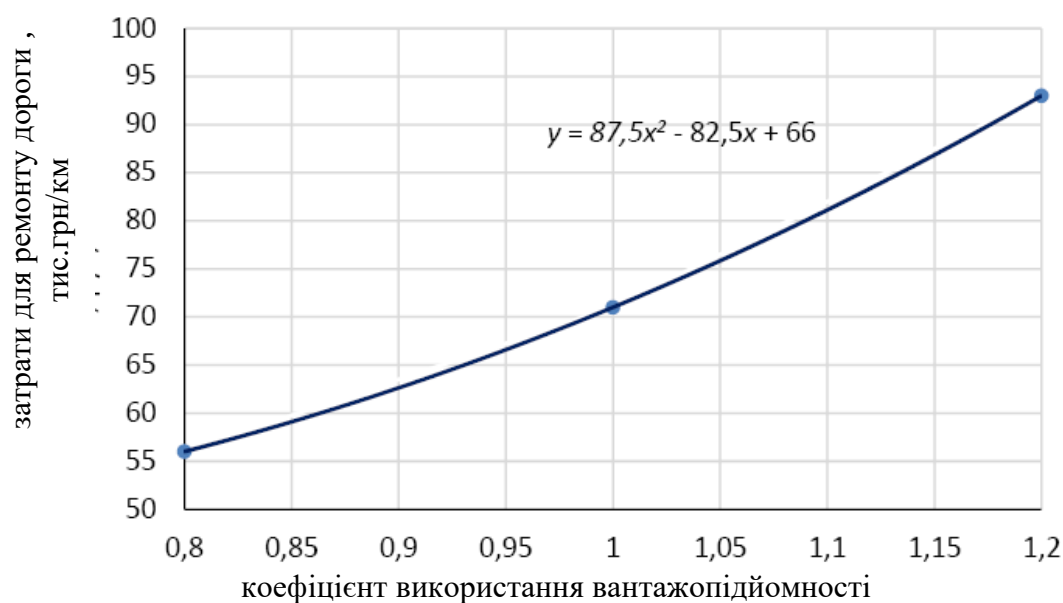


Рисунок 3.8 – Графік залежності зміни затрат для ремонту дороги залежно від зміни коефіцієнта використання вантажопідйомності

В нашому випадку вектор-стовпець матриці ефективності за критерієм собівартість перевезень матиме вигляд:

$$A = \begin{pmatrix} 93 \\ 71 \\ 56 \end{pmatrix}. \quad (3.17)$$

Тоді матрицю можливих ефективних рішень запишемо у вигляді:

$$A = \begin{pmatrix} 468 & 38 & 93 \\ 390 & 41 & 71 \\ 312 & 48 & 56 \end{pmatrix}. \quad (3.18)$$

Для визначення стратегії експлуатації великовантажних автомобілів за трьома встановленими критеріями ефективності необхідно знайти рішення наступної задачі:

$$\begin{cases} K_1 = 468x_1 + 390x_2 + 312x_3 \rightarrow \max \\ K_2 = 38x_1 + 41x_2 + 48x_3 \rightarrow \min \\ K_3 = 93x_1 + 71x_2 + 56x_3 \rightarrow \min \end{cases} \quad (3.19)$$

За умови обмеження:

$$x_1 + x_2 + x_3 = 1, \quad x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0. \quad (3.20)$$

В рамках поставленої задачі визначено методи районування, що дозволяють отримати Парето-оптимальні рішення про доцільність застосування з трьох можливих стратегій експлуатації великовантажних автомобілів на досліджуваному маршруті.

Початковими даними для вирішення задачі багатокритеріальної оптимізації служить сформована матриця ефективності. Для вирішення даної задачі застосовано спеціалізоване програмне забезпечення. Алгоритм послідовності рішення представлений на рис 3.9.



Рисунок 3.9 Послідовність рішення оптимізаційної задачі з вибору можливих стратегій експлуатації великовантажних автомобілів

Висновки до розділу

В розділі описана сучасна методика отримання необхідного об'єму початкових даних для проведення експериментальних досліджень: визначені технічні характеристики рухомого складу, техніко-експлуатаційні показники роботи автомобілів на маршруті, характеристики вантажу.

Виконано аналіз і обробка статистичних та експериментальних даних: визначена вибіркова сукупність даних, як частина генеральної сукупності елементів, яка охоплюється експериментом, проведена перевірка нормальності розподілу значень коефіцієнта використання вантажопідйомності, визначені середнє арифметичне, середнє квадратичне «стандартне» відхилення, дисперсія.

За допомогою апарату кореляційного аналізу встановлено статистичні зв'язки експериментальних даних та побудовано графіки: залежності зміни продуктивності автомобіля під час перевезення навалювальних вантажів відповідно до початкових даних роботи транспортного засобу на маршруті; залежності зміни собівартості одного км перевезеного вантажу; залежності зміни збитку, заподіюваного автомобілем дорожньому покриттю під час перевезення навалювальних вантажів залежно від зміни коефіцієнта використання вантажопідйомності.

Сформована матриця ефективних рішень за різних значень коефіцієнта використання вантажопідйомності залежно від стану середовища експлуатації в системі «автомобіль-середовище», необхідна для оцінки показників роботи великовантажних автомобілів, з врахуванням затрат на відновлення пошкоджень дорожнього полотна.

4 АПРОБАЦІЯ МЕТОДИКИ БАГАТОКРИТЕРІЙНОЇ ОЦІНКИ ПОКАЗНИКІВ ВИКОРИСТОВУВАННЯ ВЕЛИКОВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ

4.1. Алгоритм рішення задачі з оптимізації стратегії експлуатації великовантажних автомобілів

Для перевірки методики багатокритеріальної оцінки показників застосування великовантажних автомобілів під час перевезення навалювальних вантажів виконаємо дослідження з урахуванням всіх можливих стратегій експлуатації транспортних засобів в залежності від коефіцієнта використання вантажопідйомності автомобіля-самоскида Mercedes-Benz Actros 3336AK.

Виконані експериментальні дослідження дозволили сформулювати матрицю для знаходження можливих ефективних рішень:

$$A = \begin{pmatrix} 468 & 38 & 93 \\ 390 & 41 & 71 \\ 312 & 48 & 56 \end{pmatrix}. \quad (4.1)$$

Поставлене завдання вирішимо аналітично як задачу лінійного програмування за трьома критеріями ефективності та однією обмежувальною умовою:

$$\left. \begin{aligned} k_1 &= \sum_{j=1}^n a_{1j}x_j \rightarrow \max \\ k_2 &= \sum_{j=1}^n a_{2j}x_j \rightarrow \min \\ k_3 &= \sum_{j=1}^n a_{3j}x_j \rightarrow \min \\ \sum_{j=1}^n x_j &= N, x_j \geq 0, j = \overline{1, n} \end{aligned} \right\} \quad (4.2)$$

$$\left. \begin{aligned} k_1 &= 468x_1 + 390x_2 + 312x_3 \rightarrow \max \\ k_2 &= 38x_1 + 41x_2 + 48x_3 \rightarrow \min \\ k_3 &= 93x_1 + 71x_2 + 56x_3 \rightarrow \min \\ \sum_{j=1}^n x_j &= N, x_j \geq 0, j = \overline{1, n} \end{aligned} \right\} \quad (4.3)$$

Представимо показники у відносних одиницях, враховуючи який з них може прагнути до максимуму, а який до мінімуму:

$$\delta_{ij} = \begin{cases} \frac{a_{ij}}{\max_{1 \leq i \leq m} a_{ij}}, \\ \frac{\min_{1 \leq i \leq m} a_{ij}}{a_{ij}}, \end{cases} \quad (4.4)$$

$$A^* = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0,62 \\ 0,83 & 0,93 & 0,76 \\ 0,67 & 0,79 & 1 \end{pmatrix}.$$

Виконаємо нормування матриці A^* за стовпцями:

$$b_{ij} = \frac{\delta_{ij}}{\sum_{k=1}^n \delta_{ik}}, \quad (4.5)$$

$$A^H = \begin{pmatrix} 0,400 & 0,368 & 0,251 \\ 0,332 & 0,342 & 0,334 \\ 0,268 & 0,290 & 0,415 \end{pmatrix}. \quad (4.6)$$

Після виконання перетворень представимо задачу знаходження множини ефективних планів у вигляді умов:

$$\left. \begin{aligned} k_1 &= 0,4x_1 + 0,332x_2 + 0,268x_3 \rightarrow \max \\ k_2 &= 0,368x_1 + 0,342x_2 + 0,290x_3 \rightarrow \min \\ k_3 &= 0,251x_1 + 0,334x_2 + 0,415x_3 \rightarrow \min \\ \sum_{j=1}^n x_j &= 1, x_j \geq 0, j = \overline{1,3} \end{aligned} \right\} \quad (4.7)$$

Необхідні обчислення виконано із застосуванням програмного забезпечення для вирішення задачі векторної оптимізації.

Найкращі рішення за наступного розподілу вірогідності:

1) $P_1 > P_2 > P_3$	$D_1=0,4000; D_2=0,3370; D_3=0,3253;$	1
2) $P_1 > P_3 > P_2$	$D_1=0,4000; D_2=0,3347; D_3=0,3425;$	1
3) $P_2 > P_1 > P_3$	$D_1=0,3840; D_2=0,3410; D_3=0,3253;$	1
4) $P_2 > P_3 > P_1$	$D_1=0,3400; D_2=0,3410; D_3=0,3545;$	3
5) $P_3 > P_2 > P_1$	$D_1=0,3400; D_2=0,3355; D_3=0,4180;$	3
6) $P_3 > P_1 > P_2$	$D_1=0,3260; D_2=0,3347; D_3=0,4180;$	3

Кількість областей, які належать рішенням:

$$D_1=3 \quad D_2=0 \quad D_3=3$$

Графоаналітичне рішення даного прикладу представлено на рис 4.1.

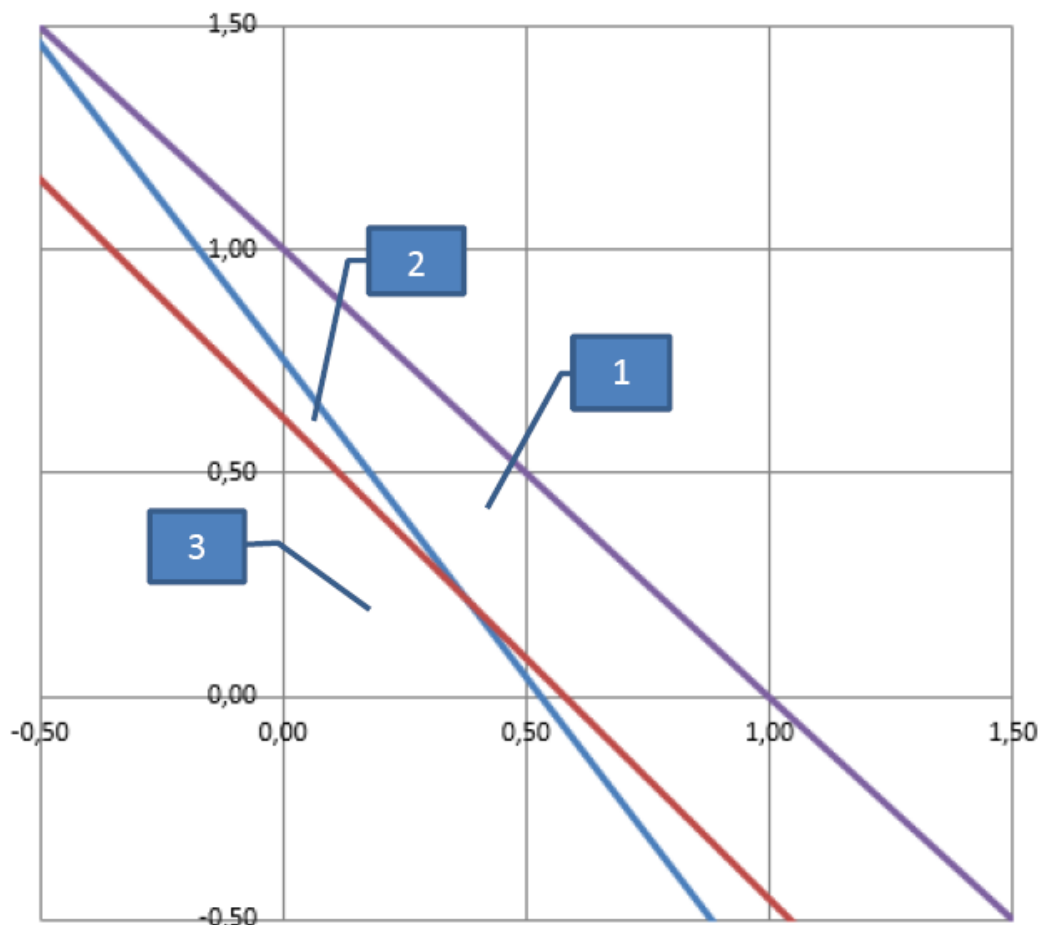


Рисунок 4.3 Графічне рішення знаходження безлічі ефективних планів методом районування

На основі отриманих рішень у вигляді областей розподілу ефективних рішень зробимо наступні висновки:

Область 1 відповідає умовам, коли автомобіль експлуатується відповідно до проектних технічних характеристик, які залежать від конструкції транспортного засобу. Коефіцієнт використання вантажомісткості під час перевезення навалювальних вантажів більший одиниці, але з перевищенням повної маси автомобілів та нормативних значень осьових навантажень. Даний випадок експлуатації автомобіля застосовується за умови безконтрольної організації перевезень навалювальних вантажів, прагнучи будь-якими способами підвищити продуктивність роботи транспортних засобів;

Область 2. Автомобіль експлуатується відповідно до проектних технічних характеристик, визначених конструкцією транспортного засобу та коефіцієнт використання вантажомісткості під час перевезення сипучих вантажів на-

ближається до одиниці, але з перевищенням повної маси автомобілів і нормативних осьових навантажень. Даний випадок експлуатації відповідає результатам, отриманим в процесі проведення експерименту на досліджуваному маршруті перевезень (м. Миколаїв, кар'єр – с. Солонка, житловий комплекс)

Область 3. Автомобіль експлуатується відповідно до нормативно-правових вимог збереження автомобільних доріг, але із зменшенням технічно допустимого конструкцією транспортного засобу коефіцієнта використання вантажомісткості.

(•) Критерій Лапласа з координатами (0.33, 0.33, 0.33) відповідає рівноімовірному стану системи «автомобіль-середовище» у випадку наявності трьох критеріїв ефективності $\left(\max_i \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{ij}\right)$. Перетин трьох областей можливих рішень в цій точці свідчить про високу аналітичну достовірність отриманих результатів.

Розподіл значень результатів розрахунку ефективності в кількісних оцінках за кожному варіанту експлуатації автомобіля- самоскида Mercedes-Benz Actros 3336AK під час перевезення сипучих вантажів визначається питомою вагою площ на рис.4.3 та представлено в табл. 4.1:

$$S_1 + S_2 + S_3 = 1, \quad (4.8)$$

де S_1 – площа області 1, коефіцієнт використання вантажомісткості > 1 ;

S_2 – площа області 2, коефіцієнт використання вантажомісткості ≈ 1 ;

S_3 – площа області 3, коефіцієнт використання вантажомісткості < 1 .

Таблиця 4.1 – Розподіл питомої ваги ефективності рішень

Варіант рішення	S_n	S_n
коэф. вик. вантажомісткості > 1	0,2132	0,4264
коэф. вик. вантажомісткості ≈ 1	0,0426	0,0852
коэф. вик. вантажомісткості < 1	0,2442	0,4884
Разом	0,5	1,0

Розрахунки показали, що експлуатація транспортних засобів за варіантом рішення №1 не відповідає вимогам, які забезпечують збереження автомобіль-

них доріг, розподіл областей ефективних значень коефіцієнту використання вантажомісткості визначається співвідношенням:

$$S_2 + S_3 = 1, \quad (4.9)$$

тоді розподіл питомої ваги ефективності рішень відображено в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Розподіл питомої ваги ефективності рішень

Варіант рішення	S_2	S_3	Висновок
коеф. викор. вантажомісткості ≈ 1	0,0426	0,1485	Застосований варіант за результатами експериментальних досліджень
коеф. викор. вантажомісткості < 1	0,2442	0,8515	Рекомендований варіант за наслідками теоретичних досліджень
Разом	0,2868	1,0	

4.2. Застосуванню методики багатокритеріальної оцінки коефіцієнта використання вантажопідйомності автомобілів

Результати теоретичних та експериментальних досліджень представлені у вигляді алгоритму методики багатокритеріальної оцінки коефіцієнта використання вантажомісткості великовантажних автомобілів-самоскидів.

Розрахуємо питомий показник – об'ємна вантажопідйомність кузова автомобіля-самоскида з виразу:

$$q_{уд} = \frac{q}{a \cdot b(h \pm h^*)}, \quad (4.10)$$

де h^* – відстань від верхнього краю борту платформи до допустимого рівня завантаження вантажу в кузов, м.

Визначимо показники вантажомісткості автомобіля за формулою:

$$\eta_v = \frac{q}{V_a \cdot \epsilon}, \quad (4.11)$$

де ϵ – відношення маси вантажу m до його об'єму V .

Розраховуємо можливий об'єм перевезеного вантажу за формулою:

$$V_r = V_p + V_{ш}, \quad (4.12)$$

де V_p – робочий об'єм кузова, м^3 ;

$V_{ш}$ – об'єм насипної поверхні вантажу, м^3 .

Визначаємо можливий коефіцієнта використання вантажомісткості автомобіля за рейс:

$$\gamma_B = \frac{V_r q_{уд} \eta_v}{q}. \quad (4.13)$$

Також розраховуємо номінальний коефіцієнта використання вантажомісткості автомобіля за рейс:

$$\gamma_o = \frac{V_r q_{уд}}{q}. \quad (4.14)$$

З урахуванням допустимої повної маси вантажу k_v , для досліджуваних дорожніх умов, визначаємо нормативний коефіцієнта використання вантажомісткості:

$$\gamma_n = \frac{V_r q_{уд} k_v}{q}. \quad (4.15)$$

Функцію питомої продуктивності транспортного засобу знайдемо з рівняння:

$$u_{уд} = A_{сп} D_{и} \alpha_v \frac{T_n \beta V_r \gamma q}{(l_{ег} + t_{п-р} \beta V_r) L} \begin{pmatrix} \gamma_B \\ \gamma_o \\ \gamma_n \end{pmatrix}. \quad (4.16)$$

Відповідно функцію питомої собівартість роботи автомобіля розраховано з рівняння:

$$S_{уд} = \left[\frac{\left(\frac{S_{пер}}{\beta} + \frac{S_{пост}}{V_r \beta} + \frac{S_{пост} t_{п-р}}{l_{ег}} \right)}{q L} \right] / \begin{pmatrix} \gamma_B \\ \gamma_o \\ \gamma_n \end{pmatrix}. \quad (4.17)$$

Вартість затрат на відновлення дорожнього покриття після транспортування будівельних матеріалів визначено з формули. грн/км:

$$I_{уд} = \frac{K_c \cdot \frac{QK}{dq_{cp} \beta L} \left[\frac{42,857 \cdot a \cdot (e^{bE_{тр}} - e^{bE_{\phi}}) \cdot Z_d \cdot X_d \cdot B_{ш} \cdot K_T \cdot K_{инф} \cdot K_{уд} \cdot \alpha_j}{(1+E_{НП})^T \phi} + C_{п} \cdot \alpha_{cj} \right]}{\begin{pmatrix} \gamma_B \\ \gamma_o \\ \gamma_H \end{pmatrix}}. \quad (4.18)$$

Для систематизованої оцінки показників використання великовантажних автомобілів сформуємо матрицю моделі визначення ефективності взаємодії в системі «автомобіль-середовище» під час перевезення навалювальних вантажів:

$$A = \begin{pmatrix} u_1 & s_1 & и_1 \\ u_2 & s_2 & и_2 \\ u_3 & s_3 & и_3 \end{pmatrix}. \quad (4.19)$$

Виконаємо розв'язок задачі з пошуку та оптимізації рішень в моделі систематизованої оцінки показників використання великовантажних автомобілів під час перевезення сипучих вантажів:

$$\begin{cases} K_1 = u_1 x_1 + u_2 x_2 + u_3 x_3 \rightarrow \max \\ K_2 = s_1 x_1 + s_2 x_2 + s_3 x_3 \rightarrow \min \\ K_3 = и_1 x_1 + и_2 x_2 + и_3 x_3 \rightarrow \min \end{cases} \quad (4.20)$$

з обмеженням, визначним кількістю критеріїв ефективності:

$$x_1 + x_2 + x_3 = 1, \quad x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0.$$

Визначимо стійкість областей домінування варіантів рішень (рис. 4.4) та виберемо оптимальне з системи рівнянь:

$$\gamma_{ci} = \gamma_{opt}, \text{ для } \begin{cases} k_1 f(x_1, x_2, x_3) \rightarrow \max \\ k_2 f(x_1, x_2, x_3) \rightarrow \min \\ k_3 f(x_1, x_2, x_3) \rightarrow \min \end{cases} \quad (4.21)$$

Ефективність функціонування системи «автомобіль-середовище», може визначатися великою кількістю критеріїв, крім розглянутих. Вибір критеріїв залежить від типу і класу транспортних засобів, виду вантажу, необхідних обмежень за терміном доставки і т. д. Представлена в магістерській роботі методика може бути застосована у багатьох випадках багатокритеріальної оцінки ефективності системи.

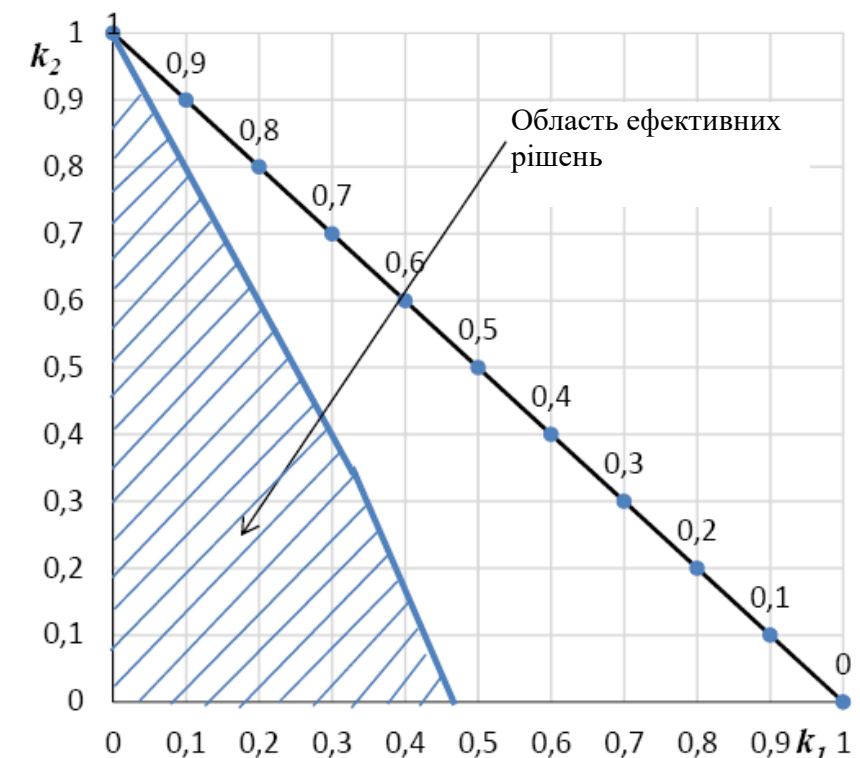


Рисунок 4.4 Область домінування ефективних рішень

Виходячи з об'ємів перевезень і з урахуванням тарифів визначимо доходи від перевезень з виразу:

$$D_{\text{пер}} = \frac{Q_{\text{пер}} \cdot T_{1\text{т}}}{1000}, \quad (4.22)$$

де $T_{1\text{т}}$ – тариф за одну тону перевезеного вантажу, грн./т.

Визначимо прибуток від перевезень навалювальних вантажів, щоб оцінити фінансовий результат застосування методики, з рівняння:

$$P_{\text{пер}} = D_{\text{пер}} - C_{\text{експл}}, \quad (4.23)$$

Для порівняння оцінюваних показників за окремими критеріями ефективності перевезень визначимо питоме значення прибутку від перевезень з виразу:

$$p_{\text{пер}} = \frac{P_{\text{пер}}}{L}, \quad (4.24)$$

де L – загальний пробіг автомобілів, тис. км.

Загальну оцінку економічної ефективності методики багатокритеріальної оцінки показників використання автомобілів виконаємо на основі вирішення

системи рівнянь зміни питомих показників залежно від зміни значення коефіцієнта використання вантажомісткості:

$$\begin{cases} p_{\text{пер}}f(\gamma_c) \rightarrow \max \\ s_{\text{пер}}f(\gamma_c) \rightarrow \min \\ и_{\text{пер}}f(\gamma_c) \rightarrow \min \end{cases} \quad (4.25)$$

$$\begin{cases} p_{\text{пер}} = 448,5(\gamma_c)^2 - 737,1\gamma_c + 327,6 \\ s_{\text{пер}} = 50(\gamma_c)^2 - 125\gamma_c + 116 \\ и_{\text{пер}} = 87,5(\gamma_c)^2 - 82,5\gamma_c + 66 \end{cases} \quad (4.26)$$

Вирішимо послідовно графоаналітичним методом (рис 4.4) систему рівнянь.

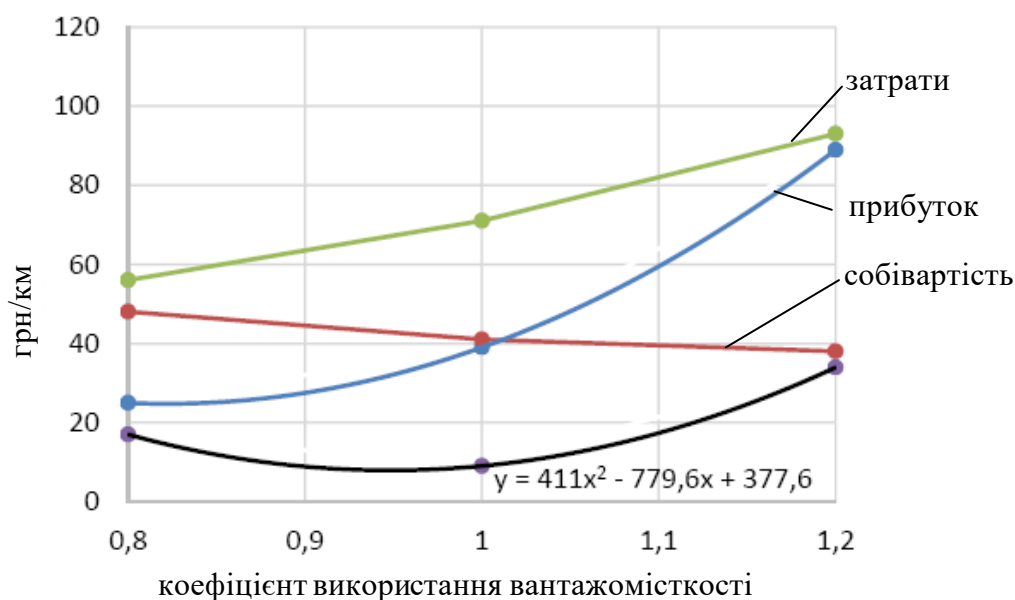


Рисунок 4.4 – Графіки зміни питомих економічних показників залежно від зміни коефіцієнта використання вантажомісткості

Для визначення мінімальних затрат в заданій системі потрібно дослідити функцію $r(\gamma_c)$ розрахувавши екстремум функції $\gamma_c = 0,93$:

$$r(\gamma_c) = 411\gamma_c^2 - 779,6\gamma_c + 377,6 \quad (4.27)$$

Здійснивши аналіз досліджуваної функції (рис 4.4), яка отримана на основі розробленої математичної моделі, зроблено висновки про режими експлуатації досліджуваних автомобілів в процесі транспортуван-

ня сипучих вантажів. Зокрема надано рекомендації про оптимальні значення коефіцієнта використання вантажомісткості, як для досліджуваного маршруту, так і для системи «автомобіль-дорога» в цілому:

1 – статистичні дані вказують на оцінене значення $\gamma = 1,1$;

2 – отримане значення коефіцієнта використання вантажомісткості в результаті застосування описаної методики становить $\gamma = 0,93$;

3 – за умови дотримання даних рекомендацій комплексний питоми показник економічної ефективності, який включає витрати на відшкодування затрат для відновлення дорожнього покриття і витрати пов'язані з підвищенням собівартості перевезень в результаті зменшення продуктивності роботи самоскидів, знизиться на 27 %: з 18 грн./км до 13 грн./км (для досліджуваного маршруту).

Висновки до розділу

На основі результатів вирішення сформульованої багатокритеріальної задачі оптимізації значення показників коефіцієнта використання вантажомісткості у вигляді областей розподілу ефективних рішень можна зробити наступні висновки:

Область 1 відповідає умовам, коли автомобіль експлуатується відповідно до проектних технічних характеристик, які залежать від конструкції транспортного засобу. Коефіцієнт використання вантажомісткості під час перевезення навалювальних вантажів більший одиниці, але з перевищенням повної маси автомобілів та нормативних значень осьових навантажень. Даний випадок експлуатації автомобіля застосовується за умови безконтрольної організації перевезень навалювальних вантажів, прагнучи будь-якими способами підвищити продуктивність роботи транспортних засобів;

Область 2. Автомобіль експлуатується відповідно до проектних технічних характеристик, визначених конструкцією транспортного засобу та коефіці-

єнт використання вантажомісткості під час перевезення сипучих вантажів наближається до одиниці, але з перевищенням повної маси автомобілів і нормативних осьових навантажень. Даний випадок експлуатації відповідає результатам, отриманим в процесі проведення експерименту на досліджуваному маршруті перевезень (м. Миколаїв, кар'єр – с. Солонка, житловий комплекс)

Область 3. Автомобіль експлуатується відповідно до нормативно-правових вимог збереження автомобільних доріг, але із зменшенням технічно допустимого конструкцією транспортного засобу коефіцієнта використання вантажомісткості.

Області 1 та 3 є домінуючими на відміну від 2 області, яка в дійсності застосовується під час дослідження роботи автомобілів. Значення області 1 зумовлюють експлуатацію великовагових автомобілів поза нормативно-правовим полем забезпечення збереження доріг.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАСЕЛЕННЯ У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5. 1. Основні завдання охорони праці

Турбота про створення в приватному акціонерному товаристві "Галичина Авто" здорових та безпечних умов праці, що запобігають виробничому травматизму та захворюванням, підвищення та продовження працездатності людей, їх творчий розвиток – це важлива загальнодержавна справа.

Без поліпшення санітарно-гігієнічних умов і техніки безпеки, підвищення культури виробництва, скорочення ручної, малокваліфікованої і важкої фізичної праці не можливе збільшення продуктивності праці кожного працівника та ефективності технічного сервісу в цілому.

Насичення аграрного виробництва енергетичними потужностями, швидкісними високопродуктивними машинами вимагає своєчасного виявлення потенційних небезпек на виробництві, попередження професійних захворювань працюючих, створення безпечних та здорових умов праці, що є невід’ємним елементом організації праці в будь-якому технологічному процесі сервісного обслуговування автомобілів та інших машин.

5. 2. Структура служби охорони праці у ПАТ "Галичина Авто"

Організація роботи з охорони праці у сфері технічного сервісу здійснюється згідно з “Положення про роботу з охорони праці і техніки безпеки на підприємствах, організаціях і установах системи міністерства розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства.

Дане положення передбачає, що вся відповідальність за стан охорони праці покладається на керівництво підприємства. У структурі керівництва підприємством передбачена посада інженера з охорони праці, в обов’язки якого

входить організація заходів направлених на забезпечення і поліпшення умов праці та контроль за термінами та якістю їх виконання.

По галузях виробництва, відповідальність за стан охорони праці несуть їх безпосередні керівники – головні спеціалісти (головний інженер, керівник відділення або майстерні).

У кожному підрозділі (сервісне обслуговування двигунів, ходової системи, кузова, електрообладнання тощо) відповідальними за дотриманням стану охорони праці є їх безпосередні керівники.

Загальна структура заходів з охорони праці передбачає виконання ряду профілактичних заходів:

- 1) вступний інструктаж проводиться інженером з охорони праці для всіх осіб, що приймаються на роботу незалежно від їх освіти, стажу роботи по даній професії чи посади;
- 2) первинний інструктаж на робочому місці проводиться головними спеціалістами з усіма прийнятими на роботу, переведеними з одного підрозділу в інший;
- 3) повторний інструктаж проводиться за програмою інструктажу на робочому місці безпосередніми керівниками підрозділів;
- 4) позаплановий інструктаж проводять безпосередні керівники робіт при зміні правил з охорони праці, зміні технологічного процесу, заміні або модернізації обладнання, пристроїв і інструменту та зміні інших факторів, які впливають на безпеку праці. Повторний інструктаж проводиться також при виявленні порушень працівниками правил техніки безпеки, які можуть призвести або призвели до травм, аварій чи пожежі;
- 5) поточний інструктаж проводиться керівниками робіт на робочому місці перед безпосереднім їх виконанням.

5. 3. Аналіз умов праці та травматизму

Згідно чинного законодавства, відповідальність за стан охорони праці у ПАТ "Галичина Авто" покладена на керівництво підприємства. У окремих галузях виробництва відповідальність за стан охорони праці несуть головні спеціалісти: головний інженер; інженер будівельник; керівники відділень.

Керівництво розробкою і проведенням всього комплексу організаційних і профілактичних заходів з охорони праці покладається на інженера з охорони праці і техніки безпеки. Він являється головним організатором робіт з охорони праці і зобов'язаний перевіряти в усіх виробничих підрозділах стан техніки безпеки, виробничої санітарії, організації протипожежної охорони та дотримання трудової дисципліни.

Заходи з питань охорони праці у підприємстві виконуються згідно діючого законодавства та угоди між профспілковим комітетом і керівництвом підприємства. До основних заходів направлених на створення безпечних умов праці у господарстві належать:

1. проведення навчання працівників господарства з правил техніки безпеки;
2. проведення інструктажів згідно з вище поданою структурою;
3. покращення умов праці та особистої гігієни працюючих.

В обов'язки інженер з техніки безпеки входить систематичний контроль виконання норм і правил, що запобігають виникненню виробничого травматизму, забезпечення здорових умов праці і усунення порушень правил техніки безпеки, проведення вступних інструктажів, контроль своєчасного та якісного проведення інструктажів на робочих місцях, організація навчання працівників та інженерно – технічного персоналу з техніки безпеки, правил надання першої медичної допомоги травмованим. В своїй діяльності інженер з техніки безпеки підпорядковується згідно чинного законодавства безпосередньому керівнику підприємства.

При профспілковому комітеті створена комісія з охорони праці. Вона разом з інженером з охорони праці займається розглядом виявлених порушень з техніки безпеки, виробничої санітарії і протипожежних заходів. Крім цього, дана комісія розробляє річний план роботи направленої на покращення умов праці і затверджує його на загальних зборах працівників господарства та контролює його виконання.

Незважаючи на значні фінансові труднощі підприємства, всі працівники, відповідно до встановлених норм, забезпечуються спецодягом. Працівники, які задіяні на роботах з шкідливими умовами, забезпечуються безплатним спецхарчуванням. Також, для них передбачений скорочений робочий день та додатковий термін відпустки.

Фінансування заходів з охорони праці та результати діяльності даної служби в продовж чотирьох останніх років подано в табл. 5.1 та 5.2.

Таблиця 5.1 Фінансування заходів з охорони праці у господарстві

Показник	Роки			
	2021	2022	2023	2024
Кількість працівників, чол.	29	26	29	30
Асигнування на охорону праці та протипожежні заходи, тис. грн.	32,9	39,6	42,0	45,4
В тому числі на одного працюючого, грн.	1134,4	1523,0	1448,2	1513,3
Витрати на придбання спецодягу, тис. грн.	10,3	14,7	16,9	19,0
Витрати на спецхарчування, тис. грн.	12,5	14,8	18,6	18,9
Витрати на протипожежні заходи, тис. грн.	8,8	9,2	6,3	6,3
Інші витрати, тис. грн	1,3	0,9	0,2	1,2

За результатами аналізу табл. 5.1 можна зробити ряд висновків:

- загальні асигнування на охорону праці та протипожежні заходи зросли на 27,9 %;
- збільшуються витрати на окремі складові, зокрема, на спецодяг (84,4 %), на спецхарчування (31,2 %);

- витрати на протипожежні заходи зменшились (28,4 %);
- витрати коштів на одного працюючого у 2022 році досягли нормативного значення.

Відмічаючи ріст загальних асигнувань на охорону праці та протипожежні заходи, слід відмітити, що вказане зростання не може свідчити про покращення забезпеченості заходів з охорони праці, а є результатом зростання цін на промислову продукцію та послуги сторонніх організацій.

Оцінка стану виробничого травматизму у господарстві здійснюється за допомогою статистичного методу. Даний метод застосовується для визначення кількісних показників, які характеризують загальний рівень виробничого травматизму. Для цього використовують відносні величини – показники (коефіцієнти) частоти, важкості і втрат (непрацездатності).

Показник частоти травм K_q характеризує кількість нещасних випадків, що припадає на 1000 працюючих за певний період, і визначається за формулою

$$K_q = 1000 \cdot \frac{T}{\Pi}. \quad (5.1)$$

Показник важкості травматизму K_m характеризує загальну важкість травм, що виникли протягом періоду, що аналізується. Він показує, скільки днів втрати працездатності в середньому припадає на одну травму, і визначається за формулою

$$K_m = \frac{D_n}{T}. \quad (5.2)$$

Показник K_n характеризує кількість днів втрати працездатності, що припадає на 1000 працюючих за період, що аналізується, і визначається за формулою

$$K_n = K_q \cdot K_m = 1000 \cdot \frac{D_n}{\Pi}. \quad (5.3)$$

Загальні матеріальні втрати Π_z від виробничого травматизму розраховуються за формулою

$$\Pi_z = 1,5 \cdot D_n \cdot Z_{cp}, \quad (5.4)$$

де T – загальна кількість травм, що виникла у господарстві за звітний період;

Π – середня кількість працюючих в господарстві за звітний період, чол.;

D_n – сумарна кількість днів тимчасової непрацездатності по всіх нещасних випадках, що враховані за звітний період;

Z_{cp} – середня заробітна плата потерпілих, грн;

1,5 – коефіцієнт, що враховує інші матеріальні втрати.

Розрахунок статистичних показників виробничого травматизму здійснено за формулами (5.1 - 5.4), а результати подано у табл. 5.2.

Таблиця 5.2. Статистичні показники травматизму

Показник	Роки			
	2021	2022	2023	2024
Кількість нещасних випадків	6	9	4	5
Сумарна кількість днів тимчасової непрацездатності	85	123	98	37
Показник частоти травматизму	31,74	51,14	23,67	27,78
Показник важкості травматизму	14,17	13,66	24,50	7,40
Показник втрат	449,73	698,86	579,88	205,55
Сумарні грошові втрати від виробничого травматизму, грн	14662,5	23247,0	21315,0	8824,5

З табл. 5.2 видно, що кількість нещасних випадків за останні роки у господарстві зменшилась. В основному, це пов'язано із зменшенням кількості працюючих та інтенсивності виробництва. Показник важкості травматизму зменшився майже у двічі – 14,17 до 7,40. Сумарні грошові втрати від виробничого травматизму, при їх рості у 2021 році на 58,5 %, у 2024 році зменшились на 39,8 % у порівнянні із 2023 роком.

5.4. Захист населення у надзвичайних ситуаціях

Одним із найважливіших завдань служби охорони праці є забезпечення захисту населення у випадку виникнення надзвичайних ситуацій. З метою захисту населення, зменшення матеріальних втрат у випадку виникнення надзви-

чайних ситуацій повинен проводитись комплекс заходів:

оповіщення та інформування, яке досягається утриманням в постійній готовності систем оповіщення, які переважно інформують про прогноз погоди;

евакуаційні заходи, які проводяться на території господарства та за його межами переважно під час виникнення пожеж;

обов'язки гасіння пожеж покладені на плечі добровільної пожежної дружини;

медичний захист проводиться для зменшення ступеня ураження людей, своєчасного надання допомоги потерпілим.

Працівники станції ТО отримали інструктаж з надання першої медичної допомоги під час ураження людини пожежею, електричним струмом чи удару блискавки.

Система попередження пожеж - це комплекс організаційних заходів і технічних засобів, спрямованих на запобігання виникненню та розвитку пожежі. Вона передбачає виявлення початкової стадії пожежі, своєчасну інформацію й, у разі необхідності, включення автоматичних систем пожежогасіння.

Як відомо, основною умовою горіння є наявність трьох чинників: горючої речовини, окислювача та джерела вогню. Для того щоб сталося горіння, горюча речовина, окислювач та джерело запалювання повинні мати певні критичні рівні (температуру, концентрацію, енергію).

Оскільки в умовах виробництва завжди є горючі речовини, а у повітрі - достатня кількість кисню, то для виникнення горіння бракує лише джерела займання.

До джерела запалювання належать відкрите полум'я, розжарені предмети, іскри від ударів та тертя, сонячна радіація та ін.

Горюча речовина з окислювачем утворює так зване горюче середовище, яке здатне горіти при наявності джерела запалювання. Тому заходи системи попередження пожежі спрямовані на дотримання безпечної поведінки з джерелом запалювання та запобігання утворенню горючого середовища.

Запобігання появі у горючому середовищі джерела запалювання можна

досягти дотриманням Правил пожежної безпеки, використанням електроустаткування, що відповідає за вимогам класу пожежовибухонебезпечних приміщень та зон, ліквідацією умов для самоспалахування речовин (матеріалів) тощо.

Запобігання утворенню горючого середовища досягається дотриманням наступних вимог: заміна, по можливості, у технологічних процесах горючих речовин (матеріалів) на негорючі; ізоляція горючого та вибухонебезпечного середовища; використання інгібіторних та флегматизаційних добавок; застосуванням в установках з горючими речовинами пристроїв захисту від пошкоджень та аварій; жорстким контролем за станом повітря в приміщеннях та якістю вентиляції тощо.

Система попередження пожеж також передбачає зниження пального навантаження в приміщеннях, проведення пожежотехнічних обстежень, використання знаків безпеки, своєчасне виявлення початкової стадії пожежі, передачу інформації про місце і час її виникнення й, у разі необхідності, включення автоматичних засобів пожежогасіння.

Установки автоматичної електричної пожежної сигналізації монтують на складах, базах та інших пожежовибухонебезпечних об'єктах. Основними складовими частинами цих установок є: сенсори (сповісники), що монтуються в будівлях або на території об'єктів і призначені для подання сигналу про пожежу; приймальні апарати (станції), що забезпечують приймання сигналів від датчиків, а також автоматичні системи пожежогасіння.

Датчики можуть бути тепловими, димовими, світловими. Принципи роботи їх будуються на дії тепла, продуктів згорання й ультрафіолетових променів.

Вибір пожежних сповіщувачів здійснюється в залежності від характеристики виробництва, технологічних процесів, приміщень.

При виборі димових датчиків не рекомендується використовувати такі, що працюють з радіо затоками, у приміщеннях з довготривалим перебуванням людей (лікарні).

Органами чуття також можна виявити початок горіння за такими показниками, як дим, його дія на очі та дихання, специфічний запах горючих речовин та газів, які утворюються при горінні (фосген, окис азоту, сірководень та ін.), світло, язика полум'я тощо.

Висновки за розділом

Аналіз стану охорони праці у ПАТ "Галичина Авто" дозволяє зробити ряд висновків:

1. в наслідок зростання інтенсивності виробничих та технологічних процесів зростає імовірність виникнення нещасних випадків;
2. найбільш небезпечними з точки зору виробничого травматизму є період ремонту і сервісного обслуговування автомобілів;
3. ріст продуктивності праці неможливий без проведення організаційних та технічних заходів направлених на покращення здорових та безпечних умов праці виконавців;
4. тенденція до зменшення виробничого травматизму у підприємстві на жаль обумовлені не покращенням умов праці, а, швидше за все, зменшенням інтенсивності виробництва та кількості працюючих;
5. незважаючи на зростання в продовж чотирьох останніх років грошових засобів, направлених на покращення умов праці та протипожежні заходи, враховуючи інфляційні процеси та ціновий дисбаланс на спецодяг, засоби гігієни і протипожежні засоби фінансування даної сфери можна вважати незадовільним.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Здійснюється експлуатація на дорогах великовантажних автомобілів з повною масою і осьовими навантаженнями, які відповідають номінальним показникам вантажопідйомності або вантажомісткості, але не відповідають нормам проектування і стану доріг.

На підставі аналізу роботи великовантажних автомобілів з перевезення сипучих вантажів встановлено, що за умови завантаження вище рівня бортів кузова, значення коефіцієнта використання об'єма кузова може бути більший одиниці (1.2...1,6). У відповідності з конструктивно зумовленими технічними характеристиками завантаження автомобіля навалювальним вантажем першого класу викликає перевищенню допустимих нормативних навантажень на вісь автомобіля. Для того, щоб уникнути нормативних порушень, необхідно скорочувати можливі об'єми перевезення вантажу, знижуючи коефіцієнт використання вантажопідйомності, що в свою чергу викликає зниження продуктивності роботи автомобіля і підвищення собівартості перевезень.

Представлена модель системи зв'язків і обмежень, призначена оптимізувати процеси експлуатації великовантажних автомобілів з врахуванням трьох можливих станів: 1 - автомобіль експлуатується відповідно до проектних технічних характеристик, які залежать від конструкції транспортного засобу. Коефіцієнт використання вантажомісткості під час перевезення навалювальних вантажів більший одиниці, але з перевищенням повної маси автомобілів та нормативних значень осьових навантажень; 2 - автомобіль експлуатується відповідно до проектних технічних характеристик, визначених конструкцією транспортного засобу та коефіцієнт використання вантажомісткості під час перевезення сипучих вантажів наближається до одиниці, але з перевищенням повної маси автомобілів і нормативних осьових навантажень; 3 - автомобіль експлуатується відповідно до нормативно-правових вимог збереження автомобільних доріг, але із зменшенням технічно допустимого конструкцією транспортного засобу коефіцієнта використання вантажомісткості.

За допомогою апарату кореляційного аналізу встановлені статистичні зв'язки експериментальних даних та побудовані: графік залежності зміни продуктивності автомобіля під час перевезення сипучих вантажів відповідно до початкових даних роботи транспортного засобу на лінії залежно від зміни коефіцієнта використання вантажомісткості; графік залежності собівартості 1 км перевезеного вантажу від зміни коефіцієнта використання вантажомісткості; графік залежності зміни затрат на відновлення дорожнього покриття від зміни коефіцієнта використання вантажомісткості.

Сформована матриця ефективних рішень з різними варіантами значення коефіцієнта використання вантажомісткості в залежності від середовища експлуатації в системі «автомобіль-середовище». Ця матриця необхідна для оцінки показників роботи великовантажних автомобілів, що диференціюється, під час перевезення навалювальних вантажів.

Таким чином, сформовано новий науковий підхід рішення проблеми експлуатації великовантажних автомобілів під час перевезення навалювальних вантажів в умовах нормативних обмежень дорожнього середовища. Застосовано багатокритеріальну систему оцінки диференційованих показників використання автомобіля, знижує сукупні витрати процесу перевезень вантажів і витрати на відновлення дорожнього покриття по якому здійснюється рух транспортних засобів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Форнальчик Є. Ю., Оліскевич М. С., Мاستикаш О. Л. Пельо Р. А. Технічна експлуатація та надійність автомобілів. "Афіша", 2014. 498 с.
2. Рудавський Ю. К., Костробій П. П. Збірник задач з теорії ймовірності. Навч. посібник. Львів: Вид-во НУ "Львівська політехніка", 2011. 244 с.
3. Наумчук О.М., Форнальчик Є. Ю. Технічні засоби управління на транспорті. Навч. посібник. Рівне-Львів: НУВГП, 2014. 188 с.
4. Поліщук В. П., Дзюба О. П. Теорія транспортного потоку: методи та моделі організації дорожнього руху. Київ: Знання України, 2018. 175 с.
5. Бакуліч О.О., Поліщук В. П. Організація та регулювання дорожнього руху. Київ: Знання України, 2022. 467 с.
6. Кунда Н. Т. Дослідження операцій у транспортних системах. Київ: Видавничий Дім "Слово", 2018. 400 с.
7. Кунда Н. Т., Куницька О. М. Методи наукових досліджень. Навч. посібник для студентів вищ. навч. закладів, які навчаються за напрямом "Трансп. технології". Київ: НТУ, 2017. 83 с.
8. Aksyonov, K. Multiagent genetic optimisation to solve the project scheduling problem. // Eighth International Multi- Conference on Computing in the Global Information Technology. Nice, France, 2013. P. 237–242.
9. Allen, J. BESTUFS. Good Practice Guide on Urban Freight Transport. Rijswijk, 2017. 82 p.
10. Antonova, G.M. Application of Pattern Recognition in Optimization-Simulation Technique / Pattern Recognition: Practices, Perspectives and Challenges; ed. Darrell B. Vincent. New York: Nova Science Publishers, Inc., 2013. P. 91-124.
11. Auer, A. History of Intelligent Transportation Systems // Report No. FHWA-JPO-16-329. McLean, VA, 2016. 56 p.
12. Building the ITI: putting the national architecture into action / prepared

for the Federal Highway Administration by Mitretek Systems. Washington, DC: U.S. Dept. of Transportation, 2016. 46 p.

13. Chong Y., Quek C., Loh P. A novel neuro-cognitive approach to modeling traffic control and flow based on fuzzy neural techniques // Expert Systems with Applications. 2009. Vol. 36(3 PART 1). P. 4788-4803.

14. Urbanik T., Humphreys D., Smith B., Levine S. Coordinated Freeway And Arterial Operations Handbook // Report No. FHWA-HRT-06-095. McLean, 2016. 152 p.

15. Intelligent transportation systems integration strategy / Puget Sound Regional Council. 2011. April. 37 p.

16. ITMS Operational Test of Advanced Traffic Management and Traveler Information Systems in the Twin Cities Metropolitan Area / Report. – St Paul: Minnesota Department of Transportation, 2012. 45 p.

17. ITS Action Plan for the Roads. Berlin: Federal Ministry of Transport, Building and Urban Development, 2012. 37 p.

18. Jacobson, L.N. Highway Traffic Operations and Freeway Management: State-of-the-Practice // Report No. HWA-OP-03-076. Seattle, WA, 2013. 44 p.

19. Large City Technical Exchange and Assistance Program / Final report. New York, NY: New York University Robert F. Wagner Graduate School of Public Service, 2010. 182 p.

20. Laval, J.A. A mechanism to describe the formation and propagation of stop- and-go waves in congested freeway traffic // Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. 2010. Vol. 368(1928). P. 4519-4541.

21. Ma, J. An Efficiency-Equity Solution to the Integrated Transportation Corridor Control Design Problem // Research Report UCD-ITS-RR-08-54. Davis: Institute of Transportation Studies, University of California, 2018. 213 p.

22. Subbotin B.S., Solntsev A.A., Lukin K.S. Modeling methods comparison of urban public transport movement for ITS // Systems of Signals

Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Conference Proceedings. 2021. Art. no. 9416032.

23. Ortuzar J.D., Willumsen L.G. Modelling Transport 4-rd ed. Chichester: John Willey & Sons Ltd, 2011. 606 p.

24. Subbotin, B.S., Ahmetzhanova, E.U. Research on the integration of intelligent transport systems // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 832(1). Art. no. 012057.

25. Xiao-Yun Lu., Donyan Su, Spring John. Coordination of Freeway Ramp Meters and Arterial Traffic Signals Field Operational Test (FOT) // Report number CA14-2223. Richmond, CA: California PATH Program, Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley, 2013. 129 p.