

Хаврук В.О.
Національний транспортний університет, Київ, Україна

МЕТОДОЛОГІЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ФАКТОРІВ ТА ЇХ ВПЛИВ НА РЕМОНТИ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

У роботі розглянуті експлуатаційні фактори, які впливають на технічний стан автотранспортних засобів: завантаженість, швидкість руху, якість дорожнього покриття, які в сукупності зведені до інтегрального показника, який враховується при визначенні кількості позапланових ремонтів. Для оцінки впливу експлуатаційних факторів на кількість позапланових ремонтів автотранспортних засобів розглянуті п'ять технічних категорій доріг із різним станом покриття. Наведені формули для визначення коефіцієнтів, які враховують дію сукупності експлуатаційних факторів на автотранспортний засіб. Представлені значення коефіцієнта коригування максимальної швидкості автотранспортних засобів для доріг технічних категорій в різних типах рельєфу місцевості. Знайдені залежності, що описують типологізуючу зміну однорідних перешкодоформуючих факторів, що входять в підмножину значимих факторів дорожніх умов при зміні коефіцієнта насиченості перешкодами. На основі аналізу показників швидкісних властивостей автотранспортних засобів на різних за рівнем насиченості перешкодами маршрутах охарактеризовано шість типів умов руху автомобілів. Для конкретного автотранспортного підприємства з автобусним парком визначені: коефіцієнт дорожніх умов, технічна швидкість і завантаженість. З'ясовані найбільш поширені причини відмов автотранспортних засобів на прикладі автобусів. Наведені формули для визначення: середньозваженого значення сумарного коефіцієнта опору руху для усіх поєднань дорожніх факторів; коефіцієнтів відносної величини режиму навантаження на дорозі і відносної частоти зміни режиму на дорозі; обсягу ремонтів з урахуванням інтегрального показника дорожніх умов.

Результати дослідження можуть бути використані автотранспортними підприємствами для визначення оптимальних міжремонтних пробігів, а також для визначення обсягів планових ремонтів кожного автотранспортного засобу, що в свою чергу дасть змогу зменшити втрати від простою і підвищити ефективність його використання в цілому.

Ключові слова: автотранспортне підприємство, автотранспортний засіб, дорога, кількісний інтегральний показник, технічна категорія доріг, фактор.

ВСТУП

При стабільності експлуатаційних факторів, що впливають на технічний стан автотранспортних засобів (АТЗ), вони можуть бути враховані за допомогою відповідних методик коригування пробігу між етапами технічного обслуговування [1–4].

Але в сучасних умовах необхідно враховувати, що замість постійних розрахункових навантажень на АТЗ діє розподіл навантажень з деякою ймовірністю. При експлуатації автотранспорту з неоднаковими навантаженням і умовами використання є істотний розкид параметрів кривої розподілу повного напрацювання. Оскільки така залежність є функцією як робочих якостей, так і умов експлуатації, підвищення ефективності від застосування методів оптимізації витрат на експлуатацію і ремонт АТЗ можливе тільки за рахунок контролю за зміною параметрів закону розподілу ймовірності відмови АТЗ.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Вплив експлуатаційних факторів, умов і режимів експлуатації на технічний стан автотранспортних засобів розглядали як науковці України: В. В. Біліченко, В. П. Волков, І. В. Грицук, О. М. Іванушко, В. П. Кужель, В. Д. Мигаль; так і зарубіжні дослідники, зокрема: Ялі Ванг, Криштоф Данілевський, Майкл Еммеріх, Стефен Лімер, Дук Ван Нгуєн, Маркус Олхофер, Пьотр Смуравский [1–6].

Більшість наукових робіт і досліджень, вище вказаних авторів, містять:

1) формалізовані моделі, які враховують лише декілька факторів, які впливають на технічний стан АТЗ, наприклад середньодобовий пробіг і середню технічну швидкість, або ж брався до уваги лише певний тип АТЗ, наприклад вантажні автомобілі і розглядався їх режим роботи на чітко визначених маршрутах, які в свою чергу характеризуються статичними параметрами (ухил, тип покриття);

2) загальну характеристику інформаційно-програмних комплексів контролю технічного стану АТЗ.

Зважаючи на це, виникає необхідність додатково розглянути та охарактеризувати умови експлуатації (експлуатаційні фактори), які впливають на технічний стан АТЗ, сформулювати методологію їх визначення і врахувати їх при визначенні кількості позапланових ремонтів АТЗ.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

У роботі передбачається розглянути та визначити такі експлуатаційні фактори, як: завантаженість, швидкість руху, якість дорожнього покриття; звести їх до інтегрального показника який врахувати для визначення обсягів ремонтів АТЗ.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

На режими роботи агрегатів АТЗ і їх напрацювання на відмову впливає швидкість руху АТЗ, яка у свою чергу визначається дорожніми факторами і умовами руху. За однорідністю потенційних властивостей і механізму дії дорожніх факторів на АТЗ їх доцільно об'єднати в 4 групи значимих дорожніх факторів: 1) технічна категорія дороги, 2) рельєф місцевості, 3) стан покриття дороги, 4) умови руху АТЗ.

Узагальненим вимірником 3-х груп факторів: технічна категорія дороги, рельєф місцевості, стан покриття дороги є коефіцієнт сумарного опору дороги.

Умови руху оцінюються за впливом на реалізацію досліджуваних властивостей ре-жимом руху АТЗ, насиченістю перешкодами маршруту і їх змінами за часом руху. В якості вимірника насиченості перешкодами і режиму руху АТЗ на маршрутах випробувань і експлуатації пропонується використати коефіцієнт насиченості перешкодами:

$$НП = \frac{V}{V_{II}}, \quad (1)$$

де: $НП$ – коефіцієнт насиченості перешкодами маршруту;

V – швидкість, що розвивається повністю завантаженим автомобілем без причепа на горизонтальній ділянці міжміської дороги першої технічної категорії з асфальтобетонним покриттям, км/год;

V_{II} – швидкість, що розвивається повністю завантаженим автомобілем без причепа на дорозі з асфальтобетонним покриттям з цією насиченістю перешкодами, км/год.

Таким чином, умови руху не мають загального вимірника з іншими виділеними групами значимих дорожніх факторів, є по відношенню до них деяким обмежувачем реалізації досліджуваних властивостей АТЗ і потребують окремого вивчення і оцінки при плануванні факторних експериментів.

Наступною операцією, спрямованою на зниження розмірності факторного простору є типологічний аналіз параметрів груп значимих факторів дорожніх умов. Кількість типів значимих факторів (груп факторів) має бути, мінімальним і задовольняти умові розрізнюваності типів. При збільшенні кількості типів підвищується однорідність їх станів і знижується внутрішньогрупова варіація вимірників потенційних властивостей, але знижується розрізнюваність типів при їх врахуванні, виникають складнощі при віднесенні конкретних умов до того або іншого типу, що не задовольнятиме умови однозначності. Надмірне зменшення кількості типів призведе до значної помилки при оцінці кожного типу середнім значенням вимірника.

При типізації необхідно враховувати об'єктивність типів дорожніх факторів, тобто наявність виділених типів по нормах проектування і будівництва автомобільних доріг, у зв'язку з методами, що склалися, і умовами врахування при різних випробуваннях і в експлуатації.

Будівельними нормами і правилами проектування автомобільних доріг, зокрема ДБН В.2.3-4:2015 передбачені п'ять технічних категорій доріг (ТКД). Доцільно прийняти ТКД як початкових типів дорожніх факторів, як: ширина проїжджої частини і узбіч, кількість смуг руху, вид покриття і інші геометричні і фізичні фактори дорожніх умов однозначно визначаються поняттям технічна категорія. В залежності від рельєфу місцевості, в якому проходить дорога тієї або іншої ТКД, змінюється складність її в плані і протяжність ділянок доріг з різними повздовжніми ухілами. Отже, потрібна така типізація рельєфу місцевості, яка дозволила б досить точно фіксувати вказані параметри в конкретних регіонах України. Цим умовам задовольняє типізація, що містить п'ять типів (рівнинний, слабогорбистий, горбистий, гористий, гірський).

Стан покриття дороги характеризується, мірою її рівності і наявністю опадів на дорозі (за погодною ознакою). Необхідно виділити чотири основні стани покриття доріг по рівності: рівне, маловибісте, середньовибісте, вибісте. Стан покриття доріг за погодною ознакою зручно

представляти трьома основними типами: сухе, мокре, покрите снігом, оскільки з урахуванням цих станів встановлені значення коефіцієнтів опору коченню для ряду видів покриттів доріг технічних категорій. Таким чином, вибрані типи груп значимих дорожніх факторів, представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Оцінка значимих дорожніх факторів за впливом на реалізацію досліджуваних властивостей автотранспортних засобів

Групи значимих факторів дорожніх умов	Типи факторів				
	I	II	III	IV	V
Технічна категорія дороги	I ТКД	II ТКД	III ТКД	IV ТКД	V ТКД
Рельєф місцевості	Рівнинний	Слабкогорбистий	Горбистий	Гористий	Гірський
Стан покриття:					
– по рівності	рівне	маловибієсне	середньовибієсне	вибієсне	–
– за погодною ознакою	сухе	мокре	покрите снігом	–	–

Наступним кроком на шляху зниження розмірності простору описів дорожніх умов випробувань і експлуатації АТЗ є систематизація параметрів груп значимих факторів, що типізуються. Виконуючи вказані вище вимоги до формування системних ланок характерних груп експлуатаційних факторів, є доцільним прийняти наступну схему системної ланки дорожніх факторів: технічна категорія дороги – рельєф місцевості – стан покриття за погодною ознакою – стан покриття за мірою рівності. Схема розташування типів дорожніх факторів складається з трьохсот ($5 \times 5 \times 3 \times 4 = 300$) системних ланок, для кожного з яких необхідно визначити значення вимірників потенційних властивостей.

Результати раніше виконаних досліджень показують, що величина коефіцієнта опору коченню залежить від міри рівності дорожнього покриття, але майже не змінюється в залежності від форми нерівностей і може оцінюватися величиною умовного ухилу i_y , сумірного з f :

$$i_y = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{L}, \quad (2)$$

де: i_y – величина умовного ухилу, %;

h_i – висота i -ї нерівності, одиниця довжини;

n – кількість нерівностей на довжині L .

За результатами виконаних досліджень визначені середні значення умовних нахилів: для маловибієстих покриттів $i_y = 8,75\%$, для середньовибієстих покриттів $i_y = 21,8\%$, для вибієстих покриттів $i_y = 44,0\%$.

Табличні значення коефіцієнтів опору коченню f_{Ti} для 6-ти ділянок дороги маршруту Тернопіль-Ужгород, розташованих в різних типах рельєфу місцевості, наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Вплив сумарної дії величини коефіцієнта опору коченню і міри рівності дорожнього покриття на швидкість руху автотранспортного засобу

Номер ділянки	f_{Ti}	$i_{yj} / 1000$	f_i	$V_{СЕР}$, км/год вантажних автомобілів і автобусів
1	0,015	0,0003	0,0153	54,3
2	0,015	0,0012	0,0162	54,8
3	0,020	0,0011	0,0211	48,4
4	0,030	0,0028	0,0328	43,3
5	0,039	0,0056	0,0446	28,1
6	0,033	0,0122	0,0452	28,1

Стає можливим визначити середню величину коефіцієнта опору коченню для усіх поєднань дорожніх факторів, що відповідають прийнятим системним ланкам, з урахуванням міри рівності покриття за формулою:

$$f_i = f_{Ti} + \frac{i_{yj}}{1000}, \quad (3)$$

де: f_{Ti} – табличне значення коефіцієнта опору коченню дороги, що відповідає L -ній системній ланці;

i_{yj} – величина умовного ухилу j -го типу міри рівності покриття, що відповідає i -й системній ланці.

Для перевірки формул (2) і (3) оброблені результати досліджень впливу рівності покриття дороги на маршруті Тернопіль-Ужгород на швидкість руху АТЗ, які представлені в табл. 2 і на рис. 1. Залежності $V_{CBP}(f_i)$ близькі до лінійних, що підтверджує справедливість формул і можливість оцінки рівності покриття доріг величиною умовного ухилу.

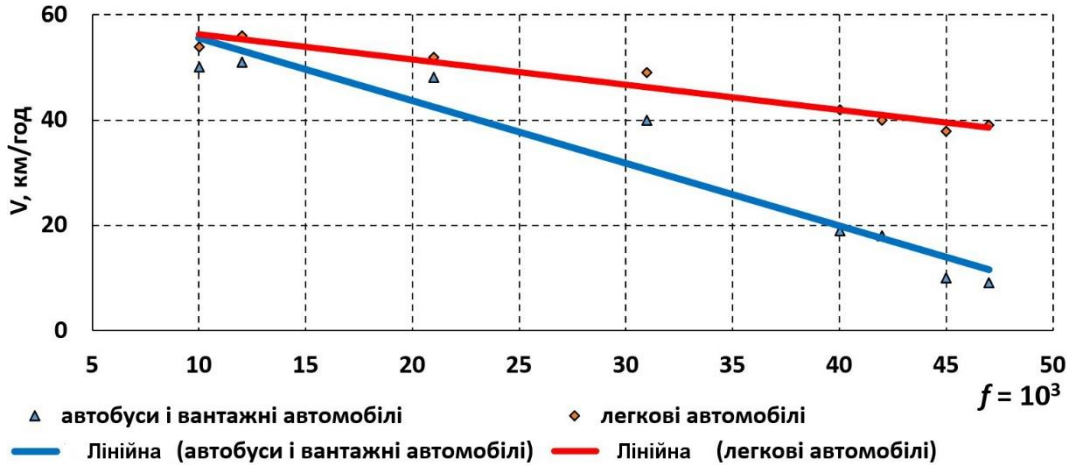


Рисунок 1 – Залежність середньої технічної швидкості руху АТЗ від сумарної величини коефіцієнта опору коченню і міри рівності дорожнього покриття

Оскільки був встановлений розподіл протяжності ділянок доріг по подовжніх ухилах в різних типах рельєфу місцевості, стало можливим визначити середньозважені значення сумарного коефіцієнта опору руху для усіх поєднань дорожніх факторів, що відповідають системним ланкам, за формулою [11]:

$$\psi_{CB} = \left[f_{i_0} + \sum_{i=i_n > 0}^{i=i_{\max n}} \left(f + \frac{i_n}{1000} \right) \cdot \frac{i_n}{2} + \sum_{i=i_c < 0}^{i=i_c = f_1} \left(f_1 + \frac{i_c}{1000} \right) \cdot \frac{l_c}{2} \right] / \left(l_0 + \sum_{i=i_n > 0}^{i=i_{\max n}} \frac{l_n}{2} + \sum_{i=i_c < 0}^{i=i_c = f_1} \frac{l_c}{2} \right), \quad (4)$$

де: f_1 – середнє значення коефіцієнта опору коченню дороги, що відповідає i -й системній ланці (визначається за формулою 3);

l_0 – протяжність горизонтальних ділянок (з нульовим ухилом) цієї дороги %;

l_n – протяжність ділянок з додатним ухилом дороги (підйомами), %;

l_c – протяжність з від'ємними ухилом дороги (спусками), величина яких за абсолютною величиною менша або дорівнює величині f_1 , %;

i_n – величина подовжнього підйому, %;

i_c – величина подовжнього спуску %;

i_{\max} – величина виняткового підйому, %.

В якості вимірника, що характеризує частоту і амплітуду зміни опору руху різних доріг, прийнята умовна частота зміни кутів подовжнього профілю (ухилів), величина якої визначається за формулою:

$$n_{ui} = f + \frac{i_{\max}}{1000}, \quad (5)$$

де i_{\max} – величина виняткового ухилу дороги, що відповідає i -й системній ланці, %;

f – визначається за формулою (3).

Пропорційна залежність дозволяє визначити коефіцієнти приведення вимірників потенційних властивостей доріг як відношення:

$$K_{\psi} = \frac{\psi_{cvi}}{\psi_{cвет}}; K_n = \frac{n_{ci}}{n_{cвет}}, \quad (6)$$

де: K_{ψ} – коефіцієнт відносної величини режиму навантаження на дорозі з i -м поєднанням факторів;

K_n – коефіцієнт відносної частоти зміни режиму на дорозі з i -м поєднанням факторів;

$\psi_{cвет}, n_{cвет}$ – еталонні значення вимірників (дорога першої технічної категорії, розташована в рівнинному типі рельєфу місцевості, має сухе і рівне покриття).

Чисельні значення K_{ψ} і K_n з погіршенням дорожніх умов збільшуються, а значення вихідних характеристик силових агрегатів відхиляються від оптимальних. Ефект взаємодії факторів у такому разі оцінюється добутком вимірників їх критеріїв, тому кількісний інтегральний показник (КІП) дорожніх умов K_{δ} – отриманий як добуток відповідних вимірників K_{in} і K_{oc} для кожного i -го поєднання дорожніх умов. Фрагмент систематизації і значень КІП дорожніх умов наведені в табл. 3.

Таблиця 3 – Фрагмент систематизації і значення КІП доріг технічних категорій

Технічна категорія доріг	Тип рельєфу	Стан покриття доріг				
		за погодною ознакою	рівнинний	мало-вибоїсний	середньо-вибоїсний	вибоїсний
III	Рівнинний	суха	2,148	3,209	5,031	8,720
		мокра	3,092	4,198	6,241	10,420
		покрита снігом	3,985	5,330	7,430	11,700
	Слабко-горбистий	суха	2,405	3,661	5,760	9,560
		мокра	3,740	4,835	6,510	11,190
		покрита снігом	4,560	6,090	8,250	12,730
	Горбистий	суха	3,255	4,290	6,830	11,320
		мокра	4,550	6,185	8,290	12,350
		покрита снігом	5,696	7,360	9,940	14,850
	Гористий	суха	4,096	8,100	8,440	13,400
		мокра	6,440	7,762	10,420	15,770
		покрита снігом	7,920	9,162	12,060	17,560
	Гірський	суха	5,650	6,762	9,460	14,600
		мокра	7,080	9,038	11,820	17,300
		покрита снігом	8,240	11,040	13,800	20,090

Повні, систематизації таблиці і значення інтегрального показника дорожніх умов наведені в роботі [11]. Значення КІП розглянутих доріг розроблені по єдиних принципах, Це забезпечує порівнянність результатів експериментальних досліджень в межах кожної з виділених груп дорожніх умов. У реальній експлуатації на реалізацію досліджуваних властивостей АТЗ істотний вплив можуть мати умови руху, які, як відзначалося вище, не мають загальних вимірників з іншими групами значимих дорожніх факторів. Тому для комплексної оцінки дорожніх умов необхідна розробка додаткового коефіцієнта приведення, що враховує умови руху АТЗ. Тоді формула визначення інтегрального показника дорожніх умов матиме вигляд:

$$K_{\delta} = \prod_{j=1}^m K_{npi} = K_{\psi} K_n K_{\Pi}, \quad (7)$$

де: K_{Π} – коефіцієнт, який враховує умови руху за наявними перешкодами на маршруті.

Таблиця 4 – Типізація умов руху автотранспортних засобів

Номер типу	Найменування типу
1	У великих містах (з населенням більше 100000 людей)
2	У малих містах і приміській зоні
3	За межами міст і приміської зони (міжміські дороги)

Розглянемо процес формування коефіцієнта приведення за умовами руху $K_{п}$. Для цього в першу чергу необхідно вирішити завдання типізації. Для кількісної оцінки умов руху застосовується коефіцієнт насиченості перешкодами формула (1). Типізація умов руху АТЗ наведена в табл. 4.

Ця типізація отримана на підставі аналізу реалізації параметра потоку відмов агрегатів і систем АТЗ в різних умовах руху. Але, запропонований вимірник умов руху може використовуватися тільки при русі АТЗ по дорогах вищих технічних категорій з рівним сухим асфальтобетонним покриттям в рівнинному типі рельєфу місцевості при нормальній метеорологічній видимості на маршруті.

Швидкість АТЗ, що лежить в основі розрахунку коефіцієнта насиченості перешкодами маршруту залежить від численних факторів зовнішнього середовища. Найбільше впливають на реалізацію швидкісних властивостей автомобілів значимі фактори дорожніх умов (тип покриття дороги, кількість смуг руху, ширина проїжджої частини, елементи плану і профілю дороги; тип рельєфу місцевості; міра рівності дорожнього покриття; стан покриття за погодною ознакою; умови руху АТЗ). Ваговий стан транспортного засобу і цілий ряд кліматичних факторів (зокрема, метеорологічна видимість) також істотно впливають на реалізацію швидкості руху автомобіля. При формуванні ж вимірника потенційних властивостей умов руху необхідно вибрати функціональну властивість АТЗ, що однозначно змінюється при зміні рівня насиченості перешкодами на маршруті руху (в якості перешкод необхідно розглядати елементи, що знаходяться на проїжджій частині або у безпосередній близькості від неї і які сприяють різкій зміні режимів роботи агрегатів і систем автомобілів, що рухаються, тобто це засоби регулювання руху, сусідні автомобілі, що рухаються, і пішоходи, перетини і примикання доріг і т.п.). Необхідно також врахувати і принцип однозначності врахування факторів зовнішнього середовища при комплексній оцінці умов експлуатації АТЗ. При оцінці умов руху неприпустимо використати зовнішні фактори, що знайшли своє відображення в коефіцієнтах приведення дорожніх умов K_{ψ} і K_n (технічна категорія дороги, види покриття проїжджої частини, типи рельєфу місцевості, стан покриттів за мірою рівності і погодною ознакою), в інтегральних показниках транспортних і кліматичних факторів (ваговий стан АТЗ, температура, тиск і вологість повітря). З урахуванням вище вказаних вимог до формування коефіцієнта насиченості перешкодами формула визначення вимірника потенційних властивостей умов руху автомобілів матиме вигляд:

$$P_i = \frac{V_{\max} \cdot \alpha_{np}}{V_i \cdot \omega_i}, \quad (8)$$

де: P_i – коефіцієнт насиченості перешкодами i -ї характерної ділянки маршруту руху;

V_{\max} – максимальна швидкість руху АТЗ з нормованим навантаженням на дорозі першої технічної категорії в рівнинному типі рельєфу місцевості при сухому, рівному покритті, км/год;

α_{np} – коефіцієнт коректування максимальної швидкості АТЗ для доріг технічних категорій в різних типах рельєфу місцевості, що враховує зменшення швидкості на дорогах із складним подовжнім профілем;

V_i – фактична швидкість руху АТЗ з нормованим навантаженням по i -й характерній ділянці маршруту, км/год;

ω_i – коефіцієнт приведення фактичної швидкості на i -й ділянці маршруту руху за станом покриття дороги за мірою рівності, погодній ознаці і метеорологічній видимості.

Коефіцієнт приведення фактичної швидкості ω_i враховує вплив міри рівності, стан покриття за погодною ознакою і метеорологічною видимістю на величину фактичної швидкості руху АТЗ. Значення ω_i необхідно приймати з умови переважаючої дії якого-небудь з трьох факторів:

$$V_{\max} = \max \{ \gamma_j^n \}; \quad j = 1, 2, 3, \quad (9)$$

де: γ_1^n – коефіцієнт приведення фактичної швидкості на характерній ділянці маршруту з конкретною рівністю дорожнього покриття до можливої швидкості на тій же ділянці маршруту з рівним покриттям дороги;

γ_2^n – коефіцієнт приведення фактичної швидкості на характерній ділянці маршруту в конкретному стані проїжджої частини за погодною ознакою (мокре покриття, накатаний сніг, ожеледь) до можливої швидкості на тій же ділянці маршруту з сухим покриттям дороги;

γ_3^n – коефіцієнт приведення фактичної швидкості на характерній ділянці маршруту з конкретною метеорологічною видимістю до можливої швидкості руху на тій же ділянці маршруту з нормальною метеорологічною видимістю (не менше 700 м).

Оцінка коефіцієнта приведення γ_j^n визначається за формулою:

$$\gamma_j^n = V / V_j, \quad (10)$$

де: V – можлива швидкість руху на характерній ділянці маршруту при прийнятому початковому рівні факторів дорожніх і кліматичних умов (покриття дороги рівне, сухе, нормальна метеорологічна видимість), що враховуються, км/год;

V_j – фактична швидкість руху АТЗ на тій же ділянці маршруту при конкретному рівні j -го фактора, км/год.

При визначенні V_{\max} у формулі (8) необхідно врахувати, як технічні можливості автомобіля в цілому, так і обмеження швидкісного режиму транспортних засобів на автодорогах загальної мережі в цілях безпеки руху.

Максимально допустима за умовами безпеки руху швидкість усіх типів АТЗ на автодорогах України регламентована «Правилами дорожнього руху». Швидкісні можливості автомобільних конструкцій відбиті в технічних характеристиках конкретних моделей або встановлюються серед основних параметрів типорозмірних рядів базових моделей АТЗ по кожному класу. При оцінці рівня п насиченості перешкодами маршруту руху в якості максимальної швидкості АТЗ вибирається менше значення з поєднання максимальної конструктивної і допустимої з умов безпеки швидкості руху автомобілів. Значення коефіцієнта коригування максимальної швидкості АТЗ для доріг технічних категорій в різних типах рельєфу місцевості α_{np} представлені в табл. 5.

Таблиця 5 – Значення коефіцієнта корегування α_{np} максимальної швидкості вантажних автомобілів, автопоїздів та всіх типів автотранспортних засобів при русі в межах населених пунктів для доріг технічних категорій в різних типах рельєфу місцевості

Технічна категорія доріг	Тип рельєфу місцевості				
	рівнинний	слабогорбистий	горбистий	гористий	гірський
вантажні автомобілі та автопоїзди					
I	1,00	1,00	1,00	–	–
II	1,00	1,00	1,00	0,98	0,93
III	1,00	1,00	0,92	0,88	0,82
IV	0,92	0,86	0,79	0,72	0,64
V	0,68	0,64	0,59	0,54	0,48
всі типи автотранспортних засобів при русі в межах населених пунктів					
I	1,00	1,00	1,00	–	–
II	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
III	1,00	1,00	0,99	0,94	0,88
IV	0,98	0,92	0,85	0,77	0,69
V	0,75	0,71	0,66	0,59	0,52

Коригуючий коефіцієнт α_{np} враховує зміну можливої максимальної швидкості руху АТЗ на дорогах різної складності подовжнього профілю, вид покриття і параметри проектування яких відповідають тій або іншій технічній категорії. Складність в плані (звивистість дороги) є фактором насиченості перешкодами, що впливає на фактичну швидкість руху АТЗ V_i у формулі (8).

Таблиця 6 – Значення коефіцієнта приведення фактичної швидкості АТЗ в залежності від ступеня рівності дорожнього покриття

Тип стану дороги за ступенем рівності покриття	рівнинний	маловибістий	середньовибістий	вибістий	рівнинний
γ_1^n	1,00	1,37	1,73	2,10	1,00

Таблиця 7 – Значення коефіцієнта приведення фактичної швидкості γ_2^n автобусів, вантажних автомобілів і автопоїздів в залежності від виду покриття дороги і її стану за погодною ознакою

Вид покриття дороги	Стан покриття за погодною ознакою			
	сухе	мокре	снігове накатане	ожеледь
Дрібнозернистий асфальтобетон	1,00	1,09	1,16	1,25
Чорне шосе (дегтебетон)	1,00	1,03	1,07	1,10
Ґрунт профільований	1,00	1,35	1,05	1,25

Таблиця 8 – Значення коефіцієнта приведення фактичної швидкості γ_3^n автобусів, вантажних автомобілів і автопоїздів в залежності від метеорологічної видимості

Метеорологічна видимість, м	100	200	300	400	500	600	700
γ_3^n	1,16	1,12	1,08	1,05	1,02	1,01	1,00

Значення коефіцієнтів приведення γ_1^n фактичної швидкості АТЗ за мірою рівності дорожнього покриття, станом дорожніх покриттів за погодною ознакою і метеорологічною видимістю наведені в табл. 6–8.

Таким чином, коефіцієнт насиченості перешкодами Π_i , характерної ділянки маршруту руху АТЗ є загальним вимірником умов руху і відображає їх вплив на реалізацію експлуатаційних умов автотранспортних засобів. Наведені дослідження дозволили встановити область зміни коефіцієнта насиченості перешкодами: $1 \leq \Pi_i \leq 3,1$. Менші значення Π_i відповідають ділянкам руху з меншою насиченістю перешкодами.

Аналіз досліджень реалізації показників функціональних техніко-економічних властивостей АТЗ [5–11] показників режимів роботи агрегатів автомобілів [3] і деяких властивостей надійності АТЗ [2] в різних умовах руху показав, що рекомендоване число типів у багатьох випадках недостатньо для забезпечення необхідної точності оцінки реалізації досліджуваних властивостей в межах кожного з трьох встановлених типів. Зокрема, рівень нестаціонарної режимів роботи агрегатів моторно-трансмісійної установки автомобілів в умовах високої насиченості перешкодами при інтенсивному міському русі збільшується в 3–8 разів. Це зумовлює відхилення досліджуваних реалізацій на межах типів відносно їх середини (помилку в типах) в межах 30–70%, що неприпустимо при нормуванні відповідних показників експлуатаційних властивостей АТЗ при експлуатації автомобілів.

Таким чином, виникає необхідність оптимізації існуючих типів умов руху АТЗ. Завданням, що вимагає першочергового рішення при цьому є формування типологізуючої змінної T_{Π} однорідних перешкодоформуючих факторів, що входять в підмножину значимих факторів дорожніх умов. При формуванні типологізуючої змінної умов руху АТЗ необхідно проаналізувати залежності основних експлуатаційних властивостей і вихідних характеристик агрегатів системи силового приводу АТЗ, відмічених вище в якості узагальнюючих закономірностей від рівня насиченості перешкодами маршруту руху. Для зіставлення характеру протікання залежностей $y(\Pi_i)$ їх необхідно нормалізувати за формулою:

$$Y_s = y_s / y_{S_{\text{св}}} \quad (11)$$

З метою переходу до аналітичного методу формування T_{Π} усі нормалізовані узагальнюючі закономірності і їх похідні апроксимуються поліноміальними моделями виду:

$$Y_s = a_0 + a_1 \Pi_i + a_2 \Pi_i^2, \quad \frac{dY_s}{d\Pi} = b_0 + b_1 \Pi_i, \quad (12)$$

де: $b_0 = a_1$; $b_1 = 2a_2$.

Досліджувані нормалізовані закономірності і їх похідні підлягають апроксимації поліноміальними моделями (12).

Аналіз залежностей $|Y'_s(\Pi)|$ показав, що вся область визначення коефіцієнта насиченості перешкодами Π_i ділиться на два інтервали, в межах яких відповідно максимальні абсолютні величини похідних Y'_5 і Y'_3 . Координата межі інтервалів визначається розв'язком рівняння $|Y'_5| = |Y'_3|$ і відповідає значенню $\Pi_i = 1,84$.

Таким чином, ліва гілка типологізуючої змінної T_{Π} в інтервалі $1 \leq \Pi_i \leq 1,84$ описуватиметься аналітичною формулою $Y_5(\Pi_i)$, а права гілка в інтервалі $1,84 \leq \Pi_i \leq 3,10$ – формулою $(Y_3(\Pi_i) + \Delta a_0)$. Введення приросту Δa_0 дозволяє уникнути розриву типологізуючої змінної на границі інтервалів.

Величина цього приросту розраховується за формулою:

$$\Delta a_0 = Y_{\text{лів}} - Y_{\text{пр}}, \tag{12}$$

де: $Y_{\text{лів}}$, $Y_{\text{пр}}$ – значення закономірностей, що формують типологізуючу змінну на границі інтервалів.

В даному випадку величина $\Delta a_0 = 1,244$. Залежність типологізуючої змінної T_{Π} від коефіцієнта насиченості перешкодами маршруту руху АТЗ представлена на рис. 2.

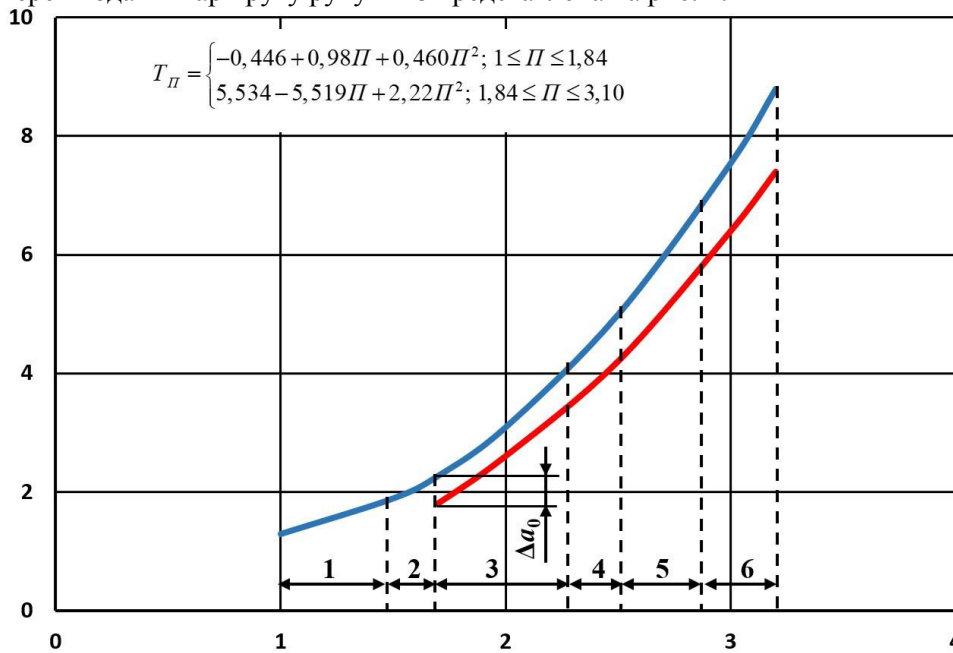


Рисунок 2 – Формування типів умов руху АТЗ: 1–6 – номери типів умов руху АТЗ

Аналіз формул (8) і (9) з позицій теорії похибок дозволив встановити граничне відносне відхилення оцінки вимірника умов руху Π_i : $\Delta\%_{\text{пр}} = 1,3\%$.

Відповідно до вимог, що пред'являються до міри компактності, і обмежень, що накладаються на неї, вирішується завдання визначення числа і меж типів умов руху АТЗ. Результати типізації представлені в табл. 9. Середина інтервалу варіювання коефіцієнта насиченості перешкодами для кожного i -го типу знаходиться за формулою:

$$T_{\Pi}(\Pi_{i\text{сеп}}) = \frac{T_{\Pi}(\Pi_{iZ\text{max}}) + T_{\Pi}(\Pi_{iZ\text{min}})}{2}, \tag{13}$$

Таблиця 9 – Типи умов руху автотранспортних засобів

Номер типу умов руху АТЗ	1	2	3	4	5	6
Інтервал варіювання коефіцієнта насиченості перешкодами в типі, Π_{iz}	1,00–1,46	1,46–1,86	1,86–2,20	2,20–2,52	2,52–2,82	2,82–3,10
Середина інтервалу варіювання коефіцієнта насиченості перешкодами в типі, $\Pi_{iz\text{сеп}}$	1,24	1,67	2,06	2,37	2,68	2,96
Коефіцієнт приведення за умовами руху, K_{Π}	1,00	1,41	2,03	3,19	4,71	6,40

Перевірка відповідності кількісних характеристик розробленій типізації введеним обмеженням показала позитивний результат для усіх типів умов руху АТЗ. Для формування масштабу міри шкали кількісного інтегрального показника дорожніх умов з урахуванням насиченості перешкодами маршрутів руху необхідно обчислити коефіцієнт приведення K_{II} у формулі (7). Значення цього коефіцієнта приведення, що відображає механізм дії перешкодоформуючих факторів на рівень реалізації досліджуваних властивостей АТЗ, обчислюються за формулою:

$$K_{IIz} = \left[T_{II} (P_{Izcep}) \right] / \left[T_{II} (P_{IzET}) \right], \quad (13)$$

де K_{IIz} – коефіцієнт приведення за умовами руху для z -го типу;

P_{Izcep} – середнє значення коефіцієнта насиченості перешкодами в 2-му типі;

P_{IzET} – еталонне значення коефіцієнта насиченості перешкодами, що відповідає маршруту руху по міжміській дорозі II ТКД в рівнинному типі рельєфу місцевості з інтенсивністю до 900 автомобілів в годину.

Чисельні значення K_{II} наведені в табл. 9. Аналіз результатів досліджень реалізації показників швидкісних властивостей АТЗ на різних за рівнем насиченості перешкодами маршрутах дозволив зіставити отриману типізацію з характерними умовами руху автомобілів:

1 тип – міжміські дороги I технічної категорії (ТКД); міжміські дороги II ТКД в рівнинному, слабогорбистому і горбистому типах рельєфу місцевості з інтенсивністю руху до 900 автомобілів в годину; автомобільні дороги III–IV ТКД, під'їзні дороги промислових підприємств і сільськогосподарські дороги Ic–IIIc категорій при добовій інтенсивності руху до 200 автомобілів;

2 тип – міжміські дороги II–IV ТКД в гористому і гірському типах рельєфу місцевості; автомобільні дороги, віднесені до першого типу (за винятком доріг I ТКД), у випадках інтенсивнішого руху;

3 тип – приміські дороги; селищні дороги і вулиці невеликих міст (до 100 тис. мешканців); у великих містах – дороги загальноміського значення безперервного руху інтенсивністю в одному напрямі до 3500 автомобілів в годину;

4 тип – у великих містах – дороги загальноміського значення безперервного руху інтенсивністю в одному напрямі більше 3500 автомобілів в годину, а також вулиці і дороги районного значення з інтенсивністю руху до 1000 автомобілів в годину;

5 тип – у великих містах – вулиці і дороги загальноміського призначення регульованого руху інтенсивністю до 2000 автомобілів в годину в одному напрямі;

6 тип – вулиці і дороги районного значення великих міст з інтенсивністю руху більше 1000 автомобілів в годину в одному напрямі; міські вулиці і дороги, віднесені до п'ятого типу у випадках більш високої інтенсивності руху.

Для умов АТП 16128 (м. Тернопіль) коефіцієнт дорожніх умов $K_{II} = 4,71$ (табл. 9). Середня технічна швидкість визначається, як:

$$V_{TEX} = Nl / (Nt) = \left[\sum N_M \cdot l \right] / \left[\sum N_M \cdot t_X \right], \quad (14)$$

де: V_{TEX} – середня технічна швидкість;

N – кількість автобусів

$Nl = \sum N \cdot l_M$ – пробіг АТЗ;

$(Nt) = \sum N \cdot t_X$ – перебування в русі автобуса.

l_M – пробіг на маршруті.

Показник V_{TEX} є складовою показника графіку руху автобусів, розраховується за формулою (14) і фіксується диспетчерською службою на основі інструкції з визначення технічних, експлуатаційних, економічних і фінансових показників. Величина відображає середню швидкість АТЗ в розглядуваний період. Середня завантаженість автобуса визначається за формулою:

$$H_{ATZ} = Al / (Ml)_{ПАС} = Al / \left(\sum N \cdot l_M \right), \quad (15)$$

де H_{ATZ} – середня завантаженість;

Al – обсяг пасажироперевезень;

$(Ml)_{ПАС} = (\sum N \cdot l_M)$ – пробіг автобуса з пасажирами.

Середня завантаженість автобуса була скоректована, обсяг корекції складає перерахунок обсягу перевезень:

$$AI = AI_{CEP}^{ПАС}, \quad (16)$$

де: A – загальна чисельність перевезених пасажирів;

$l_{CEP}^{ПАС}$ – середня дальність поїздки пасажирів.

Показник, розрахований за (16), фіксується у формі матеріалів періодичної звітності Управлінням відділу економіки і організації праці на основі інструкції за визначенням технічних, експлуатаційних, економічних і фінансових показників АТП. Величина відображає середню вагу, що припадає на одиницю АТЗ (автобус). Величина $l_{CEP}^{ПАС}$ знаходиться на основі періодичного аналізу пасажиропотоків, який має уточнюватися раз в 2–3 роки. Аналіз $l_{CEP}^{ПАС}$ в АТП 16128 показав тенденцію до лінійного зростання коефіцієнта, близького до 1,22, що дає можливість виконати лінійний прогноз величини і розрахувати уточнене значення обсягу перевезень AI (формула 16).

Для отримання даних по завантаженості автобуса, використовуємо дані із значення середньої маси пасажирів $m_{nac.cep.} = 70$ кг. Тоді завантаженість автобуса розраховується за формулою:

$$M = N_{AT3} \cdot m_{nac.cep.}, \quad (17)$$

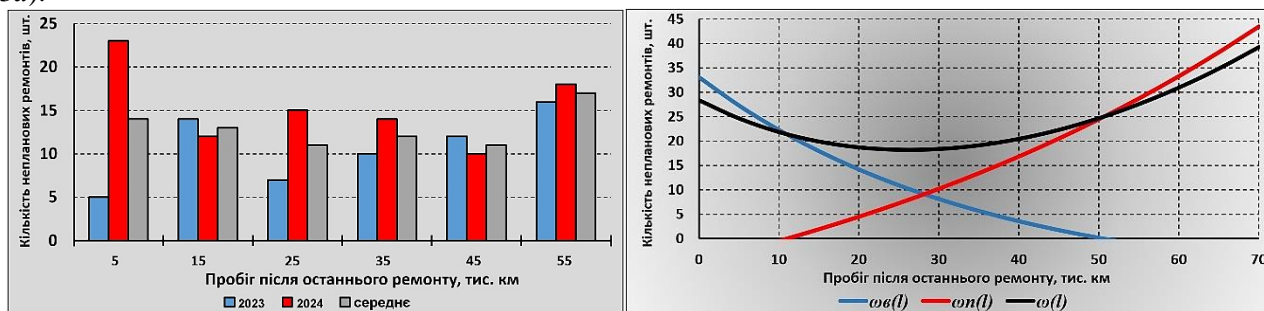
де M – усереднений рівень завантаженості автобуса.

Формула (17) дає можливість перейти від пасажирозавантаженості до показника рівня завантаженості автобуса. Проаналізовані показники за період з 2021 по 2024 рік включно є математичною основою опосередкованого контролю експлуатаційних характеристик. Незважаючи на те, що наявний опосередкований контроль експлуатаційних характеристик не є помашинним, проте, він дає можливість оцінити характер зміни умов експлуатації парку рухомого складу. Приведені величини з урахуванням виконаної корекції даних представлені в табл. 10.

Таблиця 10 – Значення основних експлуатаційних характеристик автотранспортних засобів

Рік	Коефіцієнт дорожніх умов	Технічна швидкість V_{TEX} , км/рік	Завантаженість АТЗ М, кг
2021	4,71	21,2	4874
2022	4,71	21,3	4857
2023	4,71	21,3	4717
2024	4,71	21,4	4708

Вибраний період спостережень дає можливість досліджувати зміну статистики відмов АТЗ згідно зі змінами умов експлуатації, а також визначити величину впливу інших факторів при слабкій зміні експлуатаційних характеристик. Видно, що умови експлуатації автобусів в 2021 і 2022 рр., 2023 і 2024 рр. схожі. Обираємо статистику відмов автобусів за період експлуатації 2023–2024 рр. (рис. 3а).



а – статистика відмов (непланових ремонтів)

б – теоретичні криві розподілу відмов

Рисунок 3 – Відмови автобусів в АТП 16128 (м. Тернопіль)

За результатами роботи АТП 16128 (м. Тернопіль), можемо побудувати загальну функцію розподілу відмов (рис. 3б).

Крива потоку відмов $\omega(l)$ являє собою розподіл ймовірності відмови АТЗ за період експлуатації:

$$\omega(l) = \omega_6(l) + \omega_n(l), \quad (18)$$

де: $\omega(l)$ – функція розподілу відмов за пробігом;

l – пробіг АТЗ;

$\omega_6(l)$ – функція розподілу випадкових відмов;

$\omega_n(l)$ – функція розподілу поступових відмов.

Виділимо відмови, що можливо віднести до випадкових та поступових, і за допомогою методу найменших квадратів, підберемо функції, які найточніше зможуть описати розподіл відмов у заданій проміжку напрацювання. Підбір кривої виконано за допомогою програми IBM SPSS Statistics. Найбільша достовірність, отримана для графіку за експоненціальним рівнянням:

$$y = c + \exp(b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_{12} + \dots), \quad (19)$$

де y – величина, що відбиває криву залежності;

c – вільний член;

b_0, b_1, b_2, \dots – вагові коефіцієнти;

x_1, x_2 – величини, залежність від яких ідентифікується.

Отримані рівняння кривих, побудованих за (19) для функцій розподілу випадкових і поступових відмов, мають вигляд:

$$\omega_6(l) = -9,9774 + e^{(3,76238 - 0,02887 \cdot l)}; \omega_n(l) = -32,464 + e^{(3,32326 + 0,014379 \cdot l)} \quad (20)$$

Скоректовані коефіцієнти детермінації R , отримані для рівнянь (20), відповідно становлять 0,84027 і 0,99886, що вказує на високу достовірність результатів. Графіки потоків відмов; рівняння (18) рівняння (20) зображені на рис. 3б. Отже, теоретичною основою для визначення технічного стану АТЗ (автобусів) повинна стати модель здатна видавати адекватні відомості про очікувану статистику відмов шляхом врахування впливу експлуатаційних характеристик АТЗ. Результатом застосування моделі має стати коригування термінів настання наступного етапу обслуговування або ремонту АТЗ. Оскільки в існуючій системі періоди між етапами технічного обслуговування є кратними, модель досить привести до періоду виконання ремонту певного обсягу відновних робіт, що, у свою чергу, визначає відносна зміна настання інших періодів обслуговування. Основним (опорним) періодом є період виконання відновних операцій в обсязі ПР-1 (для найбільш поширених моделей автобусів період становить 60 тис. км пробігу). Для відображення статистики відмов АТЗ введемо величину, що відповідає кількості позапланових ремонтів, що припадає на один цикл здійснення відновних операцій в обсязі ПР-1:

$$P_{HP,t} = [\Phi_6 \cdot L_p] / [L_{заг}], \quad (21)$$

де $P_{HP,t}$ – кількість позапланових ремонтів, що припадають на один цикл виконання відновних операцій в обсязі ПР-1;

Φ_6 – кількість автобусів у яких зафіксована відмова;

$L_{заг}$ – загальний пробіг АТЗ за даний період;

L_p – одиниця пробігу, в якій наводиться значення величини (у роботі прийняте $L_p = 60$ тис. км).

При визначенні величини Φ_6 для формули (21) відмовою АТЗ вважатимемо відмову, безпосередньо пов'язану із зносом основного обладнання автобуса і яка свідчить про зниження рівня його технічного стану. Найчастіше це відмови, які неможливо усунути в обсязі планових робіт з обслуговування АТЗ і що призводять до позапланових заходів в ремонтному цеху.

Можливо бачити, що, виходячи з вибраного циклу виконання відновних робіт:

$$P_{HP,t} = \int_0^{L_p} \omega(l) dl \quad (22)$$

Визначимо найбільш поширені причини відмов автобусів в АТП, для цього використовуються річні звіти. Можливо виділити такі основні види відмов: X1 – заміна двигунів; X2 – ремонт електрообладнання; X3 – заміна КПП; X4 – ремонт двигуна; X5 – ремонт паливної апаратури; X6 – заміна зчеплення; X7 – заміна карданного валу; X8 – заміна головної передачі середнього і заднього мостів; X9 – заміна лобового скла; X10 – ремонт рульового керування. З точки зору впливу експлуатаційних характеристик є сенс розглядати відмови X1, X3, X4 і X6 як прояв дії

експлуатаційних характеристик на силовий агрегат і ходову систему АТЗ. Відмови Х2, Х7, Х8 і Х10 характеризуються малою частотою їх появи, тому в наведених дослідженнях їх значення можемо вважати постійним. Отже, виділяємо наступні типи відмов, величина статистики появи яких залежить від впливу експлуатаційних характеристик: Т1 – статистика відмов трансмісії; Т2 – статистика відмов двигунів; Т3 – статистика відмов електрообладнання. За результатами спостережень упродовж чотирьох років (2021–2024 рр.) виявлено, що на частку перерахованих відмов припадає 94% усіх причин позапланових ремонтів. В даний час єдиною експлуатаційною характеристикою, яка враховується при плануванні етапів технічного обслуговування, є пробіг АТЗ.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Отже, з'ясовано, що формула (3) для визначення середньої величини коефіцієнта опору коченню АТЗ, враховує три значимі фактори дорожніх умов: 1) технічна категорія дороги; 2) рельєф місцевості; 3) стан покриття, а також міру рівності покриття дороги. Вказано на необхідності використовувати формулу (4) для визначення середньозважених значень сумарного коефіцієнта опору руху АТЗ для усіх поєднань дорожніх факторів. Розраховані значення кількісного інтегрального показника (КП) дорожніх умов для ІІІ категорії дороги (табл. 3).

Наведено формулу (8) для визначення коефіцієнта насиченості перешкодами, який є загальним вимірником режиму руху і відображає їх вплив на умови експлуатації АТЗ. Виконано типізацію – охарактеризовано 6 типів умов руху АТЗ за коефіцієнтом насиченості перешкодами (табл. 9).

Для автобусів АТП 16128 (м. Тернопіль) за період 2021–2024 рр. визначено: середню технічну швидкість (21,2–21,4 км/год), коефіцієнт дорожніх умов (4,71), завантаженість (до 4874 кг). На основі статистичних даних отримані залежності випадкових і поступових відмов автобусів (20). З'ясовано, що найбільш поширеними відмовами автобусів є несправності: двигуна, трансмісії і паливної системи.

ВИСНОВКИ

Отже для виявлення величини і характеру впливу умов експлуатації АТЗ на статистику їх відмов необхідно виконувати аналіз і визначення таких факторів, як: технічна категорія дороги, рельєф місцевості, стан покриття дороги і умови руху АТЗ. Всі ці фактори доцільно включити в інтегральний показник дорожніх умов, який збільшує кількість позапланових ремонтів АТЗ. На прикладі АТП 16128 (м. Тернопіль) з автобусним парком з'ясовано, що при коефіцієнті дорожніх умов 4,71 до 94% усіх причин позапланових ремонтів становлять несправності трансмісії, систем двигуна та електрообладнання. У зв'язку з цим доцільно для парку АТЗ коригувати інтервали пробігів до виконання технічних обслуговувань.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Біліченко В.В., Кужель В.П. Моделирование технологических процессов предприятий автомобильного транспорта : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2017. 163 с.
2. Іванушко О.М. Підвищення ефективності експлуатації автотранспортних засобів шляхом оптимізації періодичності технічного обслуговування : дис. ... д-ра філос. наук : 274. Київ, 2020. 225 с.
3. Мигаль В.Д. Інтелектуальні системи в технічній експлуатації автомобілів : монографія. Харків : Майдан, 2018. 262 с.
4. Удосконалення інформаційно-програмного комплексу для контролю технічного стану автомобілів в підприємстві автомобільного транспорту / В.П. Волков та ін. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. Луцьк, 2024. №1(22). С. 116–129. DOI: <https://doi.org/10.36910/automash.v1i22.1352>
5. Krzysztof Danilecki, Piotr Smurawski, Kamil Urbanowicz. Optimization of car use time for different maintenance and repair scenarios based on life cycle assessment. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13(17). P. 1–22. DOI: <https://doi.org/10.3390/app13179843>
6. Yali Wang, Steffen Limmer, Duc Van Nguyen, Markus Olhofer, Thomas Bäck, Michael Emmerich. Optimizing the maintenance schedule for a vehicle fleet: a simulation-based case study. *Engineering Optimization*. 2021. Vol. 54(7). P. 1258–1271. DOI: <https://doi.org/10.1080/0305215X.2021.1919888>
7. Yevhen Tkhoruk, Olena Kucher, Mykola Holotiuk, Mykhailo Krystopchuk, Oleg Tson. Modeling of assessment of reliability transport systems. *ICCPT 2019: Current Problems of Transport* : Proceedings of the 1st International Scientific Conference, May 28-29, 2019. Ternopil, Ukraine. P. 204–210.
8. Steffen Lauritzen. *Fundamentals of Mathematical Statistics*. Chapman & Hall. 2023. 258 p.

9. Boudart J., Figliozzi M. Key variables affecting decisions of bus replacement age and total costs. *Transportation Research Record*. 2012. Vol. 2274, P. 109–113.
10. Redmer A. Strategic Vehicle fleet management—a joint solution of make-or-buy, composition and replacement problems. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. 2022. Vol. 28. No. 2. P. 327–349. DOI: <https://doi.org/10.1108/JQME-04-2020-0026>
11. Stojic G., Sremac S., Vasiljkovic I. A fuzzy model for determining the justifiability of investing in a road freight vehicle fleet. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*. 2018. Vol. 1. № 1, DOI: 10.31181/oresta19012010162s.

REFERENCES

1. Bilichenko V.V., Kuzhel V.P. (2017). *Modeliuвання tekhnolohichnykh protsesiv pidpriemstv avtomobilnoho transportu : navchalnyj posibnyk*. Vinnytsia : VNTU (in Ukrainian)
2. Ivanushko O.M. (2020). Pidvyshchennia efektyvnosti ekspluatatsii avtotransportnykh zasobiv shliakhom optymizatsii periodychnosti tekhnichnoho obsluhovuvannia. Diss. [Improving the efficiency of operation of vehicles by optimizing the frequency of maintenance. Diss]. 163 p. Kyiv (in Ukrainian)
3. Myhal V.D. (2018). *Intelektualni systemy v tekhnichnii ekspluatatsii avtomobiliv : monohrafiia*. Kharkiv : Maidan (in Ukrainian)
4. Volkov V., Hrytsuk I., Onyshchuk V., Volkova T., Stelmashchuk V., Zbytskyi D. (2018). Udoskonalennia informatsiino-prohrannoho kompleksu dlia kontroliu tekhnichnoho stanu avtomobiliv v pidpriemstvi avtomobilnoho transportu (in Ukrainian)
5. Krzysztof Danilecki, Piotr Smurawski, Kamil Urbanowicz. (2023). Optimization of car use time for different maintenance and repair scenarios based on life cycle assessment. *Applied Sciences*. Vol. 13(17). P. 1–22. DOI: <https://doi.org/10.3390/app13179843> (in English)
6. Yali Wang, Steffen Limmer, Duc Van Nguyen, Markus Olhofer, Thomas Bäck, Michael Emmerich. (2021). Optimizing the maintenance schedule for a vehicle fleet: a simulation-based case study. *Engineering Optimization*. Vol. 54(7). P. 1258–1271. DOI: <https://doi.org/10.1080/0305215X.2021.1919888> (in English)
7. Yevhen Tkhoruk, Olena Kucher, Mykola Holotiuk, Mykhailo Krystopchuk, Oleg Tson. (2019). Modeling of assessment of reliability transport systems. *ICCPT 2019: Current Problems of Transport : Proceedings of the 1st International Scientific Conference, May 28-29, 2019. Ternopil, Ukraine*. P. 204–210. (in English)
8. Steffen Lauritzen. (2023). *Fundamentals of Mathematical Statistics*. Chapman & Hall. 258 p. (in English)
9. Boudart J., Figliozzi M. (2012). Key variables affecting decisions of bus replacement age and total costs. *Transportation Research Record*. Vol. 2274, P. 109–113. (in English)
10. Redmer A. (2022). Strategic Vehicle fleet management—a joint solution of make-or-buy, composition and replacement problems. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. Vol. 28. No. 2. P. 327–349. DOI: <https://doi.org/10.1108/JQME-04-2020-0026> (in English)
11. Stojic G., Sremac S., Vasiljkovic I. (2018). A fuzzy model for determining the justifiability of investing in a road freight vehicle fleet. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*. Vol. 1. №1, DOI: <https://doi.org/10.31181/oresta19012010162s> (in English)

V. Khavruk. Methodology for determining operational factors and their influence on the repair of motor vehicles.

The work considers operational factors that affect the technical condition of motor vehicles: load, speed, road surface quality, which are collectively reduced to an integral indicator that is taken into account when determining the number of unscheduled repairs. In order to assess the influence of operational factors on the number of unscheduled repairs of motor vehicles, five technical categories of roads with different surface conditions were considered. The formulas for determining the coefficients, which take into account the effect of a set of operational factors on a motor vehicle, are given. The values of the coefficient of adjustment of the maximum speed of motor vehicles for roads of technical categories in different types of terrain are presented. Dependencies were found that describe the typological variable of homogeneous obstacle-forming factors that are included in the subset of significant factors of road conditions when the obstacle saturation coefficient changes. Based on the analysis of indicators of the speed characteristics of motor vehicles on routes with different levels of obstacle saturation, six types of vehicle traffic conditions were characterized. For a specific motor vehicle enterprise with a bus fleet, the following factors are defined: road conditions coefficient, technical speed and load. The most common reasons for failure of motor vehicles

are clarified using the example of buses. Formulas are given for determining: the average weighted value of the total traffic resistance coefficient for all combinations of road factors; coefficients of the relative magnitude of the load mode on the road and the relative frequency of changes in the mode on the road; the amount of repairs, taking into account the integral indicator of road conditions.

The results of the study can be used by motor vehicle enterprises to determine the optimal intervals between repairs, as well as to determine the amount of planned repairs of each motor vehicle, which in turn will make it possible to reduce losses from idle time and increase the efficiency of its use as a whole.

Keywords: motor transport enterprise, motor vehicle, road, quantitative integral indicator, technical category of roads, factor.

ХАВРУК Володимир Олександрович, асистент кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, Національний транспортний університет, e-mail: khavruk@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0002-4686-4109>.

Volodymyr KHAVRUK, Assistant of Motor Vehicle Maintenance and Service Department, Kyiv National Transport University, e-mail: khavruk@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0002-4686-4109>.

DOI 10.36910/automash.v2i23.1545