

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет

Конструювання та дизайну

ПОГОДЖЕНО

Декан факультету
Конструювання та дизайну

(назва факультету(ННІ))

Іван РОГОВСЬКИЙ

(підпис)

(ПБ)

“ ” 20 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри
Надійності техніки

(назва кафедри)

Андрій НОВИЦЬКИЙ

(підпис)

(ПБ)

“ ” 20 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему Забезпечення надійності пневматичних підвісок автобусів великого класу як складних систем під впливом навколишнього середовища

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»
(код і найменування)

Освітня програма Технічний сервіс машин та обладнання сільськогосподарського виробництва

(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

к.т.н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

Андрій НОВИЦЬКИЙ

(підпис)

(ПБ)

Керівники магістерської кваліфікаційної роботи

к.т.н., ст. викладач

(науковий ступінь та вчене звання)

Дмитро КАЛІНІЧЕНКО

(підпис)

(ПБ)

асистент

(науковий ступінь та вчене звання)

Руслан КУЛЬШН

(підпис)

(ПБ)

Виконав

(підпис)

Роман ПАВЛЕНКО

(ПБ здобувача)

КИЇВ 2025

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Надійності техніки
К.Т.Н., доцент Андрій НОВИЦЬКИЙ
(науковий ступінь вчене звання) (підпис) (ПІБ)
“ ” 2025р.

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ЗДОБУВАЧУ
Павленку Роману Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування
(код і найменування)
Освітня програма Технічний сервіс машин та обладнання сільськогосподарського
виробництва
(назва)
Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи Забезпечення надійності пневматичних підвісок автобусів великого класу як складних систем під впливом навколишнього середовища

Затверджена наказом від “16” грудня 2024р. № 2266 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру 14 листопада 2025 р.

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи. 1. Основні тенденції розвитку технічної експлуатації автомобілів. 2. Вплив сезонних змін природно-кліматичних умов на надійність пневматичної підвіски автобусів великого класу. 3. Існуючий парк з характеристиками автобусів шести різних марок. 4. Каталоги обладнання для ремонту та технологічного устаткування. 5. Характеристики наявних засобів для контролю пневмопідвісок автотранспорту. 6. Українські державні стандарти.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Здійснювати огляд та аналіз виконаних досліджень з метою обґрунтування досліджуваної теми.
2. Обґрунтувати фактори, що суттєво впливають на надійність елементів пневмопідвіски автобусів.
3. Встановити закономірності впливу обраних факторів на надійність пневмопідвіски.
4. Розробити методику оцінки впливу сезонних умов на надійність пневматичної підвіски автобусів великого класу та оцінити економічний ефект від практичного використання отриманих результатів.

Дата видачі завдання “12” жовтня 2024 р.

Керівники магістерської кваліфікаційної роботи Дмитро КАЛІНІЧЕНКО
(підпис) (прізвище та ініціали)

Руслан КУЛЬПІН
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання Роман ПАВЛЕНКО
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота включає в себе пояснювальну записку, яка складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаної літератури. Пояснювальна записка магістерської кваліфікаційної роботи містить 68 аркушів друкованого тексту.

У першому розділі магістерської кваліфікаційної роботи розглянуто особливості основні тенденції розвитку технічної експлуатації автомобілів та фактори, що впливають на надійність пневмопідвіски і витрату запасних частин для автобусів великого класу.

У другому розділі магістерської кваліфікаційної роботи розглянуто вплив сезонних змін природно-кліматичних умов на надійність пневматичної підвіски автобусів великого класу та математичні моделі впливу кліматичних факторів на інтенсивність відмов пневматичної підвіски автобусів великого класу.

У третьому розділі наведено мету і задачі експериментально-теоретичного дослідження.

У четвертому розділі наведено перевірку гіпотез про тип математичних моделей впливу температури повітря і частки днів з опадами на частоту відмов пневматичної підвіски автобусів та оцінку впливу температури на деформацію пневмобалонів.

У п'ятому розділі наведено ефективність системи відновлення та визначення оптимального рівня запасів пневмобалонів на складі.

У шостому розділі вказана техніка безпеки при ремонті вимоги безпеки до інструменту і безпека роботи на ремонтно-технологічному обладнанні.

Ключові слова: пневмопідвіска автобусів, математична модель, інтенсивність відмов, температура, деформація, довговічність.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	2
ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ.....	6
1.1. Основні тенденції розвитку технічної експлуатації автомобілів.....	6
1.2. Фактори, що впливають на надійність пневмопідвіски і витрату запасних частин для автобусів великого класу.....	12
1.3. Закономірності зміни умов експлуатації.....	17
1.4. Способи поставки запасних частин.....	19
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	24
2.1. Загальна методологія дослідження.....	24
2.2. Схема концептуальної моделі формування необхідної кількості запасних частин.....	27
2.3. Локалізація системи.....	30
2.4. Вплив сезонних змін природно-кліматичних умов на надійність пневматичної підвіски автобусів великого класу.....	31
2.5. Математичні моделі впливу кліматичних факторів на інтенсивність відмов пневматичної підвіски автобусів великого класу.....	33
2.6. Розробка імітаційної моделі досліджуваної системи.....	35
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	37
3.1. Мета і задачі експериментального дослідження.....	37
3.2. Методика експериментальних досліджень.....	38
РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	41
4.1. Результати експериментальних досліджень.....	41
4.2. Сезонні зміни інтенсивності відмов пневмопідвіски в автобусах великого класу.....	44
4.3. Перевірка гіпотез про тип математичних моделей впливу температури повітря і частки днів з опадами на частоту відмов пневматичної підвіски автобусів.....	46
4.4. Оцінка впливу температури на деформацію пневмобалонів.....	49
РОЗДІЛ 5. ЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМИ ВІДНОВЛЕННЯ ПНЕВМАТИЧНОЇ ПІДВІСКИ.....	52
5.1. Загальні принципи системи.....	52
5.2. Ефективність системи відновлення.....	53
5.3. Визначення оптимального рівня запасів пневмобалонів на складі.....	55
РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА.....	57
6.1. Охорона здоров'я працюючих та створення безпечних умов праці на виробництві.....	57
6.2. Техніка безпеки при ремонті вимоги безпеки до інструменту.....	62
6.3. Безпека роботи на ремонтно-технологічному обладнанні.....	65
ВИСНОВКИ.....	69
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	70

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

СП - система підвіски;

НП - надійність підвіски;

ТО - технічне обслуговування;

Р – ремонт;

ПР - плановий ремонт;

НТД - нормативно-технічна документація;

АТП - автотранспортне підприємство;

ННВ - наробіток на відмову;

КГ - корозійна група;

ТП - температура повітря.

ВСТУП

Актуальність теми. Попит на вуглеводневі ресурси в умовах росту цін на енергоносії вимагає зниження енергозатратності на їх використання. На транспорт припадає до половини всіх витрат на видобуток нафти і газу. Крім спецтранспорту, безпосередньо задіяного в процесах виробництва нафти і газу, важливу роль відіграють також пасажирські транспортні засоби (автобуси), що перевозять персонал до місця роботи.

Кліматичні умови в зимовий період знижують надійність автомобілів, це викликано екстремально низькими температурами навколишнього середовища, що досягають $-30\text{...}-20$ °С. При таких низьких температурах металеві і полімерні матеріали, що використовуються в конструкції автобусів, стають крихкими, і число раптових відмов збільшується. Кількість відмов взимку і восени, в порівнянні з літом, збільшується в 5-6 разів. Крім того, довга і холодна зима сприяє накопиченню снігу. Наприклад, на території України більше 30% річних опадів випадає в твердому вигляді. Підвищений сніговий покрив разом з низькими температурами збільшують негативний вплив на вузли і агрегати автомобіля, особливо це стосується деталей пневмопідвіски. Дослідження показують, що сезонні перепади температури повітря призводять до значного збільшення кількості відмов транспортних засобів і простоїв з цієї причини.

Потреба в запчастинах для відновлення пневмопідвіски різна в різні періоди року, і це не завжди враховується системою управління складськими запасами, що діє на автотранспортних підприємствах. Тому проведення визначення оптимального рівня запасів елементів підвіски в різні періоди року з урахуванням особливостей експлуатації службових автобусів і сезонних коливань температури навколишнього середовища, а також інтенсивність опадів - затребувана на практиці задача, що вимагає залучення науки.

Питання забезпечення надійності автомобілів вивчається досить давно. У різні періоди дослідженнями, спрямованими на її вирішення, займалися

провідні інститути країни. Огляд і аналіз робіт, виконаних вченими, показує, що вплив сезонних коливань і умов експлуатації до кінця не вивчений, тому необхідно розробити методичне забезпечення для врахування впливу сезонних умов на надійність пневмопідвіски автобусів великого класу.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є розробка методики оцінки впливу сезонних умов на надійність пневматичної підвіски автобусів великого класу для вирішення задачі визначення необхідної кількості запасних частин. Для досягнення поставленої мети, необхідно виконати такі завдання:

- здійснювати огляд та аналіз виконаних досліджень з метою обґрунтування досліджуваної теми.
- обґрунтувати фактори, що суттєво впливають на надійність елементів пневмопідвіски автобусів.
- встановити закономірності впливу обраних факторів на надійність пневмопідвіски.
- розробити методику оцінки впливу сезонних умов на надійність пневматичної підвіски автобусів великого класу та оцінити економічний ефект від практичного використання отриманих результатів.

Об'єктом магістерської кваліфікаційної роботи є процес формування потоку відмов пневмопідвіски автобусів великого класу з урахуванням сезонної зміни природно-кліматичних факторів.

Предметом магістерської кваліфікаційної роботи є методика оцінки впливу сезонних умов на надійність пневмопідвіски автобусів великого класу.

Методи дослідження є експериментальні та теоретичні методи дослідження системний аналіз, метод апріорного ранжування, пасивний натурний та активний імітаційний експерименти, кореляційно-регресійний аналіз, імітаційне моделювання, комп'ютерне програмування.

Практична цінність отриманих у ході досліджень проведених експериментально-теоретичних досліджень розроблено методичне забезпечення, яке дозволяє розраховувати кількість пневмобалонів з

урахуванням сезонної варіації інтенсивності та умов експлуатації. Використання цього забезпечення дасть змогу зменшити простої автомобілів в очікуванні ремонту, що знижує втрати прибутку.

Апробація результатів магістерської роботи. Брав участь у 78 всеукраїнській науково-практичній студентській конференції «наукові здобутки студентів у дослідженнях технічних та біоенергетичних систем природокористування: конструювання та дизайн». Та опубліковано наукову роботу на тему: «Комплексна стратегія підвищення надійності пневматичних підвісок автобусів великого класу шляхом діагностування на основі AI та машинного навчання в умовах агресивного навколишнього середовища».

Структура та обсяг роботи. Магістерська кваліфікаційна робота складається з вступу, шести розділів, висновків та списку використаної літератури. Загальний обсяг магістерської кваліфікаційна роботи становить 72 с., із них 68 с., основного тексту, у тому числі 13 ілюстрацій і 7 таблиць. Список використаних джерел містить 62 найменування.

'РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ

1.1. Основні тенденції розвитку технічної експлуатації автомобілів

Однією з характерних рис науково-технічної революції є інтенсивність розвитку всіх засобів комунікації суспільства, в тому числі і транспорту. За останні 20-25 років світовий автопарк збільшився в 4-4,5 рази, досягнувши 500 млн машин. На початку XXI ст. століття, автопарк перевищив 680 ... 820 млн автомобілів.

Експлуатація автопарку пов'язана з вирішенням ряду складних наукових, технічних, економічних та організаційних проблем.

З одного боку, це забезпечення надійного і безпечного функціонування транспортної системи, що вимагає збільшення витрат на створення нових, більш надійних і безпечних транспортних засобів, будівництво доріг, створення необхідної виробничої бази і підвищення кваліфікації персоналу, вдосконалення об'єктів сервісу і т.д.

Як випливає з таблиці 1.1 витрати, пов'язані зі створенням виробничої бази, технічним обслуговуванням і ремонтом, значні, але навіть при цих витратах через відмови деяких вузлів і агрегатів автомобілі простоюють в обслуговуванні і ремонті.

З іншого боку, це вимога зниження значних транспортних витрат, у тому числі витрат на технічну експлуатацію вагонів, що є необхідною умовою для подальшого розвитку транспортної системи.

Автомобілебудування та суміжні галузі забезпечують кількісне зростання і зміну якісного складу автопарку, виходячи з вимог споживачів.

Дорожньо-будівельна галузь та контролюючі органи забезпечують покращення умов дорожнього руху.

Наявність відповідної програми дає можливість визначити загальнонаціональні, міжгалузеві та секторальні завдання в плановому періоді (рис. 1.1), конкретизувавши їх у вигляді відповідних планів і виділених ресурсів. Значний вплив на методи реалізації плану промисловістю надає політика в області заробітної плати, цін і тарифів.

Таблиця 1.1. Середні витрати і капітальні вкладення на утримання і ремонт автомобілів з поточним середньорічним пробігом, млн грн

Тип автомобіля	Середньорічні витрати на утримання та обслуговування		Капітальні витрати на виробничу базу на 1 автомобіль
	Взагалі	Включаючи Запчастини	
Легковий автомобіль індивідуального користування	0,14 - 0,17	0,06 - 0,08	0,41 - 0,43
Легковий автомобіль, таксі	0,55 - 0,62	0,25 - 0,30	3,8 - 4,4
Вантажівки	0,77 - 0,85	0,20 - 0,35	3,0 - 3,2
Автобуси	1,25 - 1,45	0,6 - 0,75	6,6 - 7,7

У цих умовах можна управляти експлуатаційною надійністю і визначати місце служби технічної експлуатації. Для служби технічної експлуатації загальний план перевезень повинен бути перетворений в число технічно справних транспортних засобів, готових до транспортного процесу, і необхідні для цього трудові та матеріальні ресурси.

Узагальнення досвіду показує, що існує стійка залежність між коефіцієнтами виходу α_v і технічною готовністю α_T , які характеризуються для громадського транспорту наступним чином:

на вантажних автомобілях ... $\alpha_v^B = 0,77 \alpha_T^B$

для автобусів ... $\alpha_v^A = 0,73 \alpha_T^A$

автомобілі таксі ... $\alpha_v^T = 0,92 \alpha_T^{AT}$

Дослідження надійності експлуатації великокласних автобусів були проведені дослідниками на прикладі класу автобусів сімейства «Ікарус».

Методика встановлених раціональних нормативів режимів запобігання, розроблена і прийнята при виконанні даної роботи, полягає у виявленні характерних пов'язаних наборів деталей, вузлів, з'єднань, які мають основний вплив на надійність автобусів і проведенні над ними експлуатаційних спостережень, спрямованих на визначення для кожного набору раціональних нормативів режимів профілактики [25,28].

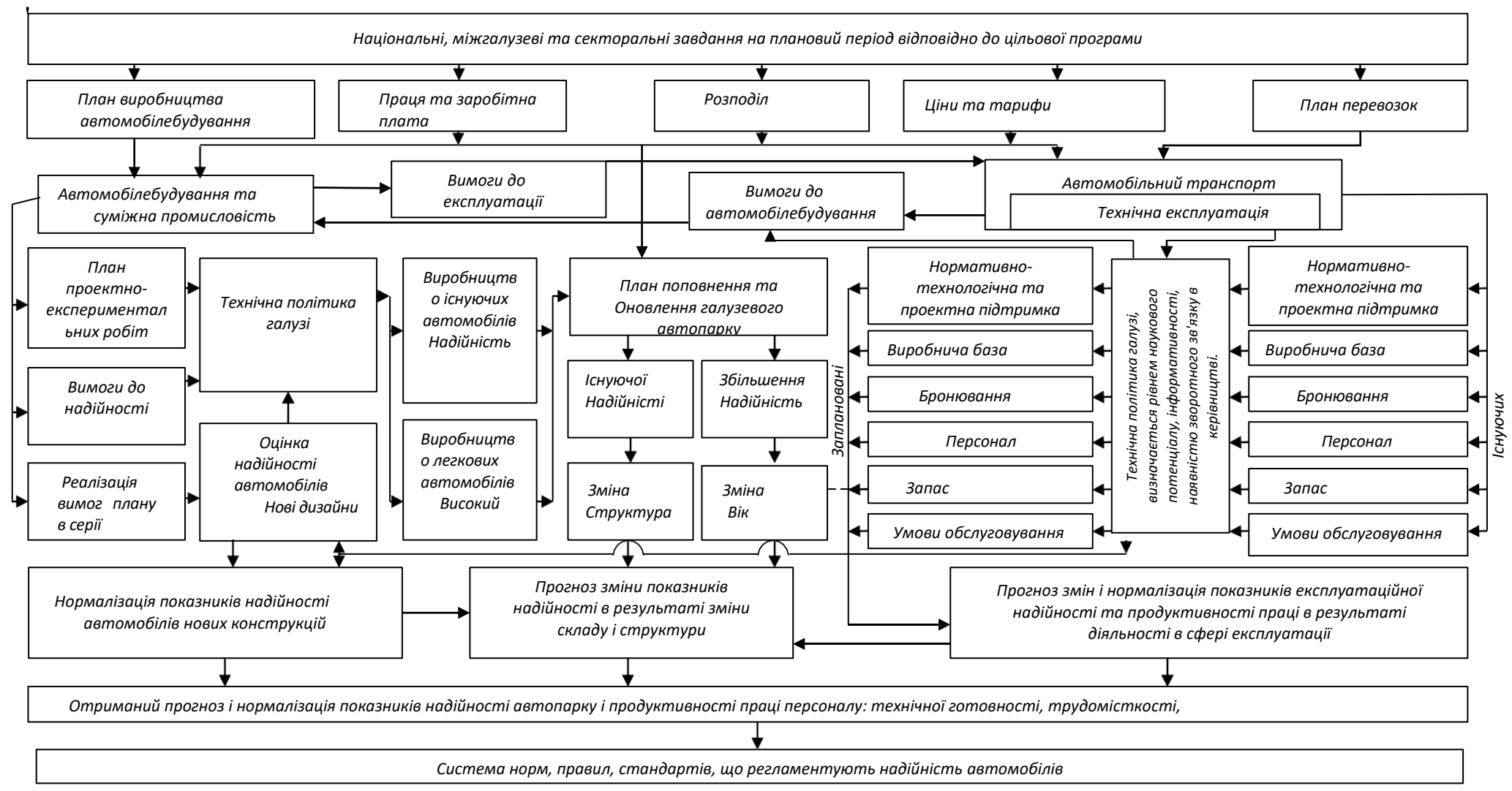


Рис. 1.1. Схема взаємодії суміжних галузей у вирішенні загальнонаціональних, міжгалузевих та галузевих завдань у плановому періоді

Отримані дані про пробіг керованої групи автобусів від початку експлуатації до 100 тис.

Таблиця 1.2. Розподіл несправностей, середній потік відмов і середній час між відмовами автобусів Ikarus

Агрегати	Автобус Ікарус-260 пробіг від початку експлуатації до 100 тис. км			Автобус Ікарус-255 пробіг від початку експлуатації до 100 тис. км			Автобус Ікарус-250 пробіг від початку експлуатації до 150 тис. км		
	Відсоток розподілу	Середній потік	Середній наробіток	Відсоток розподілу	Середній потік	Середній наробіток	Відсоток розподілу	Середній потік	Середній наробіток
Двигун	17,98	0,30	3,1	15,62	0,22	1,5	16,71	0,24	3,9
Коробка Передач	1,70	0,03	34,8	3,12	0,04	22,9	3,34	0,050	20,5
Передній міст	5,63	0,10	10,5	3,39	0,05	21,1	5,19	0,08	13,2
Зчеплення	3,12	0,05	18,9	3,91	0,05	18,3	3,71	0,05	18,5
Рульове управління	5,77	0,10	10,2	4,69	0,06	15,3	7,42	0,11	9,2
Карданна Передача	1,63	0,03	36,2	1,30	0,02	55,0	2,23	0,03	30,8
Задній міст	4,29	0,07	13,8	5,22	0,07	13,7	3,15	0,04	21,7
Підвіска	11,74	0,20	5,0	15,88	0,22	4,5	23,19	0,34	2,9
Гальма	12,83	0,22	4,6	10,42	0,15	6,9	7,79	0,12	8,8
Електрообла днання	12,63	0,21	4,6	17,58	0,25	4,1	11,13	0,17	6,1
Кузов	10,5	0,17	5,9	3,64	0,05	19,6	4,64	0,06	14,8
Шини	12,63	0,22	4,7	15,23	0,2	4,7	11,50	0,17	5,9
Підсумок	100,0	1,70	0,6	100,0	1,40	0,7	100,0	1,46	0,7

У Ikarus - 260 автобусів, найбільша кількість відмов (17,9%) припадає на двигун і його системи (охолодження, паливо і вихлопні газы), на гальмівну систему припадає 12,8%, шини і електрообладнання - 12,6%, підвіска - 11,7%.

У автобусів Ikarus - 255, найбільша кількість відмов - 17,6% - припадає на електрообладнання, на підвіску припадає 15,8%, двигун і його системи - 15,6%,

шини - 15,2%, гальмівна система - 10,4%.

У автобусів «Ікарус-250» найбільша кількість поломок припадає на підвіску - 23,1%, двигун - 16,7%, електрообладнання і шини - 11,5%, гальмівну систему - близько 8%. На підставі цих даних будується діаграма Парето для даної модифікації автобусів (рис. 1.2).

Розподіл відмов в інших вузлах і системах автобусів приблизно однаковий. У двох випадках з автобусами «Ікарус-255», «250» найбільша кількість поломок пов'язана з підвіскою. Перелом корінного листа ресори; знос додаткової ресорної подушки та амортизатора; тріщина кронштейна допоміжної ресори[17].

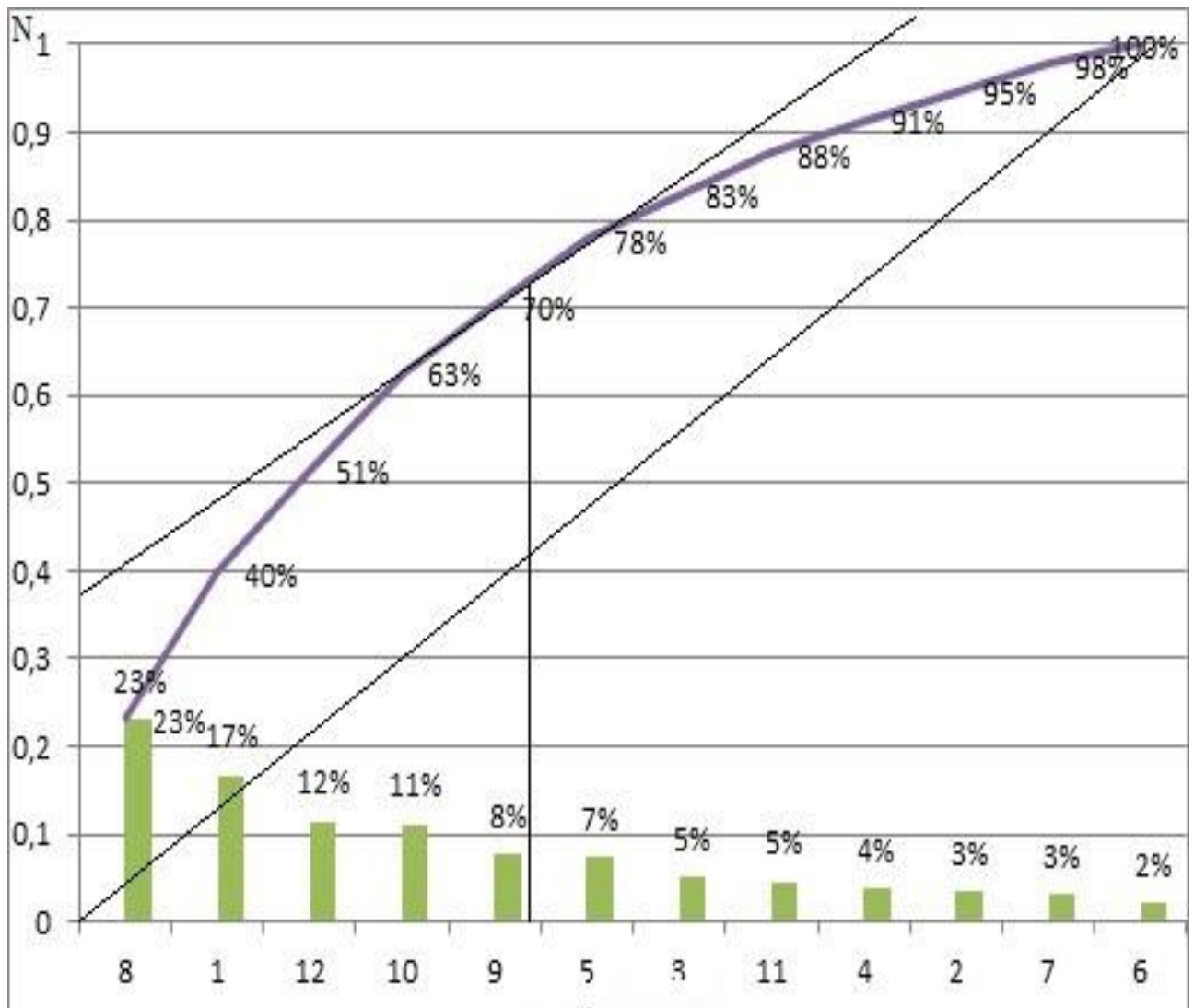


Рис.1.2 Діаграма Парето розподілу відмов для шин Ікарус 250:

1- задня підвіска; 2 - зчеплення; 3 - електрообладнання; 4 - кузов; 5 - шини; 6 - рульове управління; 7 - коробка передач; 8 - двигун; 9 - гальма; 10 - шини; 11 - карданна передача; 12 - передня підвіска

Важливо відзначити, що пневматична підвіска, а саме пневмопружина,

відноситься до переліку обмежувальних деталей. Існує три способи визначення переліку деталей, пов'язаних з обмеженням надійності (рис. 1.3).

Прикладом одного із способів визначення переліку критичних для надійності деталей є ABC-аналіз.

Графічний метод є найбільш ілюстративним і дозволяє отримати достатню точність для практичних цілей. Для цього необхідно скласти зменшуваний ряд числа відмов деталей пневмопідвіски. Отриманий ряд представляється у вигляді графіка (рис. 1.2), де на осі ординат вказуються значення числа відмов по кожній з частин, а по осі абсцис - значення числа частин n . Намалюйте гладку криву на побудованій кривій. На побудованій кривій знаходимо точку перегину, в якій відбувається помітне зменшення числа відмов, і з неї опускаємо перпендикуляр до осі x . Точка перетину з віссю визначить кількість деталей, які слід віднести до меж надійності. При цьому в список критичних по надійності систем було включено 5 систем - це двигун, передня і задня підвіска, шин і гальм, на їх частку припадало 70% критичних з точки зору надійності деталей.

Найважливішими елементами автомобіля є механізми підвіски. Надійність підвіски особливо актуальна для автобусів великого класу, так як від її стану істотно залежить комфорт і безпека пасажирів.

1.2. Фактори, що впливають на надійність пневмопідвіски і витрата запчастин для автобусів

Надійність пневмопідвіски залежить від великої кількості факторів. До кліматичних факторів відносять температуру (високі і низькі значення), частку днів з опадами, вологість, сонячну радіацію, туман, пилові бурі (рис. 1.3).

Слід зазначити, що кліматичні фактори посилюють відмови, що виникають в результаті дії сил тертя, втомних явищ в металі, випадкових перевантажень і інших проявів зносу деталей. На рис.1.3 показаний вплив кліматичних факторів на автомобіль [15,18].

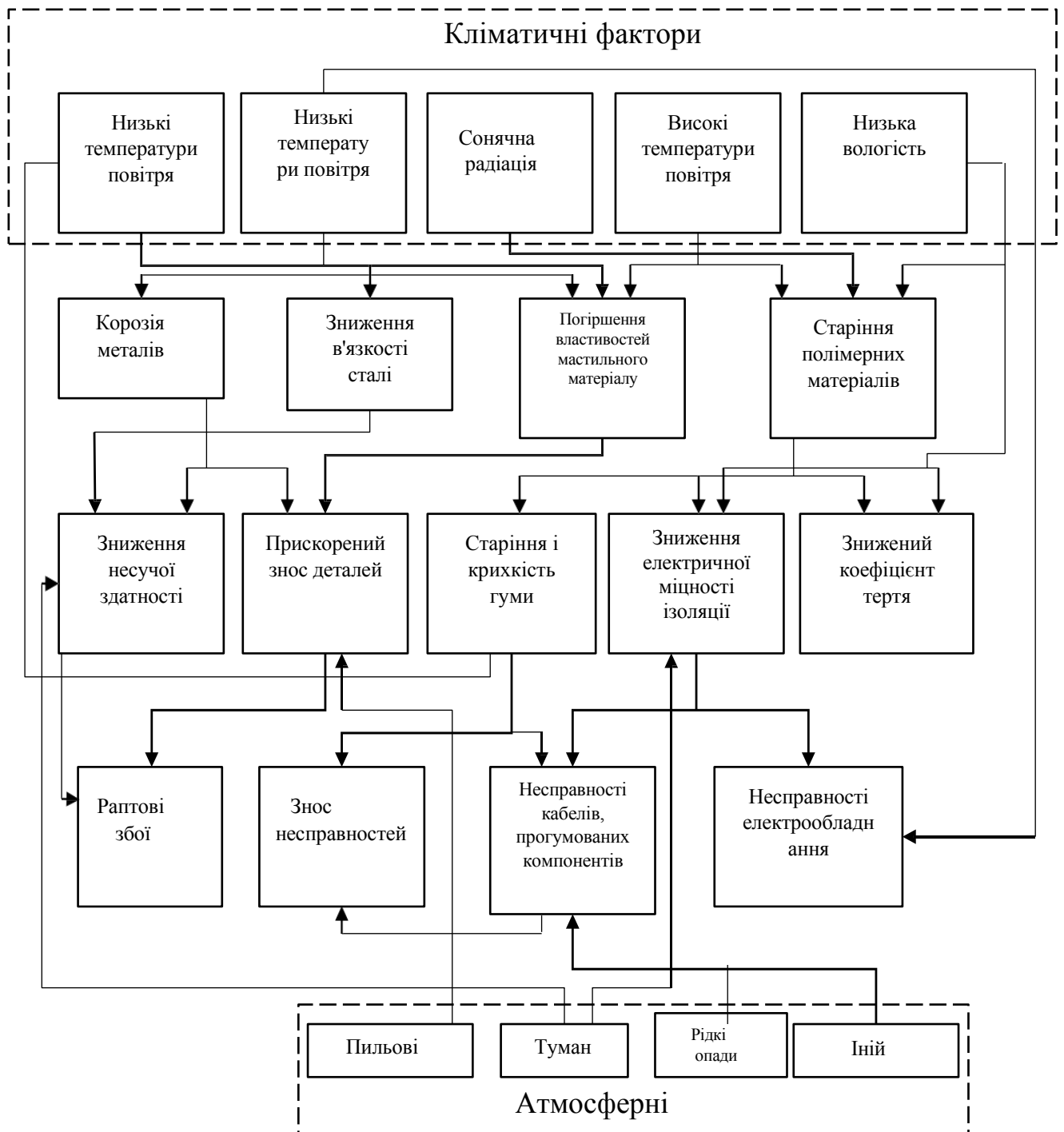


Рис. 1.3. Схема комплексного впливу основних кліматичних факторів і атмосферних явищ на надійність об'єктів

Запропоновано класифікація факторів, що впливають на витрату запасних частин (рис. 1.4). Більшість авторів беруть цю класифікацію за основу, додаючи нові дослідження. Сукупність факторів, що визначають потребу в запасних частинах, прийнято ділити на чотири групи: конструктивні, експлуатаційні, технологічні та організаційні.

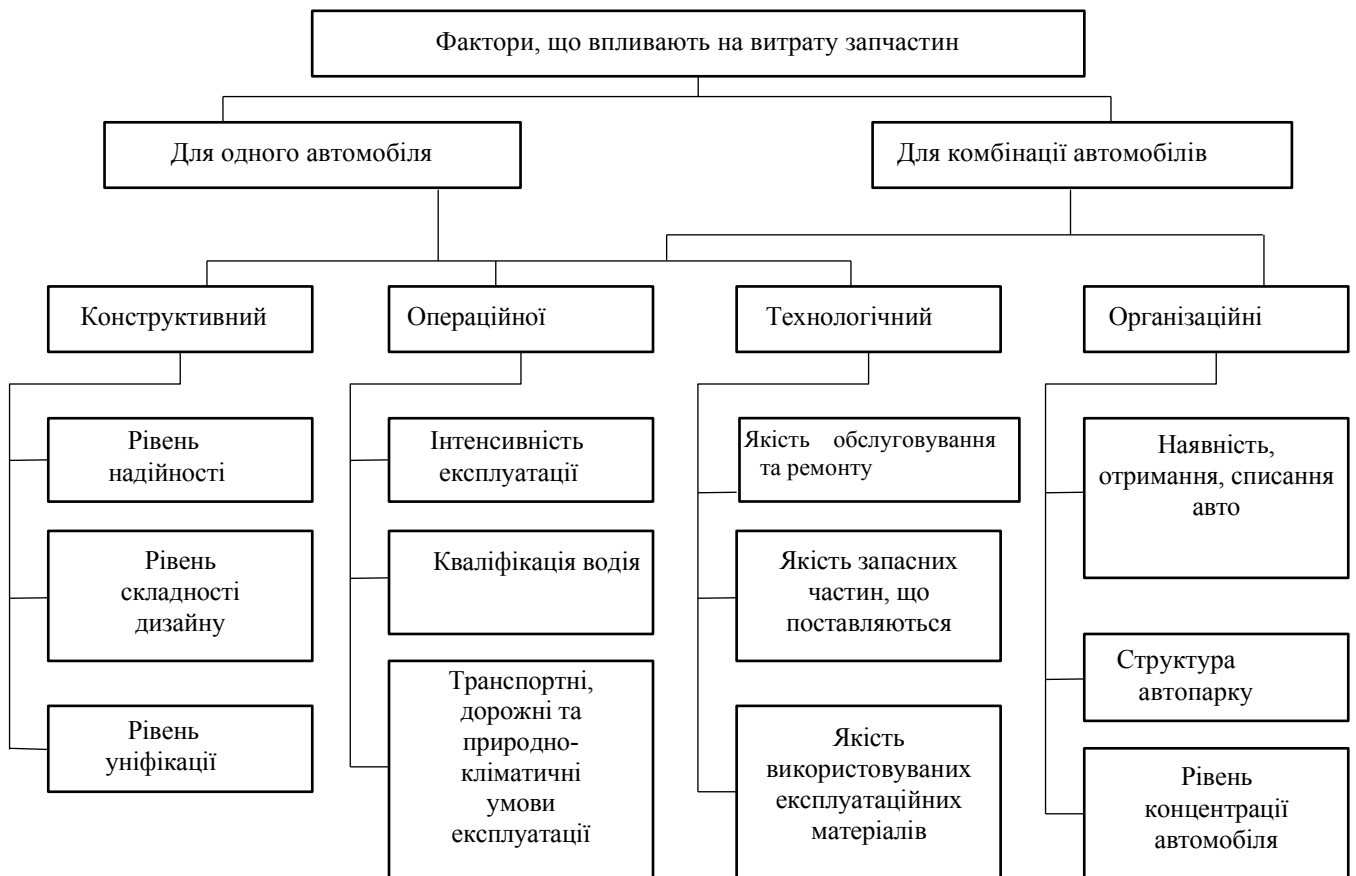


Рис. 1.4. Класифікація факторів, що впливають на витрату автомобільних запчастин

Дослідники виділяють три основні типи факторів, що впливають на технічний стан автомобіля. Технологічні фактори залежать від якості матеріалів, що використовуються для виготовлення деталей, застосування відповідної термічної обробки і складальних робіт. На технічний стан автомобіля значною мірою впливають перераховані вище фактори.

Запасні частини розділені на чотири типи. Перший тип - це деталі, від яких залежить безпека руху (в процесі експлуатації автомобілів їх періодично змінюють, незалежно від їх стану). Другий тип - це деталі, термін служби яких дорівнює пробігу автомобілів до капітального ремонту (вони не змінюються в процесі експлуатації). Третій тип - це деталі, які мають обмежений термін служби і передбачені для заміни в процесі експлуатації. Четвертий тип - це деталі, заміна яких супроводжується заміною деталей перших трьох груп (прокладки, ущільнювачі, кріплення і т.д.)[27].

Для автотранспортних підприємств основна увага повинна бути приділена поставці запасних частин першої, третьої і четвертої груп. Термін служби вузлів і

окремих деталей, в значній мірі, залежить від умов експлуатації автомобілів. Тому на кожному автомобілебудівному підприємстві необхідно проводити статистичний аналіз терміну служби окремих вузлів і деталей і на підставі цього здійснювати планування і поставку запасних частин.

На основі методу, раніше представленого запропоновано розкладання робочих умов, що визначають витрату запасних частин (рис. 1.5).

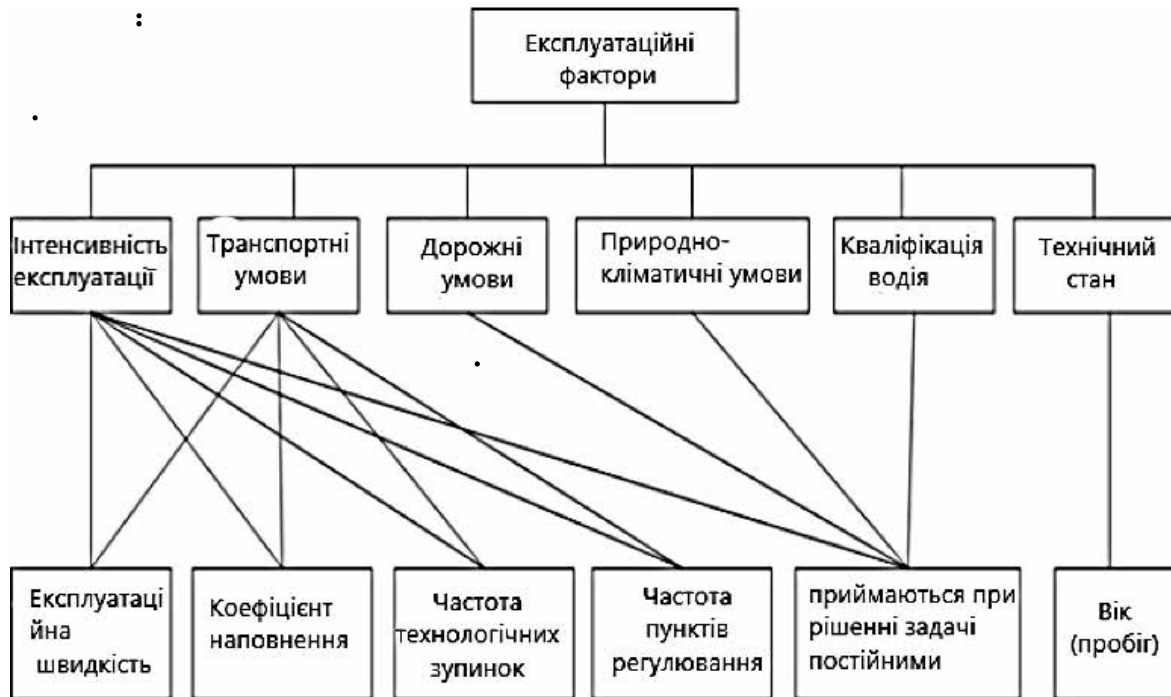


Рис. 1.5. Розкладання умов експлуатації, що визначають витрату запасних частин

Апріорне ранжування використовується як метод виявлення найбільш значущих факторів.

На початковому етапі дослідження готується анкета. Анкета включає в себе 5 факторів, що впливають на надійність роботи автобуса. В дослідженні брали участь експерти - фахівці з транспортних компаній.

При цьому враховувалися такі фактори:

- 1 - кваліфікація водія;
- 2 - дорожні умови;
- 3 - інтенсивність експлуатації;
- 4- природно-кліматичні умови;
- 5 - вік автомобіля (втрата експлуатаційних характеристик). Рангова матриця,

отримана за результатами анкетування, наведена в таблиці 1.3

Таблиця 1.3. Експертний аналіз факторів

№ Експерта	X1– Кваліфікація водія	X2– Дорожні умови	X3 – Технічний стан (втрата працездатність)	X4– Природно- кліматичні умови	X5– Вік автомобіля
1	5	3	4	1	2
2	4	2	3	1	5
3	5	4	3	1	2
4	5	2	1	2	3
5	5	2	4	1	2
6	5	3	2	1	4
7	5	4	2	1	3
Σ	34	20	19	8	21
ΔI	-13,6	0,4	1,4	12,4	-0,6
$(\Delta I)^2$	184,96	0,16	1,96	153,76	0,36

Узгодженість висновків експертів оцінювалася за коефіцієнтом конкордації.

$$W = \frac{12 \cdot 341}{5^2 \cdot (7^3 - 5)} = 0.62$$

Незважаючи на те, що отримане значення коефіцієнта відповідності істотно відрізняється від нуля, перевіримо його значимість за допомогою критерію Пірсона:

$$\chi^2 = \frac{12 \cdot 341}{5 \cdot 7(7 + 1)} = 18,73$$

Гіпотеза про існування узгодження висновків експертів може бути прийнята, якщо для заданого числа ступенів свободи прийняти табличне значення χ^2 менше розрахованої на похибку 5%.

Беручи до уваги рівень похибки 5%, кількість ступенів свободи $f=6$. Табличне значення критерію має вигляд $\chi^2=12,6$. Тому думка експертів узгоджена. Побудуємо рангову діаграму для розглянутих факторів (рис. 1.6).

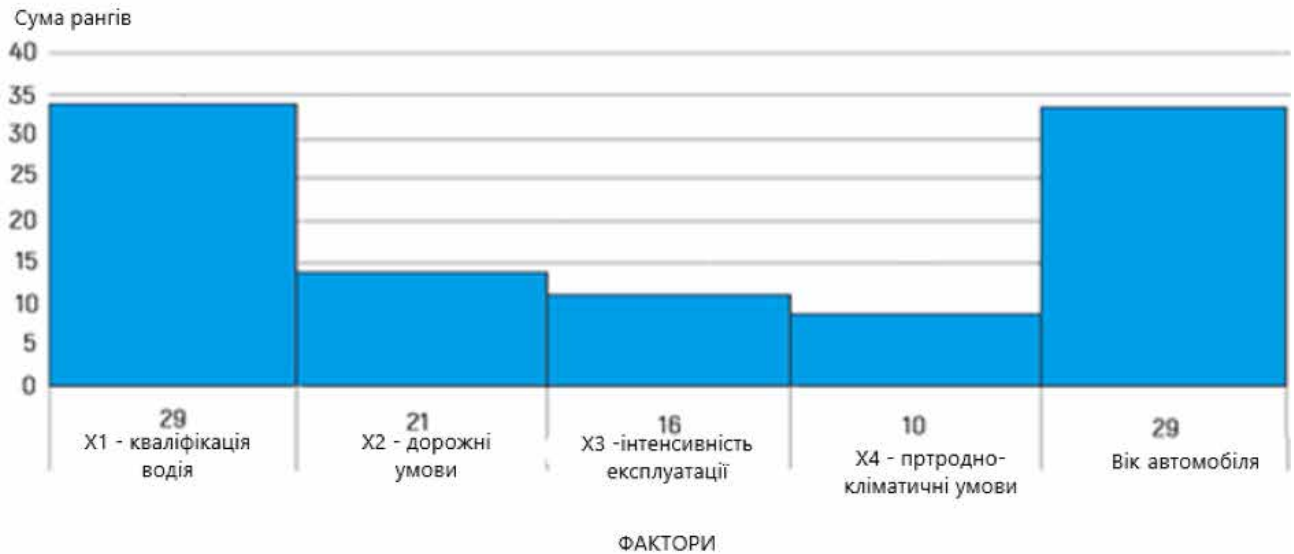


Рис. 1.6. Діаграма апіорного ранжирування факторів

Так, за результатами експерименту було встановлено, що на надійність пневмопідвіски автобусів найбільше впливають природно-кліматичні умови, потім, в порядку убубання, вік автомобіля і дорожні умови.

1.3. Закономірності зміни умов експлуатації

Надійність автомобіля істотно залежить від умов його експлуатації. На відміну від конструктивної і виробничої надійності, яка досягається в процесі його проектування і виготовлення дослідного зразка автомобіля, для практичного використання автомобіля надзвичайно важлива його експлуатаційна надійність, одержувана статистичною обробкою матеріалів масової експлуатації автомобіля в конкретних умовах.

Умови експлуатації автомобіля - це сукупність дорожніх і кліматичних умов, режим використання автомобіля, умови навантаження і розвантаження вантажів і т.д.

При експлуатації автомобілів у складних дорожніх умовах збільшується навантаження, що діє на деталі автомобіля, викликаючи прискорений знос, втому металу, нестабільність кріплень і регулювань, а в деяких випадках і поломку деталей силової передачі і ходової частини.

Дослідженнями, встановлено, що при експлуатації автомобіля на ґрунтових дорогах середня частота між поточними ремонтами задньої осі становить 1,7-5,8

тис. км, а при роботі на трасі з асфальтобетонним покриттям становить 7,5-11,5 тис. км, коли автомобіль експлуатується на ґрунтових дорогах, шпильки кріплення фланця піввісі змінювалися після пробігу 5,7-17,5 тис. км відповідно, при роботі на дорогах з асфальтобетонним покриттям - через 33,5 тис. км[35].

Аналогічні дані були отримані і при поточному ремонті підвіски автомобіля. Середня частота між ремонтами підвісок автомобіля при роботі на ґрунтовій дорозі становить 2,6-3,8 тис. км, на дорозі з асфальтобетонним покриттям 7-10 тис. км тобто в 2,6-2,7 рази більше.

Зміни дорожніх умов викликають не тільки зміну вантажних і швидкісних режимів роботи механізмів і агрегатів автомобіля, але і, в значній мірі, характеру дії навантажень - амплітуди і їх частоти. Особливо несприятливо вібрація впливає на термін служби і надійність радіатора, електричних частин, несучих кузовів автомобілів і автобусів, довговічність деталей пружинної підвіски.

Кліматичні та сезонні умови мають великий вплив на надійність автомобіля. Такі фактори, як зміна температури навколишнього середовища (зокрема, її зниження), погіршення дорожнього покриття або поломка деталей транспортного засобу.

Дослідженнями встановлено вплив сезонних змін умов і інтенсивності експлуатації на потік відмов транспортних засобів (рис. 1.7).

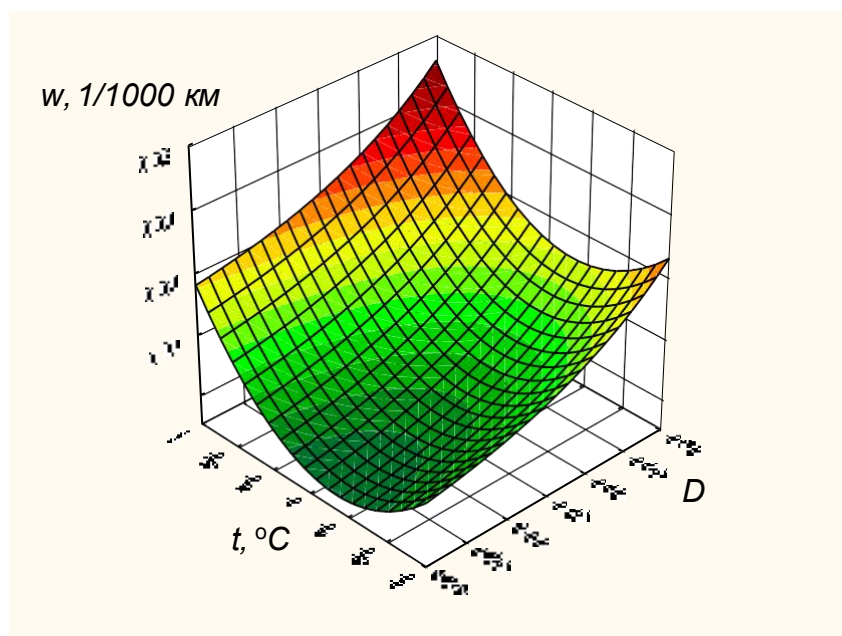


Рис. 1.7. Вплив температури повітря і атмосферних опадів на параметр потоку відмов двигунів КамАЗ-4310

Кожен з факторів експлуатації автомобіля змінюється в часі. Особливо це характерно для кліматичних умов в яких спостерігається циклічність, проявляюча в зміні сезонів року.

Дослідники розглядають закономірності зміни умов експлуатації в часі. До найважливіших факторів кліматичних умов експлуатації автомобіля відносяться температура і вологість навколишнього середовища.

1.4. Способи поставки запасних частин

Вивчення вітчизняного та зарубіжного досвіду організації логістики та логістики (матеріально-технічного забезпечення) показало, що ця складна проблема вирішується за рахунок використання складського методу просування промислово-технічної продукції від виробників до споживачів, який полягає в централізації запасів різного рівня за номенклатурою та обсягом. На складах чергового рівня номенклатура, що зберігається, ширше, а запаси по кожній позиції більше і т. д. І, нарешті, вся номенклатура запасних частин і найбільші запаси по кожному найменуванню деталей зберігаються на центральному складі, наприклад, виробника даного автомобіля.

Метод визначення номенклатури та обсягів запасних частин, які повинні зберігатися на кожному складі, та процес підтримання цих запасів на необхідному рівні називається управлінням запасами. Процес управління запасами на складах різного рівня здійснюється різними методами. В основному, найбільш поширений поділ всього асортименту запчастин для кожної моделі авто за частотою попиту на групи, наприклад, А, В і С.

Перша група (запчастини підвищеного попиту) включає в себе близько 10% від загального асортименту запасних частин (100-150 найменувань). Вони задовольняють близько 85% замовлень споживачів, а вартість становить близько 70% від вартості всіх предметів. Саме ці деталі найчастіше виходять з ладу, а більшість несправностей усувається шляхом їх заміни на АТФ[10].

Друга група (деталі середнього попиту) включає 15% від загальної номенклатури, але вони задовольняють лише 10% потреби в запасних частинах, а

вартість не перевищує 20%. Третя група (зачастини рідкісного попиту) включає 75% від загальної номенклатури (600-700 найменувань). Вони задовольняють лише 5% потреби в запасних частинах, а вартість не перевищує 10%.

Визначення нечисленних за номенклатурою деталей, але важливих за витратою і вартістю (група А), а також матеріалів і деталей, які слід віднести до груп В і С, здійснюється за допомогою графіка, наведеного на рис. 1.8.

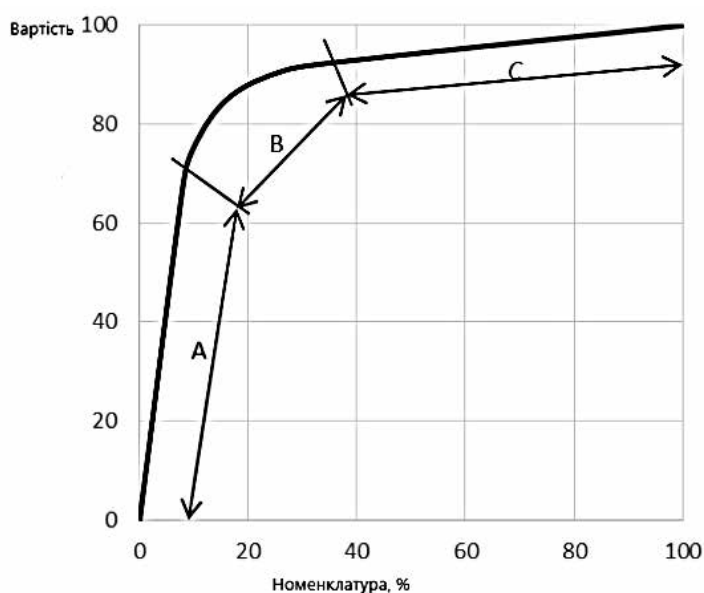


Рис. 1.8. Графік проведення аналізу взаємозв'язку між номенклатурою і вартістю деталей і матеріалів

Економічні та математичні методи засновані на визначенні таких оптимальних розмірів і частоти замовлень, при яких витрати на прийом і зберігання однієї деталі мінімальні. Вхідними даними для визначення розміру і частоти замовлення є: річна потреба V в деталях у вартісному вираженні; витрати S , пов'язані з розміщенням та отриманням замовлення, витрати C на утримання запасної одиниці.

Якщо замовити всі готові деталі одночасно, то витрати на оформлення і доставку замовлення на одну одиницю замовлення будуть мінімальними, а витрати, пов'язані зі зберіганням, максимальними. Наприклад, при річній потребі в 300 деталей і разовому замовленні протягом року запас буде варіюватися від максимального (рис. 1.9), рівного 300, до мінімального, рівного (за вирахуванням страхового запасу) до нуля. При цьому витрати на зберігання будуть визначатися

середнім рівнем запасів в 150 деталей.

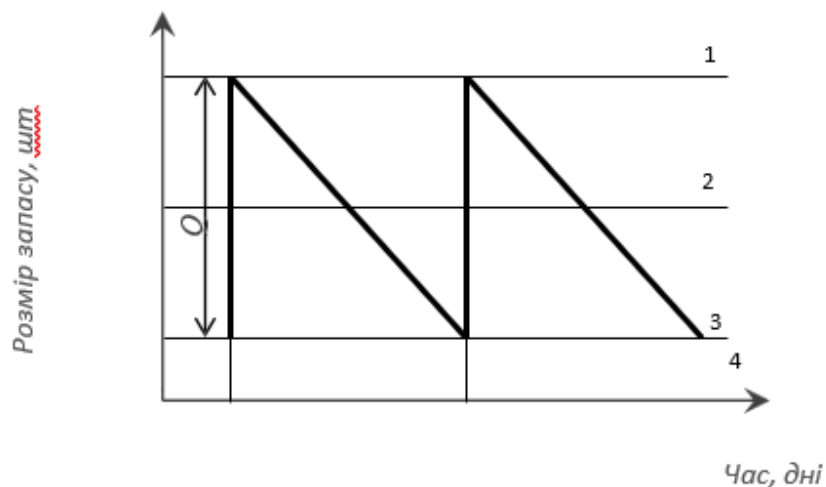


Рис. 1.9. Регулювання рівня запасу: 1 - максимальний рівень запасу; 2 - середній рівень запасів; 3 - мінімальний рівень (резерв); 4 - нульовий рівень запасу.

Якщо розмір замовлення зменшиться в 10 разів (до 30 деталей), то витрати на зберігання будуть визначатися новим середнім розміром - 15 штук, тобто вони будуть скорочуватися, а витрати на оформлення і доставку замовлення збільшаться (замість одного - 10 замовлень).

Для планування необхідного обсягу виробництва запасних частин за основу слід брати показник норми витрати автомобільних запчастин, який може об'єктивно регулювати процеси. Існують різні методи визначення витрати запасних частин (рис. 1.10).

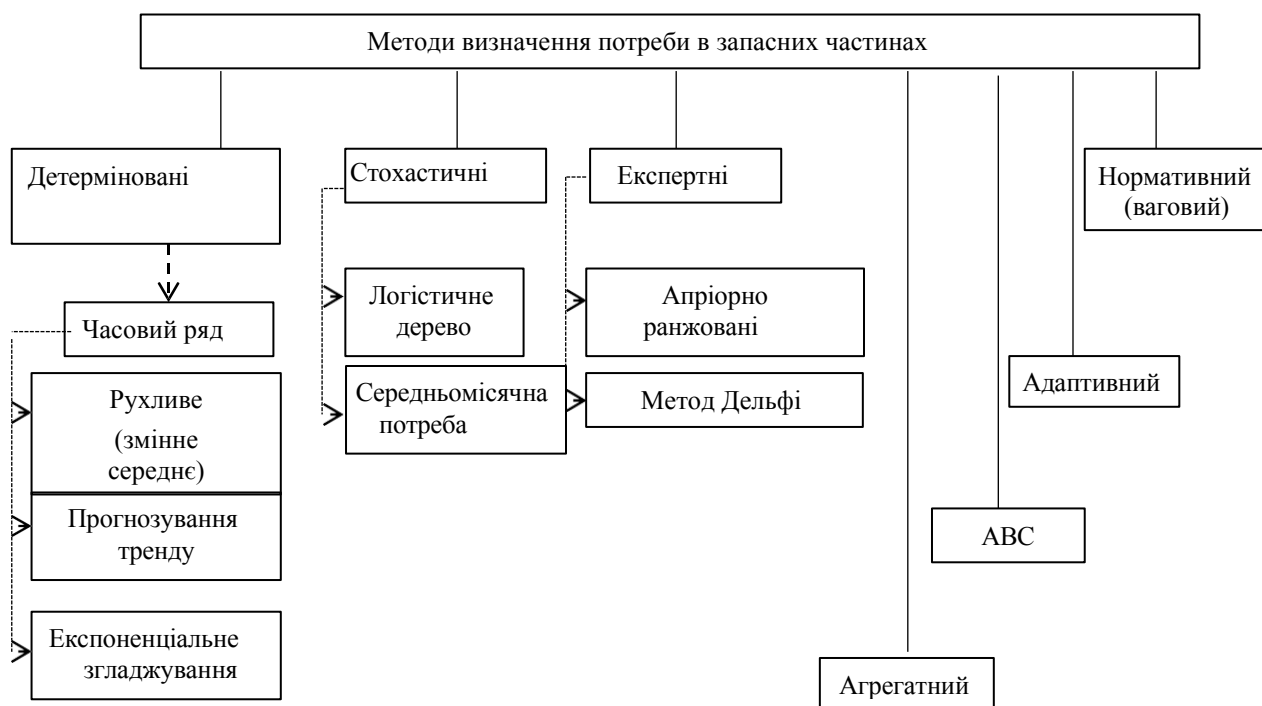


Рис. 1.10. Методи визначення потреби в запасних частинах

Для найбільш ефективного використання методів визначення витрати запасних частин необхідно використовувати в якості вихідних даних числові значення, які можливо отримати в оперативному порядку і при поточних умовах експлуатації транспортних засобів.

Стратегія розвитку управління запасами в технологічних транспортних підрозділах нафтогазового комплексу Західного Сибіру здійснюється системою постачання з фіксованим інтервалом часу між поставками. Дана стратегія розвитку є доцільною, а її оптимізація не має значення для дослідження і не входить в обсяг дослідження. Завдання управління запасами зводиться до підбору обсягів замовлень і запасів запасних частин[5,8].

Надалі розглянемо систему інвентаризації в управлінні технологічного транспорту та департаменті механізованих робіт ТОВ «Газопостачальна компанія «Нафтогаз України». Тут можна виділити кілька рівнів з різними обсягами і специфікою зберігання:

- 1 - рівень - центральний склад господарюючого суб'єкта;
- 2 - рівень - склад структурних підрозділів;
- 3 - рівень - виробничий склад структурних підрозділів.

Система створення замовлень на поставку запчастин на кожен склад містить інформацію про наявність запасів на інших складах. Ця інформація знаходиться в єдиному центрі прийняття рішень, де згодом видаються замовлення постачальникам. Налагоджено прямий зв'язок між підприємствами і постачальниками в ТОВ «Газопостачальна компанія «Нафтогаз України». Такий спосіб поставок називається транзитною доставкою. Наявність прямого зв'язку прискорює реакцію виробників на нові вимоги до якості та асортименту матеріальних ресурсів, забезпечує ритмічні поставки, знижує кількість бракованої продукції. У системі транзитних поставок істотним недоліком є неможливість частих замовлень. Важливо враховувати таке поняття, як «Тариф транзитної доставки» - це обсяг партії, поставка якої вважається економічно обґрунтованою. Найчастіше для перевезення використовуються автоцистерни, вагони, платформи, контейнери.

З наведених вище даних можна зробити висновок, що оновлення

матеріальних запасів, і, зокрема, запасних частин, відбувається лише 4 рази на рік.

У питанні підтримки певного обсягу резервів вкрай важливо визначити їх необхідний рівень: надмірний обсяг резервів призводить до невиправданих витрат на їх утримання, а також «заморожує» кошти компанії; Недостатня кількість запасних частин призведе до низького технічної готовності рухомого складу, що безпосередньо вплине на основне виробництво.

Розглядаючи систему управління запасами ТОВ «Газопостачальна компанія «Нафтогаз України», важливо також враховувати наступний перелік статей витрат для відділів технологічного транспорту або відділів механізованих робіт:

1. витрати на зберігання товарно-матеріальних цінностей;
2. вартість місця для зберігання;
3. експлуатаційні витрати;
4. транспортні витрати всередині підприємства;
5. втрати від зниження споживчих якостей;
6. вартість поставки;
7. матеріальні збитки від нестачі запасних частин.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Загальна методологія дослідження

На основі висновків і завдань, викладених в кінці першого розділу, а також мети, формулюються об'єкт, предмет, гіпотези і загальна методика дослідження.

Об'єктом дослідження є процес формування потоку відмов пневмопідвіски автобусів великого класу з урахуванням сезонної зміни природно-кліматичних факторів.

Предметом дослідження є методика оцінки впливу сезонних умов на надійність пневмопідвіски автобусів великого класу.

Для вирішення поставлених завдань частково були використані результати аналізу попередніх досліджень з аналогічних проблем.

Теоретичні дослідження (рис. 2.1) ґрунтуються на системному підході. Відповідно до нього на першому етапі необхідно скласти схему досліджуваної системи, встановити її входи і виходи. Надалі система структурована. Тип споруди визначається елементами, що входять до її складу. Далі існують взаємозв'язки між цими елементами.

Одним з найважливіших етапів досліджень за вищеописаною схемою є підбір факторів, що істотно впливають на інтенсивність відмов пневмопідвіски автобусів великого класу. На основі попередніх досліджень був складений попередній список сезонних факторів. Необхідною умовою вибору є їх сприйнятливість до сезонних коливань. Після цього оцінювалися кореляції між ними, вибиралися незалежні фактори[14].

Емпіричний підхід був використаний для створення моделі, яка визначає, як сезонні природно-кліматичні фактори впливають на потік відмов пневмопідвіски великих автобусів. За основу висувається гіпотеза про тип моделі, після чого визначено числові значення його параметрів. На основі таким чином моделей була розроблена методика розрахунку необхідної кількості запасних частин.



Рис.2.1 Збільшена система дослідження

2.2. Методика визначення необхідної кількості запасних частин для пневмопідвіски автобусів великого класу

Для встановлення закономірностей формування потоку відмов пропонується використовувати системний підхід.

Можна виділити наступні етапи дослідження:

1. визначення критерію ефективності функціонування

досліджуваної системи;

2. структурування системи (виявлення окремих елементів);
3. вивчення закономірностей і залежностей між елементами;
4. моделювання систем;
5. визначення шляхів практичного використання отриманих результатів.

Цільова функція визначається як мінімум операційних витрат.

Основним завданням транспортного підприємства є виконання обсягу транспортних робіт в заданому часовому інтервалі.

Цільова функція матиме вигляд:

$$Z_{\Sigma} \rightarrow \min \quad (2.1)$$

При розгляді компонентів, що входять до складу Z_{Σ} , можна відзначити залежність компонентів від формування потоку відмов. Головне в цільовій функції - це вартість поточного ремонту автомобілів. Важливо враховувати, що частина витрат пов'язана з транспортуванням, зберіганням, підтриманням рівня запасів запасних частин в розрізі поточної діяльності та страхових випадків.

$$Z_{\text{заг}} = Z_{\text{втр}} + Z_{\text{прос}} + Z_{\text{збер}} + Z_{\text{зак}} \rightarrow \min \quad (2.2)$$

де $Z_{\text{втр}}$ – втрачений прибуток простою рухомого складу через нестачу запасних частин.

$Z_{\text{прос}}$ – втрати, пов'язані з простоем основного виробництва через відсутність бригади робітників через відмову транспортного засобу вийти на лінію.

$Z_{\text{збер}}$ – збитки, пов'язані зі зберіганням запасних частин на складі.

$Z_{\text{зак}}$ – збитки, пов'язані з придбанням запасних частин.

У зв'язку з цим визначити критерій мінімальних загальних витрат можна наступним чином (рис. 2.2).

Для компанії важливо витримати баланс між низькою вартістю використання автомобільного транспорту та підтриманням належного рівня запасів, від яких залежала б безперебійна робота автомобілів.

У цьому варіанті критерій успішного функціонування досліджуваної системи вимірюється в рамках забезпечення надійності автомобіля. У зв'язку з цим можна забезпечити безперебійну роботу рухомого складу і основного виробництва.

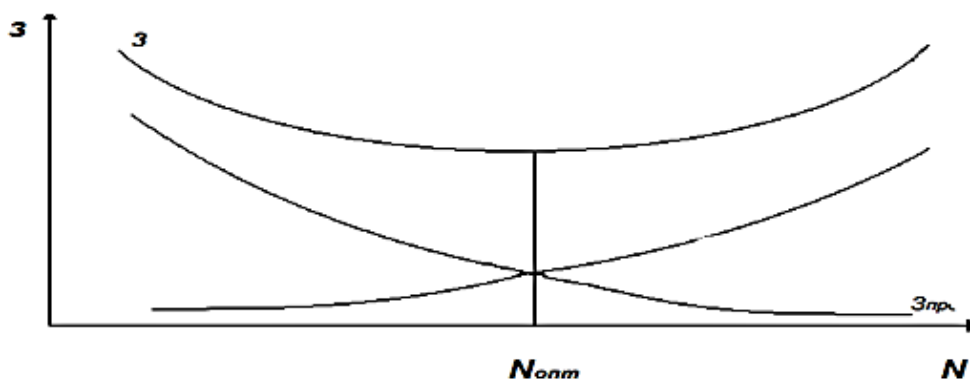


Рис. 2.2. Визначення необхідної кількості запасних частин, за критерієм мінімальних сумарних витрат

2.3. Схема концептуальної моделі формування необхідної кількості запасних частин

У більшості досліджень, проведених раніше на суміжну тему, що розглядається система представлена у вигляді «чорного ящика», при цьому розглядається взаємозв'язок між входом і виходом. Але, на думку дослідників, до недоліків такого підходу можна віднести вузьку область використання. Неможливість винесення значень параметрів моделі за межі умов, для яких вони визначені. Для усунення цього недоліку необхідно також встановити закономірності взаємодії елементів досліджуваної системи (рис. 2.3)[22]. Представлена схема концептуальної моделі, яка дозволяє врахувати ці закономірності.

Деякі з закономірностей (зміна часу, інтенсивності і умов експлуатації) відносяться до динамічного ряду. Значення вихідних параметрів формуються за трендовими, періодичними і випадковими складовими. Кількість необхідних запасних частин в загальному випадку залежить від частоти відмов λ і часу роботи всіх транспортних засобів для розглянутого періоду:

$$N_{opt} = f(\lambda, L_{заг}) \quad (2.3)$$

У наступних розділах даного дослідження висувається гіпотеза про тип математичних моделей.

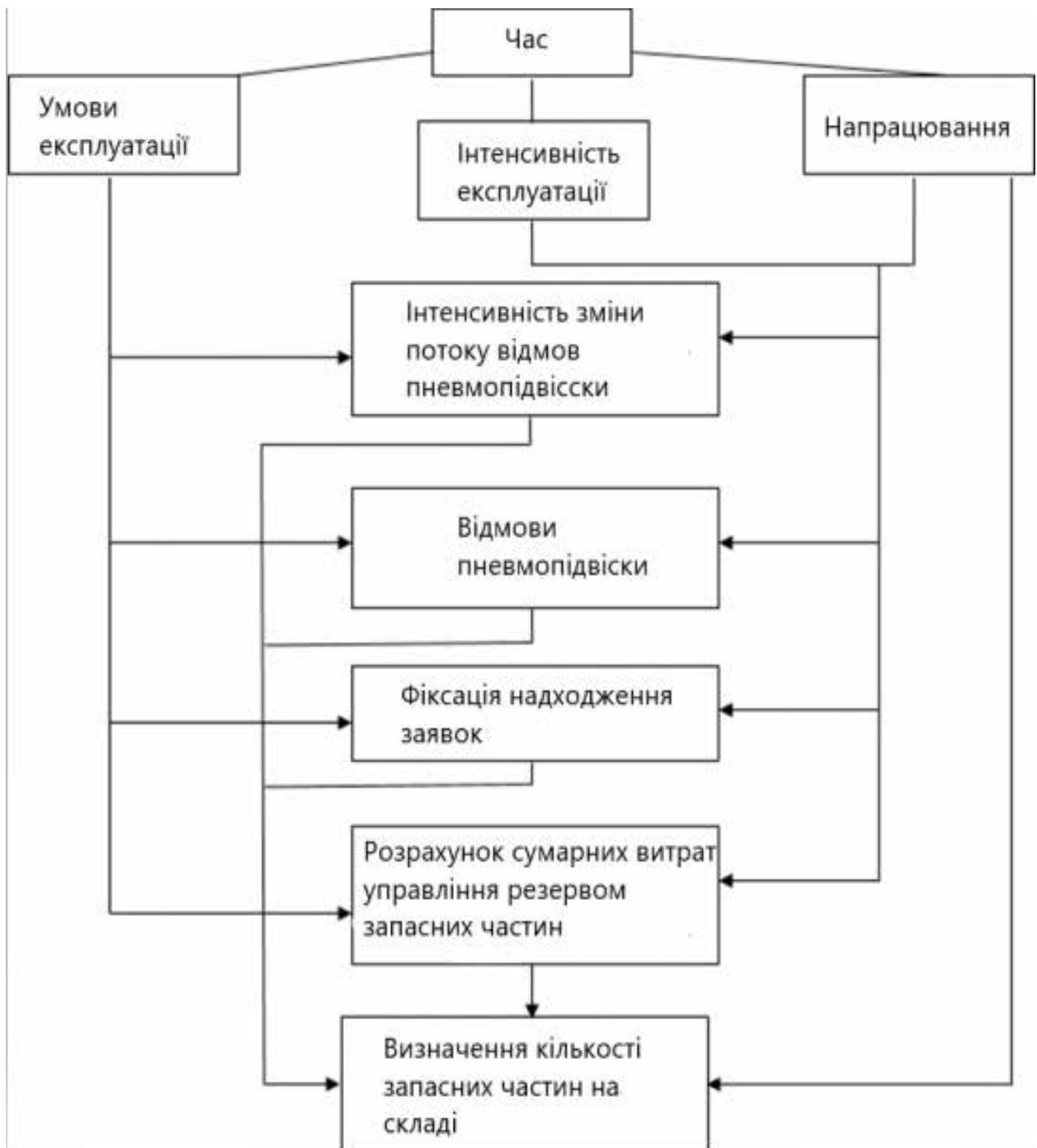


Рис. 2.3. Схема концептуальної моделі: визначення кількості запасних частин

2.4. Локалізація системи

Локалізація системи зводиться до підбору значущих факторів, що визначають зміну виходів досліджуваної системи.

Перший з факторів - температура повітря - змінюється в часі (T) і, виходячи з цього, формує три складові (середньорічні, середньомісячні і добові коливання). При цьому важливо враховувати амплітуду середньомісячних значень температури повітря в порівнянні з середньорічними значеннями (в

даному випадку можна вказати на сезонну складову). Однак слід зазначити, що добові коливання температури формують середньомісячні значення, і, відповідно, випадкові складову. В загальному:

$$t_{\text{воз}} = f(T) \quad (2.4)$$

Другим фактором з точки зору впливу на надійність елементів пневмопідвіски є атмосферні опади. Інтенсивність опадів ($h_{\text{он}}$) багато в чому залежить від вологості, а вологість, в свою чергу, залежить від температури повітря і календарного часу:

$$h_{\text{он}} = f(T, t_{\text{воз}}). \quad (2.5)$$

Третім фактором є інтенсивність експлуатації, яка в цілому змінюється з часом. Під інтенсивністю експлуатації в першу чергу розуміють пробіг автомобіля за певний проміжок часу, наприклад, добу. Характеризується середньорічними, місячними, середньодобовими значеннями.

$$l = f(T) \quad (2.6)$$

Автобуси великого класу, призначені для перевезення персоналу до місця основного виробництва за фіксованими маршрутами, характеризуються відносною сталістю інтенсивності і не схильні до сезонних змін.

Пробіг від початку експлуатації (час експлуатації) залежить від інтенсивності експлуатації, яка змінюється з часом при виконанні транспортним засобом транспортних робіт:

$$L = f(T) \quad (2.7)$$

Якщо проміжок часу між подіями (збоями) розподілити за експоненціальним законом, то число подій в даному інтервалі розподіляється за законом Пуассона. Інтенсивність відмов залежить від умов експлуатації X і пробігу від початку експлуатації:

$$\lambda = f(X, L). \quad (2.8)$$

Крім перерахованих вище факторів, необхідно також враховувати рівень організації системи управління запасами O , він впливає на простой в системі (простій через відсутність запасних частин) і може виражатися в наступному:

$$t_{\delta} = f(O, T, \lambda, N_{pp}) \quad (2.9)$$

Визначивши фактори, занесемо їх в таблицю (табл. 2.1).

Таблиця 2.1. Початковий перелік факторів

Найменування фактору	Найменування факторних показників	Літерне позначення
1	2	3
Температура повітря	Середньомісячна температура, °C	t
Вологість (в зимовий період)	Кількість днів з опадами за місяць, одиниці	N
	Щомісячні опади	D
	Середня кількість опадів за добу, мм	h

2.5. Вплив сезонних змін природно-кліматичних умов на надійність пневматичної підвіски автобусів великого класу

Як зазначалося вище, потреба в запчастинах для пневмопідвіски автобусів залежить від частоти відмов і загального пробігу автобусів протягом аналізованого періоду. Для моделювання процесу формування потоку відмов необхідно визначити вплив сезонних умов на частоту відмов. При цьому важливо розуміти фізичну суть процесів, що визначають інтенсивність збоїв.

У попередньому розділі ми обговорювали сезонні фактори, які впливають на частоту відмов. У таблиці 2.2 наведено вплив природних і кліматичних факторів на фізичні властивості пневмопідвіски [26].

На рис. 2.5 показана 3-D модель пневмобалона шини, відзначено утворення льоду на направляючому і шланговому елементі для шини великого класу KAROSA C-934.

Таблиця 2.2. Вплив сезонних змін природно-кліматичних факторів на властивості пневмопідвіски

Найменування фактору	Найменування факторних показників	Вплив фактору
Температура повітря	Середньомісячна температура	Втрата еластичності, сили
Опадів	Кількість днів з опадами на місяць	Стадія деформації, розриву
	Інтенсивність опадів	Стадія деформації, розриву

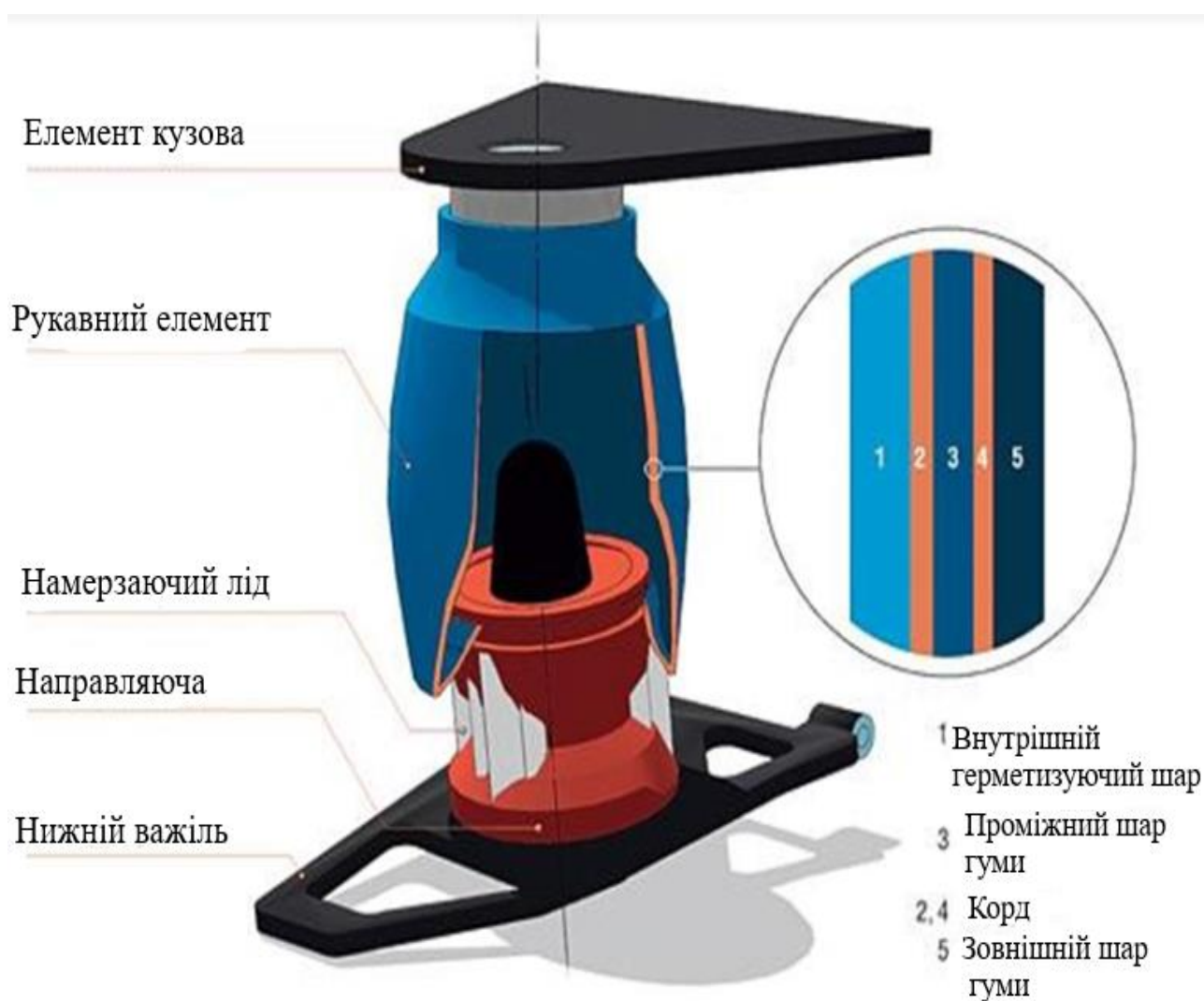


Рис. 2.5. 3-D модель пневмобалона автобуса KAROSA C-934

Пневмобалон складається з 2 шарів тканинного корду, поліамідних ниток, які дозволяють забезпечити гнучкість циліндра, ущільнювальний шар з еластомеру, обмотувального корду зі сталевго дроту та синтетичного каучуку. Поліамідні нитки, в свою чергу, поділяються на еластомери і термопласти. Еластомери - це полімери з високоеластичними властивостями. Термопласти - це різновид полімеру, який характеризується низькою температурою складання. Автобуси, що використовуються в ТОВ «Газопостачальна компанія «Нафтогаз України», оснащені пневматичними балонами на основі термопластів. Вони мають більш низьку температуру складання в порівнянні з натуральним каучуком, що при низьких температурах навколишнього середовища впливає на гнучкість тканини (поліамідні нитки), призводить до затвердіння матеріалу і його руйнування.

У зимовий час на пневмопідвіску впливає низька температура повітря і опади (сніг). При низьких температурах повітря полімерний матеріал термопластичний руйнується.

Великі автобуси часто рухаються по засніженій дорозі, що призводить до налипання снігу в колісних арках (рис. 2.5). При відносно тривалому пробігу автобуса з однієї точки в іншу відбувається обмерзання пневмобалону і захисного кожуха біля колеса. Це в подальшому призводить до протирання і розриву корду і виходу з ладу пневмобалону.

У літню пору зазвичай відривається притискне кільце і елемент гумо-кордного рукавного елемента. Гумо-кордовий рукав складається з гумової оболонки і внутрішнього металевго каркаса. Через відрив затискного кільця вода потрапляє на металевий каркас (сталевий дріт, що обмотує скелет). До наступного сезону пневмобалон виходить з ладу через розрив каркаса або мікротріщин в пневмобалоні.

2.5. Математичні моделі впливу кліматичних факторів на інтенсивність відмов пневматичної підвіски автобусів великого класу

Емпіричний підхід був використаний для розробки математичних моделей впливу кліматичних факторів на інтенсивність відмов пневматичної підвіски.

Спочатку на основі аналізу асимптотики залежностей висуваються гіпотези про тип

моделей, потім на основі експерименту ці гіпотези перевіряються, і визначаються числові значення включених в них параметрів.

Аналіз показав, що серед природно-кліматичних факторів найбільший вплив на надійність пневмопідвіски має температура повітря t і частка днів з опадами D .

При зміні температури повітря змінюється пружність і міцність на розрив матеріалів пневмобалону. При низьких температурах матеріали втрачають еластичність, а їх деформація призводить до появи тріщин. При певній кількості циклів навантаження циліндр розривається. При підвищенні температури матеріал стає більш еластичним, але при високих температурах його міцність знижується. Це підвищує ймовірність виходу з ладу під час роботи підвіски.

Беручи до уваги вищесказане, можна припустити, що залежність інтенсивності відмов пневмобалону від температури навколишнього повітря близька до параболи з мінімумом близько $10 \dots 20$ °С. Для його опису можна використовувати поліном 2-го ступеня:

$$\lambda = \alpha_0 + \alpha_1 t + \alpha_2 t^2 \quad (2.10)$$

де $a_0 \dots a_2$ – параметри моделі (емпіричні коефіцієнти).

Вплив частки днів з опадами на інтенсивність відмов неоднозначний. При температурі повітря нижче 0 °С збільшення D призводить до утворення стійкого обмерзання елементів підвіски і механічного впливу на пневмопружину, що підвищує ймовірність виходу з ладу. При позитивних температурах збільшення D може, навпаки, позитивно позначитися на умовах роботи пневмопружини за рахунок її охолодження дощовою водою. Закономірність описується степеневою моделлю виду:

$$\lambda = b_1 D^{b_2} \quad (2.11)$$

де b_1, b_2 – параметри моделі (емпіричні коефіцієнти)

Для розробки багатоваріантних моделей проводиться множення вихідних однофакторних моделей. Після цього коефіцієнти моделі позначаються новими силами. Багатоваріантна модель зі змішаними ефектами виходить:

$$\lambda = A_0 + A_1 t + A_2 t^2 + A_3 t D^{A_6} + A_4 t^2 D^{A_6} + A_5 D^{A_6} \quad (2.12)$$

де $A_0 \dots A_6$ – параметри моделі (емпіричні коефіцієнти).

Далі потрібно з'ясувати, наскільки необхідно використовувати змішані ефекти. Для цього потрібно порівняти модель за основними ефектами:

$$\lambda = A_0 + A_1 t + A_2 t^2 + A_3 t D^{A_6} \quad (2.13)$$

із моделлю зі змішаними ефектами після експерименту.

2.7. Розробка імітаційної моделі досліджуваної системи

Ефективність роботи автомобільного транспорту залежить від умов експлуатації, які змінюються в залежності від сезонів року. Найбільше різняться температура повітря, опади і стан доріг. При значній сезонній зміні природно-кліматичних умов відомі методи планування технічного обслуговування (ТО) і ремонту (Р) не дозволяють в ряді випадків забезпечити зазначений рівень виконання: нормативи ресурсу елементів транспортного засобу, витрати запасних частин не відповідають реалізованій довговічності та фактичному споживанню; нормативи періодичності проведення технічного обслуговування не забезпечують зазначену технічну готовність; нормативні параметри виробничо-технічної бази не відповідають потребам у виробничих ділянках, постах обслуговування та ремонту.

Це пов'язано з тим, що теоретичні основи використовуваних систем технічного обслуговування і ремонту, методи коригування нормативів недостатньо враховують змінний характер природно-кліматичних умов. При цьому нормування витрати запасних частин на рівні транспортного засобу здійснюється за часом експлуатації, а на рівні підприємства - за часом. Ця розбіжність може впливати на точність розрахунків, а сила впливу залежить від зміни природно-кліматичних умов у часі.

У зв'язку з цим проводять дослідження, спрямовані на розробку комплексу теоретичних положень, що дозволяють адекватно інтерпретувати і моделювати процеси зміни якості вагонів і їх груп з урахуванням сезонної зміни умов і інтенсивності експлуатації, а також розробляти практичні методи підвищення ефективності використання рухомого складу.

Частиною цих досліджень є вивчення надійності елементів пневмопідвіски автобусів. Від надійності автобусної доставки залежить комфорт і безпека пасажирів. У конструкції підвіски використовуються пневмобалони. У зимовий період кількість їх відмов значно збільшується в порівнянні з літнім. Це призводить до нерівномірної потреби в запасних частинах. Щоб уникнути простоїв автобусів через відсутність запасних частин, а також для ліквідації надлишкових запасів, необхідно знати закономірності формування потоку відмов пневмопідвіски автобусів великого класу з урахуванням впливу сезонної варіації умов експлуатації, що дозволяє удосконалити методику визначення потреби в запасних частинах на цій основі.

На першому етапі досліджень був встановлений повний перелік факторів, що впливають на надійність підвіски. Потім був проведений попередній відбір за результатами раніше проведених досліджень і висунута гіпотеза про перелік значущих факторів. Остаточний відбір проводився на підставі результатів досліджень.

Далі була розроблена структура досліджуваної системи. Загальна схема імітаційної моделі системи управління запасами була розроблена на основі базових моделей формування якості автомобілів.

При розробці гіпотез про тип математичних моделей взаємодії елементів системи на першому етапі був проведений аналіз змістовної сутності досліджуваних залежностей. Потім висувуються гіпотези про тип однофакторних моделей. На їх основі розроблена багатовимірна регресійна модель.

Оскільки умови експлуатації автобусів з часом змінюються хаотично, то для визначення числа відмов в різні періоди року необхідно використовувати імітаційну модель.

Алгоритм складання імітаційної моделі представлений на рис. 2.6.

Спочатку число річних циклів моделювання встановлюється на N_{year} , потім початкові значення присвоюються номери поточних років, місяців і днів. Далі формується значення температури повітря і ймовірності опадів, а також кілометраж автобусів.

На наступному етапі формується інтенсивність відмов пневмобалону.

Отримані значення множать на інтенсивність роботи і кількість шин для розрахунку числа відмов.

Номер дня збільшується на одиницю і перевіряється стан кінця місяця. Якщо номер дня не перевищує число днів в місяці, то добовий цикл підрахунку числа відмов повторюється, в іншому випадку номер місяця збільшується на одиницю, і перевіряється стан кінця року. Якщо число місяця не перевищує 12, то цикл підрахунку числа відмов повторюється, в іншому випадку число року збільшується на одиницю, і перевіряється умова закінчення моделювання. Якщо умова закінчення моделювання не досягнута, то розрахунки продовжують за заданим циклом, в іншому випадку результати моделювання роздруковуються, а розрахунки закінчуються.

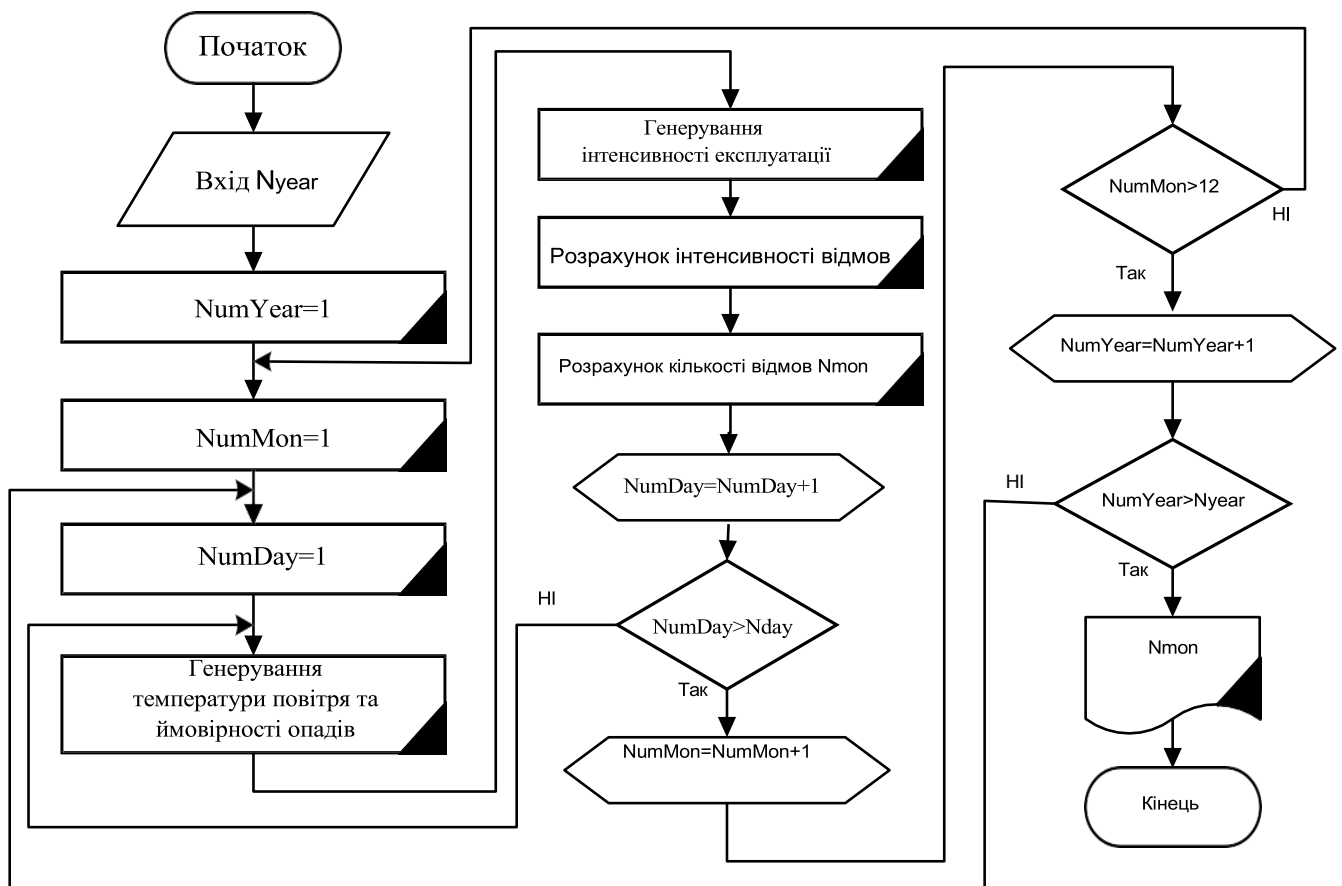


Рис. 2.6. Алгоритм імітаційної моделі впливу сезонних змін температури навколишнього повітря та інтенсивності опадів на кількість відмов пневмопідвіски автобуса

Випадкові складові температури повітря, опадів і швидкості роботи

автобуса утворюють випадкову складову числа відмов. Отримано з моделі розподілу кількості відмов дозволяють оцінити не тільки середню потребу в заміні пневмобалонів по місяцях, але і визначити запас балонів для виключення простоїв автобусів через їх відсутність із заданою ймовірністю.

РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Мета і задачі експериментального дослідження

В ході експерименту послідовно вирішувалися наступні завдання.

1. Визначення значущості факторів, обраних за результатами експертних оцінок.
2. Перевірка гіпотези про тип математичних моделей сезонних змін температури навколишнього повітря та інтенсивності опадів та визначення числових значень їх параметрів.
3. Перевірка гіпотези за типом математичної моделі впливу температури навколишнього повітря та інтенсивності опадів на інтенсивність відмов пневматичної підвіски автобусів великого класу.
4. Визначення числових значень параметрів математичної моделі впливу температури навколишнього повітря та інтенсивності опадів, інтенсивності відмов пневматичної підвіски автобусів великого класу.

3.2. Методика проведення експериментальних досліджень

Загальна методика експериментального дослідження проводиться в три етапи.

Перший етап – збір статистичних даних про температуру повітря та добову інтенсивність опадів.

Другий етап - збір даних про кількість відмов пневмопідвіски автобусів в експлуатації.

Третій етап - обробка результатів експерименту і їх аналіз.

В експерименті брали участь 6 марок автобусів великого класу. По кожній моделі автобуса був зібраний необхідний обсяг інформації: пробіг автобуса на момент відмови, кількість відмов, час проїзду. Технічне обслуговування, простої автобуса в результаті відсутності запчастин і кількості куплених деталей для заміни. Планування експерименту передбачає складання матриці експерименту, а також визначення обсягу вибірки в кожній точці планової матриці.

Таблиця 3.1. Автобуси великого класу з пневматичною підвіскою

№ пп	Марка	Кількість
1	КАРОСА-С934	128
2	КАРОСА-С954	98
3	ІКАРУС	128
4	ISUZU	149
5	IVECO	98
6	МАН	134

Планування експерименту передбачає складання матриці експерименту, а також визначення обсягу вибірки в кожній точці планової матриці.

У роботі для вирішення завдань експериментального дослідження був використаний пасивний експеримент - збір статистичних даних.

Раніше було висунуто припущення, що розподіл часу між відмовами пневмопідвіски підпорядковується закону Вейбулла.

У таких випадках, коли попередній аналіз показав, що розподіл істотно відрізняється від нормального, відносна похибка розраховується за допомогою імовірного калькулятора, після вибору відповідного закону розподілу.

В таблиці 3.2. представлена частина матриці плану експерименту. Розміри вибірок в кожній точці плану визначалися на основі довірчої похибки 0,10 і довірчої ймовірності 0,90.

Аналіз статистичних даних про несправності пневмопідвіски на підприємстві підтвердив, що найбільш значущими факторами, що впливають на надійність пневмобалонів, є температура повітря, частка днів з опадами та інтенсивність експлуатації. Збір даних про фактичну температуру та добову інтенсивність опадів проводився на основі статистичних даних архіву погоди по Україні за чотири роки. Результати зведені в таблицю (табл. 3.3).

Таблиця 3.2. Матриця плану експерименту по інтенсивності відмов пневмопідвіски

Цифра місяця	Календарний час, Місяць.	Інтенсивність відмов, 1/1000 км
1	Січень	Л1
2	Лютий	Л2
...
12	Грудень	Л12

Таблиця 3.3. Статистичні спостереження за температурою та інтенсивністю опадів

Цифра місяця	Дата – температура, °С	Дата – кількість опадів, мм
1	01.01.10 - -12	01.01.10 – 6,4
	02.01.10 - -18	02.01.10 – 3,2
	03.01.10 - -10	03.01.10 – 2,4

2	01.02.11 - -14	01.02.11 – 5,6
	02.02.11 - -17	02.02.11 – 8,3
	03.02.11 - -18	03.02.11 – 7,9

...
12	01.12.14 - -9	01.12.14 – 2,1
	02.12.14 - -11	02.12.14 – 1,9
	03.12.14 - -19	03.12.14 – 1,5

Методика збору даних про інтенсивність експлуатації та відмов транспортних засобів

Дані про інтенсивність експлуатації були отримані за звітними даними транспортних підприємств терміном на чотири роки.

Джерела інформації: автобусні шляхові листи, картки обліку роботи автомобілів, бази даних автопідприємств, акти прийому-передачі в ремонт і заміну деталей. Всі вони були зведені в таблиці (табл. 3.4).

Таблиця 3.4. Підсумок пробігу автобуса та несправностей

Дата	Штамп	Номер автомобіля	Відмова	Пробіг з Початок експлуатації	Пробіг за місяць
24.08.2009	Компанія Ivesco	35	1	101 786	1021
...

Отримана вихідна інформація була впорядкована і систематизована. В результаті був визначений середній показник відмов за кожен місяць

$$\lambda = \frac{N}{L_{\text{заг}}}, \quad (3.1)$$

де N – кількість відмов пневмопідвіски за місяць;

$L_{\text{заг}}$ - сумарний пробіг всіх автобусів цієї марки.

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Закономірність розподілу часу роботи при виході з ладу пневмопідвіски автобусів

Результати експериментів для автобусів KAROSA-C934 представлені на рис. 4.1 - 4.3. Результати обробляються за відомими методиками. Отримані дані групуються за марками і моделями автобусів, а також за типами відмов.

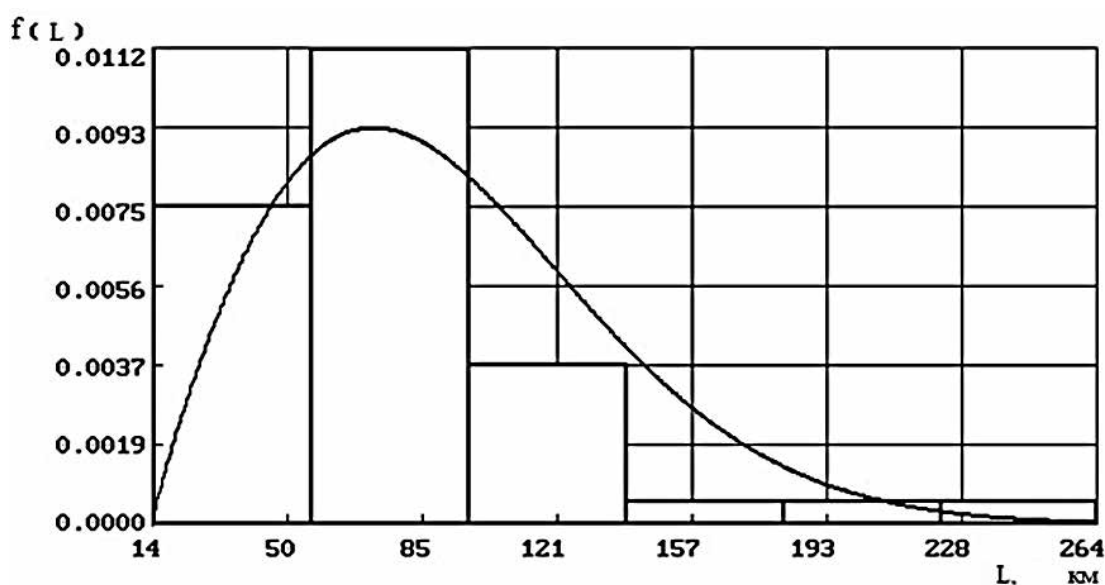


Рис.4.1. Проміжок часу між відмовами пневмопідвіски автобуса KAROSA-C 934 за (2018 рік)

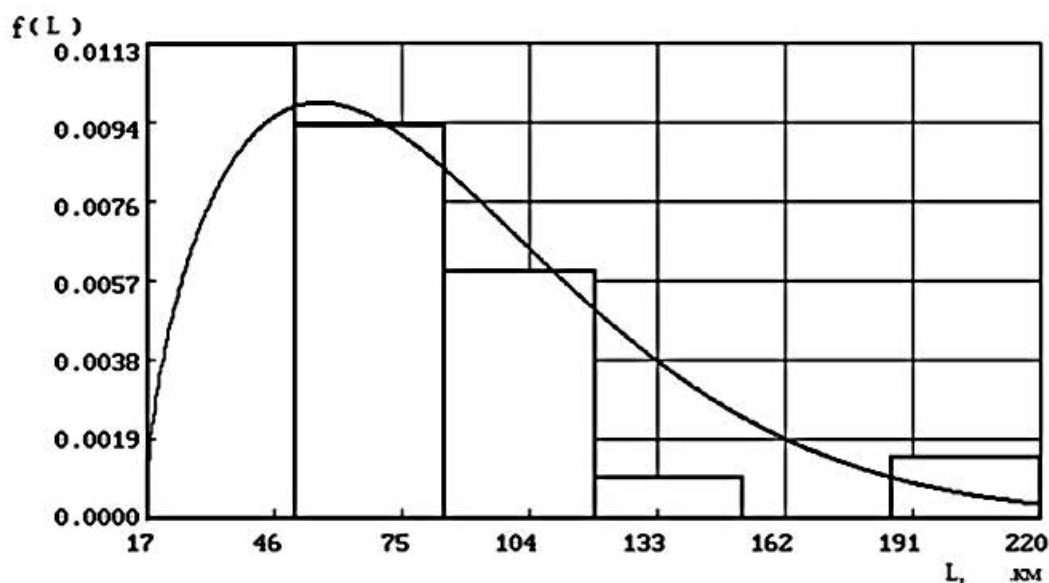


Рис.4.2. Проміжок часу між відмовами пневмопідвіски автобуса KAROSA-C 934 (2019 рік)

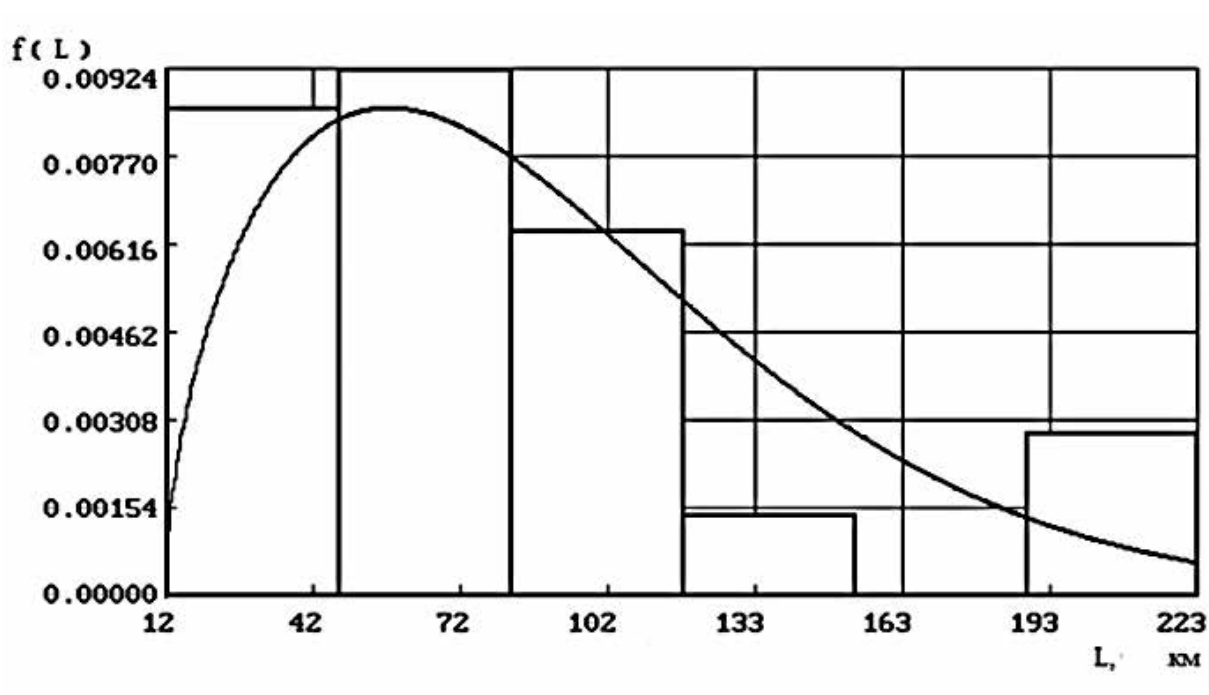


Рис.4.3. Час роботи пневмопідвіски автобуса KAROSA-C 934 за (2020 рік)

При обробці результатів експерименту було встановлено наступне.

Час між виходами з ладу пневмопідвіски автобусів варіюється в діапазоні від 20 до 180 тис км, коефіцієнт варіації становить від 0,38 до 0,57. Найкраще наближення емпіричних розподілів забезпечує закон логарифмічної норми або закон Вейбулла.

Рис. 4.4 - 4.5 показано пневмобалон, який вийшов з ладу взимку. Тут можна побачити залишки льоду, який, впливаючи на балон при його деформації під час руху, викликає його прискорене руйнування.

На основі проведеного дослідження сформульовано такі висновки.

1. Інтенсивність відмов пневмопідвіски автобусів великого класу коливається в широких межах. Це викликає нерівномірне завантаження постів технічного та ремонтного обслуговування, потребу в запасних частинах.

2. Переважна більшість відмов можна визначити як раптові, що виникають в результаті дискретних процесів зміни технічного стану, що виключає можливість індивідуального прогнозування потоку відмов.



Рис.4.4. Намерзання льоду на пневмобалоні автобуса KAROSA C-934



Рис.3.5. Утворення крижаної кірки в захисному кожуху пневмобалону автобуса KAROSA C-934

3. Передбачається, що на ймовірність збоїв впливає фактор або група факторів, що змінюються в часі, що визначає широкий інтервал варіації інтенсивності відмов.

4. З огляду на широкий діапазон варіативності, неможливо апріорі визначити доцільність профілактичної заміни пневмобалонів. Для цього потрібні спеціальні дослідження.

5. Отримані дані про середню частоту відмов дозволяють змодельовати потік вимог по заміні пневмобалонів. Використання результатів моделювання на практиці дозволяє скоротити час простою автобусів і очікування ремонту, знизити витрати на оборотні кошти і витрати на експлуатацію автобусів.

4.2. Сезонні зміни інтенсивності відмов пневмопідвіски в автобусах великого класу

Як було встановлено раніше, температура повітря і пропорція днів з опадами значно різняться в залежності від сезонів року. У цих дослідженнях була висунута гіпотеза про те, що ця зміна призводить до зміни інтенсивності відмов пневмопідвіски. Для перевірки цієї гіпотези був використаний апарат гармонічного аналізу.

Відповідно до методики оцінки значущості сезонних змін параметрів транспортної системи експериментальні значення досліджуваних показників апроксимуються гармонічною моделлю. Потім гармоніки лінеаризуються шляхом підстановки змінних. Після цього оцінюється щільність лінійної залежності між досліджуваним показником і лінеаризованою гармонікою. Для цього розраховується коефіцієнт парної кореляції, значимість якого оцінюється за критерієм Стьюдента.

Результати експерименту по оцінці сезонних змін інтенсивності відмов пневмопідвіски автобусів великого класу представлені на рис. 3.6 -3.7. Результати аналізу отриманих результатів показали, що найвище значення коефіцієнта кореляції відповідає першій гармоніці, воно становило 0,841, для другої гармоніки – 0,158, для другої гармоніки – 0,158 для третьої гармоніки – 0,418, четвертої гармоніки – 0,147, п'ятої гармоніки – 0,264.

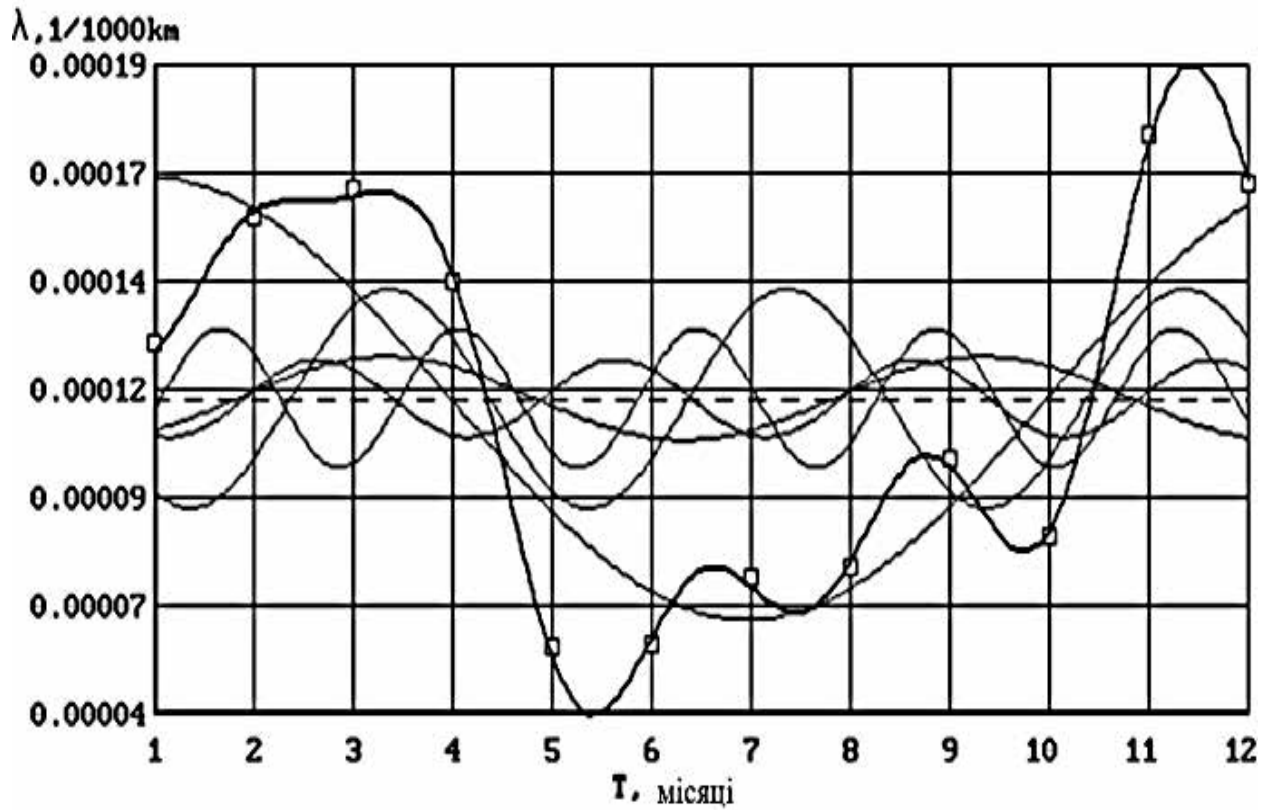


Рис. 4.6. Зміна інтенсивності відмов автобуса KAROSA-C934 за часом (2018 рік)

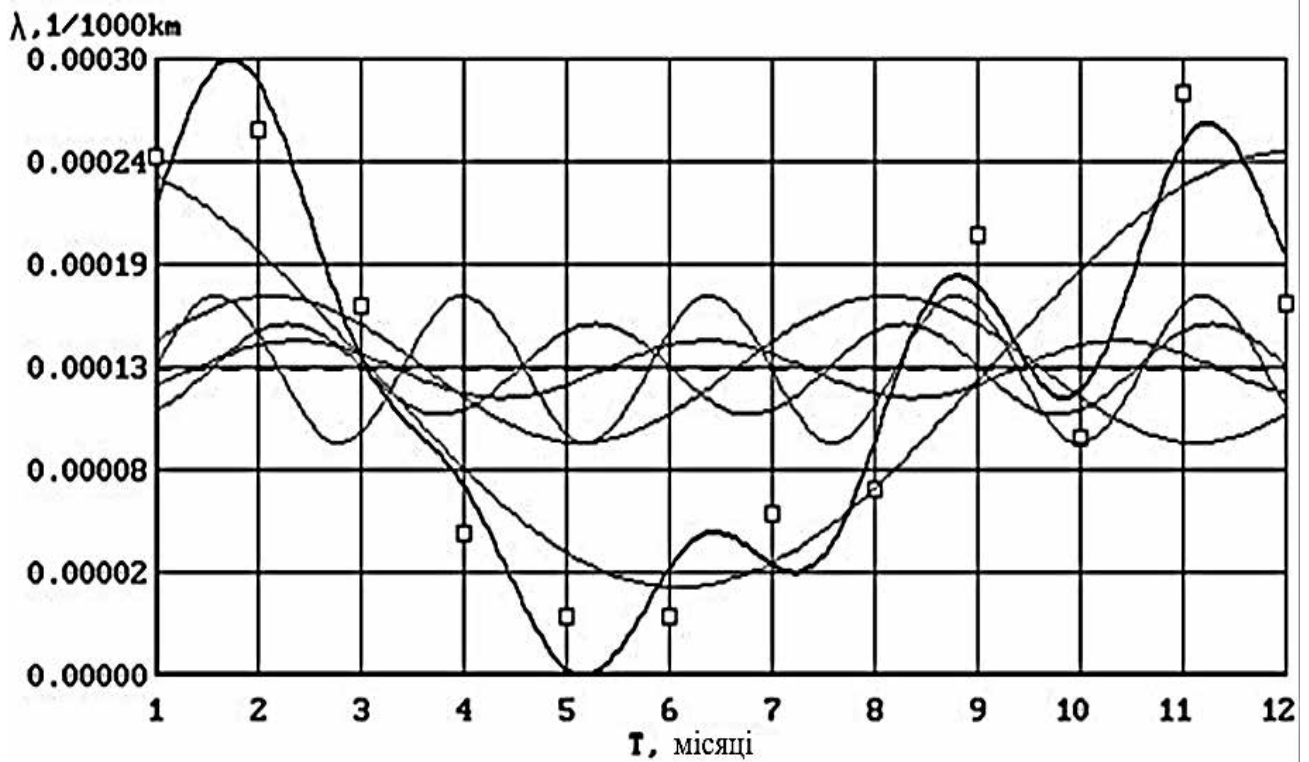


Рис. 3.7. Зміна інтенсивності відмов пневмопідвіски автобуса KAROSA-C934 (2015 рік)

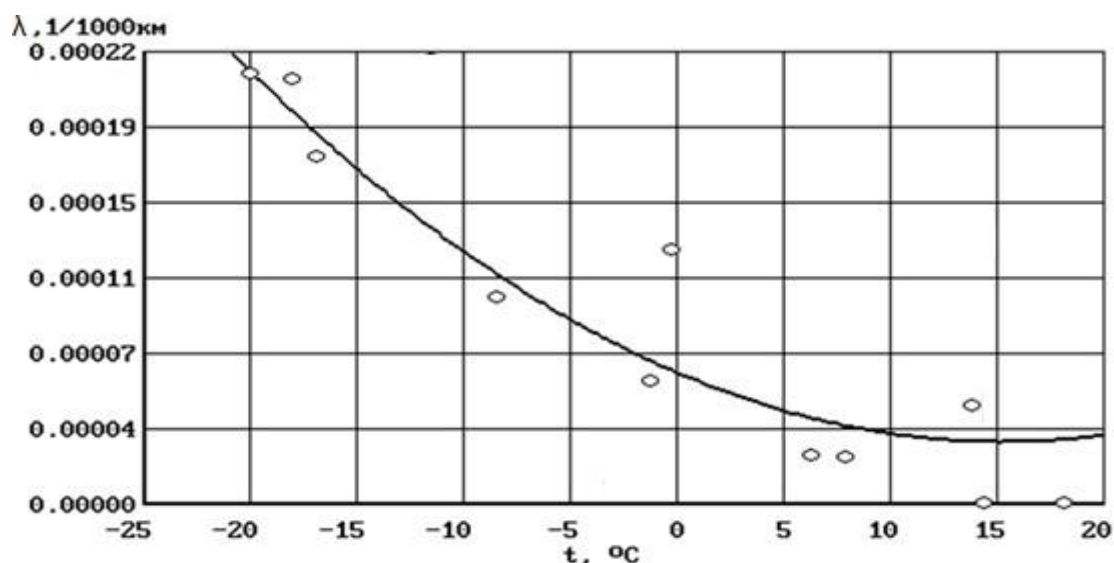
Тестування за критерієм Стьюдента показало, що коефіцієнт кореляції для першої гармоніки є значущим з ймовірністю більше 0,95. Це свідчить про значний вплив сезонних умов на інтенсивність відмов пневмопідвіски в автобусах великого класу.

Аналіз статистичних даних про температуру навколишнього середовища показав, що гармонічні моделі можуть використовуватися і для температури. Графіки зміни температури за календарними датами протягом чотирьох років, що накладаються один на інший, показують стійку картину зміни температури протягом року.

4.3. Перевірка гіпотез про тип математичних моделей впливу температури повітря і частки днів з опадами на частоту відмов пневматичної підвіски автобусів

Для перевірки гіпотези про тип математичних моделей впливу температури повітря та частки днів з опадами на частоту відмов пневматичної підвіски великих автобусів було розраховано частоту відмов пневматичної підвіски автобусів всіх досліджуваних моделей по місяцях на 2018-2019 р.

Отримані результати порівнювали зі значеннями середньомісячних температур



повітря і часткою днів з опадами (рис. 4.8-4.11).

Рис. 4.8. Вплив температури повітря на інтенсивність відмов пневмопідвіски

автобуса KAROSA-C934 (2018 рік)

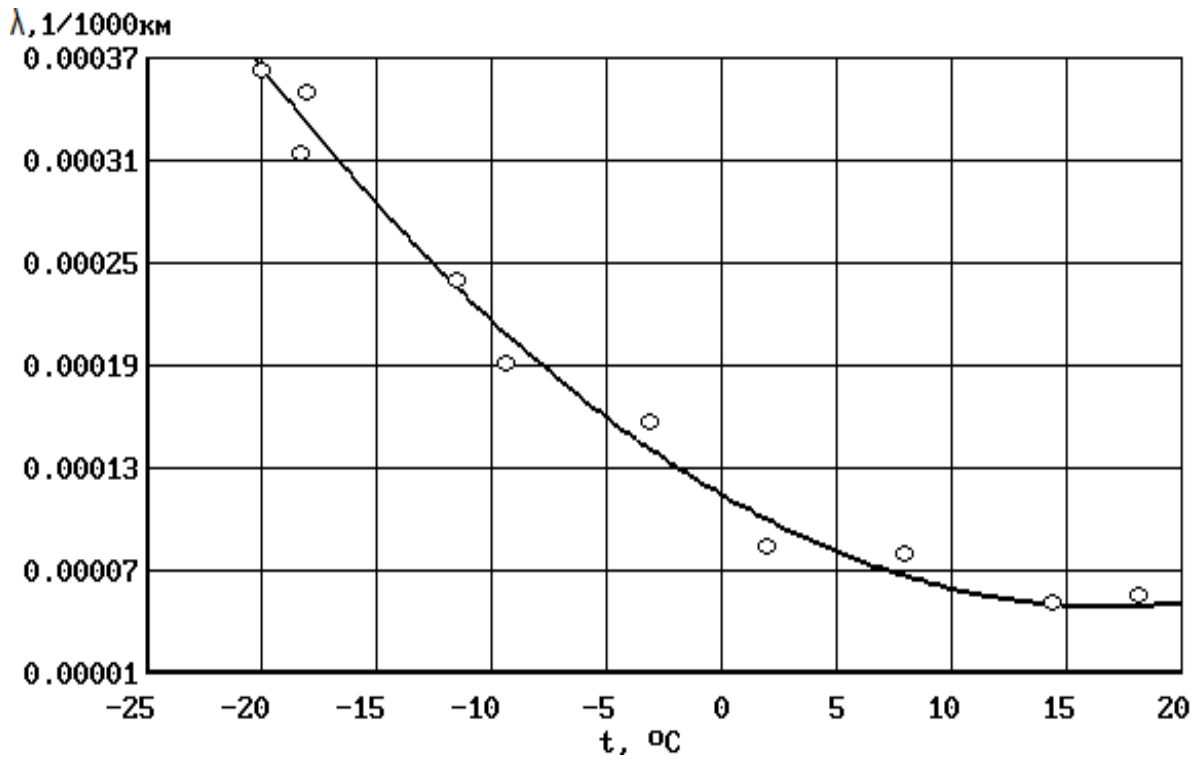


Рис. 4.9. Вплив температури повітря на інтенсивність відмов пневмопідвіски автобуса KAROSA-C934 (2018)

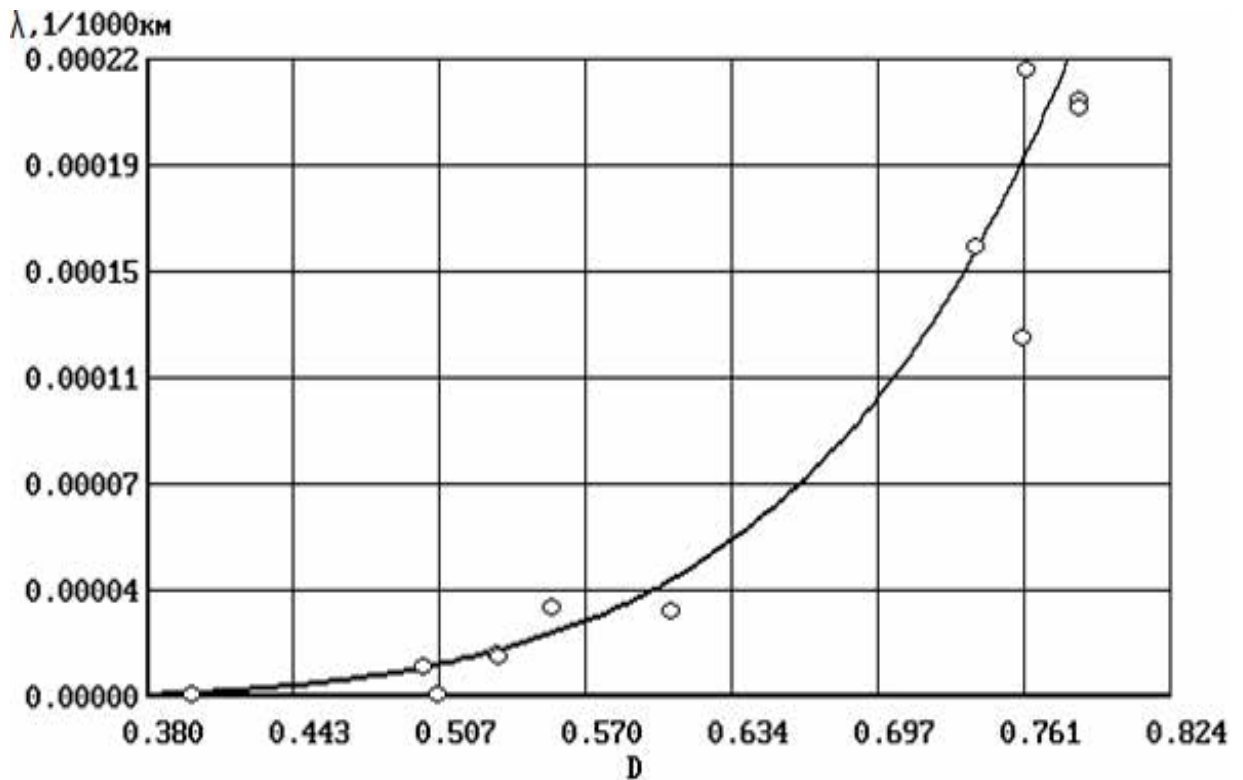


Рис. 4.10. Вплив частки днів з опадами на інтенсивність відмов пневмопідвіски автобуса KAROSA-C934 (2019)

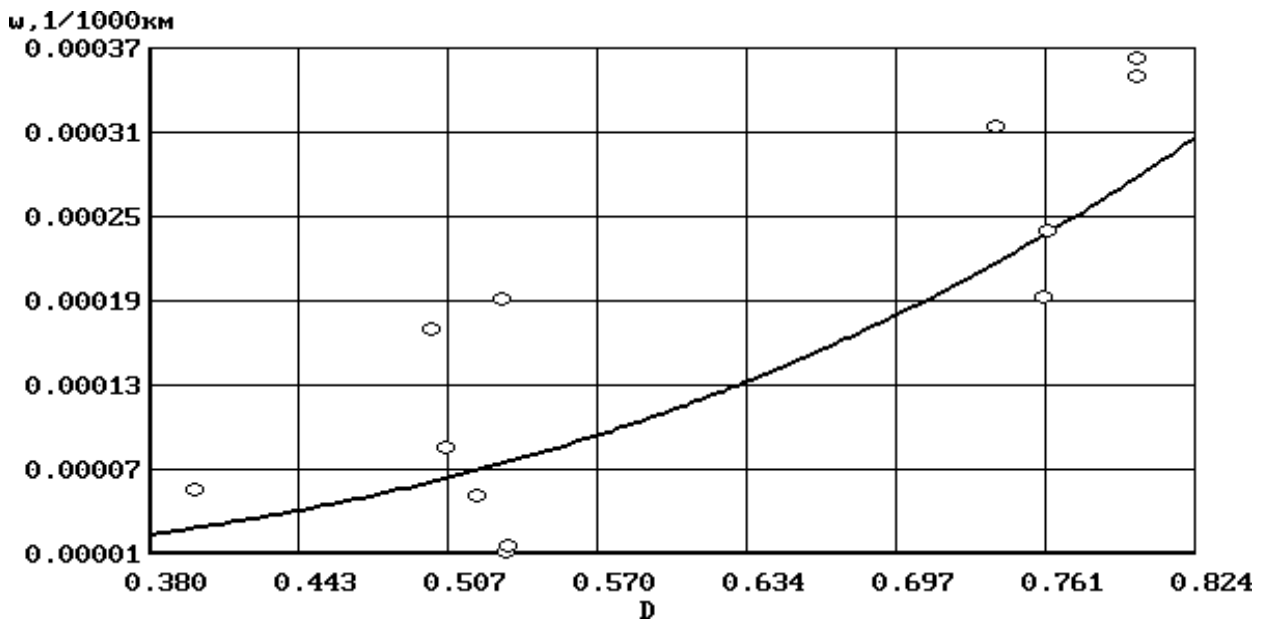


Рис. 4.11. Вплив частки доби з опадами на інтенсивність відмов пневмопідвіски автобуса KAROSA-C934 (2019)

Після обробки результатів експерименту було встановлено наступне:

Для закономірності впливу температури повітря на інтенсивність відмов пневмопідвіски автобусів великого класу найкращу апроксимацію експериментальних даних забезпечує поліном другого ступеня. Оцінка щільності взаємозв'язку показала, що коефіцієнт кореляції при лінеаризація склав 0,99, рівень його значущості оцінювався за критерієм Стюдента $t = 4,2$, значення якого перевищувало табличне значення з імовірністю 0,99.

Адекватність рівняння оцінювалася за критерієм Фішера. Коефіцієнт дисперсії Фішера перевищив табличне значення з ймовірністю 0,99, що говорить про адекватність обраної моделі. Середня похибка наближення становила $E = 6,1\%$, коефіцієнт пружності $K_{\text{еласт}} = 0,6$.

Для закономірності впливу частки доби з опадами на інтенсивність відмов пневмопідвіски автобусів великого класу силова модель дає найкращу апроксимацію експериментальних даних. Оцінка щільності зв'язку показала, що коефіцієнт кореляції для лінеаризації становить $r = 0,98$, рівень його значущості оцінювався за критерієм Стюдента $t = 2,7$, значення якого з імовірністю 0,99 перевищувало табличне.

Адекватність рівняння оцінювалася за критерієм Фішера. Коефіцієнт дисперсії Фішера перевищив табличне значення з ймовірністю 0,99, що говорить про адекватність обраної моделі. Середня похибка апроксимації становила $E = 1,5\%$, коефіцієнт пружності $K_{\text{еласт}} = 0,1$.

Таким чином, на основі проведених досліджень були підтверджені гіпотези про тип математичних моделей впливу температури повітря і частки днів з опадами на інтенсивність відмов пневмопідвіски автобусів.

4.4. Оцінка впливу температури на деформацію пневмобалонів

Для оцінки надійності пневмобалонів в різних умовах було проведено дослідження. На рис. 4.12 - 4.13 показаний порівняльний графік деформації пневмобалону при різних температурах навколишнього середовища. Випробування проводилися з двома пневмобалонами, один з яких виготовлений із синтетичного каучуку, а інший — з натурального каучуку. На 1-му етапі випробування проводилися при температурі 20°C . На 2-му етапі при -15°C .

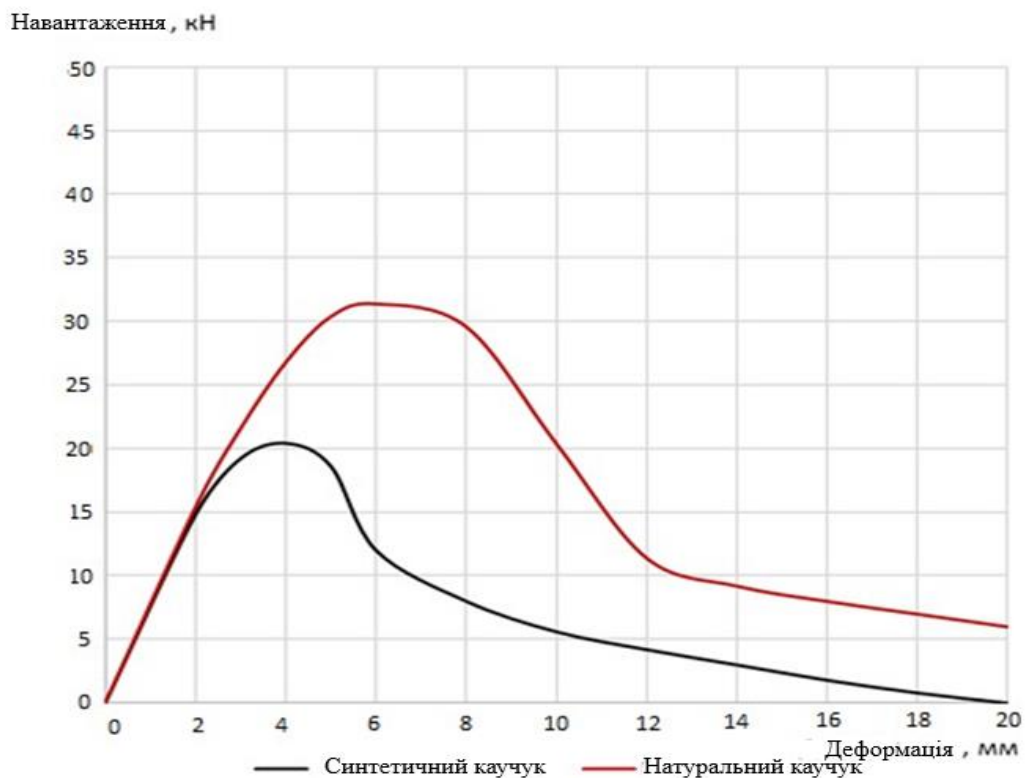


Рис. 4.12. Порівняльний графік деформації пневматичних пружин при температурі -15°C

Кожна пневмопружина піддавалася навантаженню, що викликало деформацію при температурі 20°C. З рис. 4.13 видно, що натуральний каучук витримує набагато більші навантаження, в той час як вироби з синтетичного каучуку розриваються при навантаженні 23 кН.

Другий етап дослідження проходив, коли обидва об'єкти охолоджувалися. Раніше пневмобалони розміщували в морозильну камеру і зберігали до температури -15 °С. Після завершення другого етапу були зроблені наступні висновки. Навіть при низьких температурах повітря натуральний каучук витримує набагато більше навантаження (рис. 4.12), а синтетичний каучук руйнується вже при навантаженні 15 кН. Під час обстеження пневмобалону автобусів, що експлуатуються на підприємствах, встановлено, що в основному всі вони виготовляються з синтетичного каучуку, так як натуральний каучук використовується в основному в автобусах, що поставляються в країни ЄС. Волокна натурального каучуку розташовані ближче один до одного, що дозволяє цьому матеріалу витримувати низькі температури повітря і поздовжні, вертикальні деформації набагато довше в порівнянні з синтетичним каучуком.

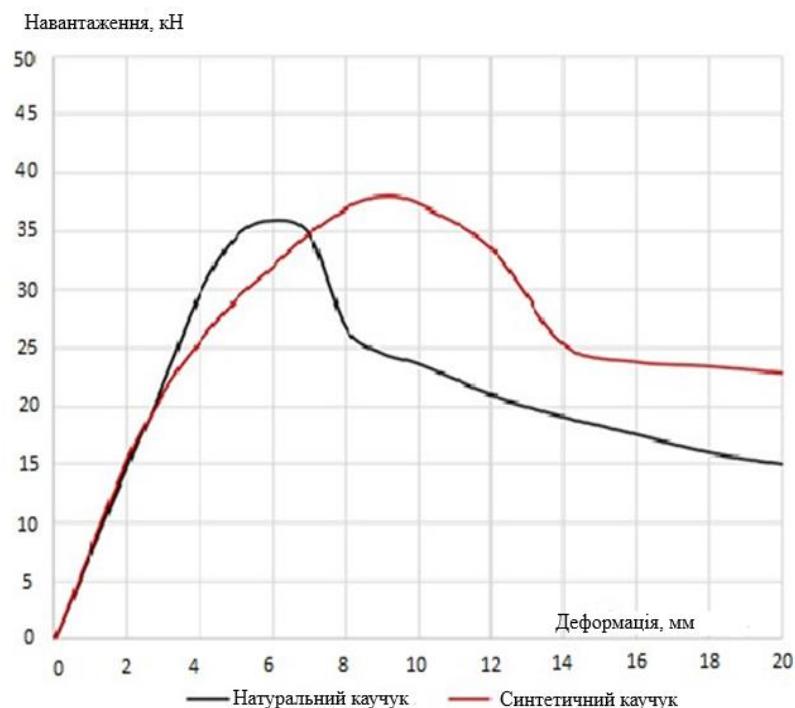


Рис. 3.14. Порівняльний графік деформації пневмобалонів при температурі 20 °С

Вивчаючи властивості натурального і синтетичного каучуку, можна зробити висновок, що саме натуральний каучук витримує високе навантаження і більш надійний при низьких температурах повітря.

Виходячи з отриманих результатів, необхідно звернутися до виробника з метою вирішення питань щодо комплектації тих, що поставляються

РОЗДІЛ 5. ЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМИ ВІДНОВЛЕННЯ ПНЕВМАТИЧНОЇ ПІДВІСКИ

5.1. Загальні принципи системи

В основних марках і моделях автомобілів, в тому числі оснащених пневматичною підвіскою, які є предметом дослідження, для ефективності системи відновлення підвісок багато в чому визначається рівнем запасу комплектуючих на складі по всій необхідній номенклатурі.

Аналіз групи марок і моделей автомобілів, обладнаних пневматичною підвіскою, показує, що, незважаючи на щорічне збільшення закупівель пневмобалонів (табл. 5.1), час непродуктивних простоїв автобусів збільшується (рис. 5.1). При цьому зі 160 балонів, замовлених у 2018 році для автомобілів KAROSA-C934, половина залишалася незатребуваною зі складу протягом року.

Таблиця 5.1. Купівля пневмобалонів для автобусів KAROSA-C934

Рік	Кількість придбаних пневмобалонів
2018	54
2019	77
2020	89
2021	99

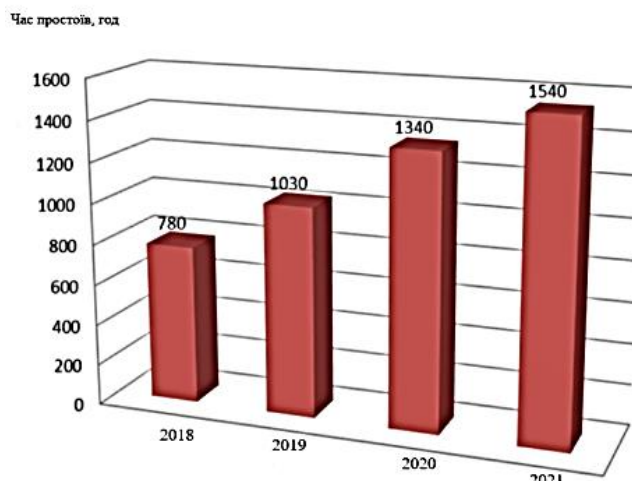


Рис. 5.1. Простої великих автобусів 2018-2021 років (KAROSA-C934)

Однією з причин цього є нерівномірний розподіл відмов протягом року, пов'язаний з впливом сезонних коливань температури навколишнього середовища та інтенсивності опадів. Крім того, при визначенні необхідного рівня запасу в поточній системі ніяк не враховується час роботи пневмопідвіски в момент поставки. Другою складовою втрат, пов'язаних з недосконалістю системи відновлення працездатності автомобілів, обладнаних пневматичною підвіскою, а також інших марок і моделей автомобілів, є централізоване управління закупівлями.

Протягом року формуються заявки на поставку комплектуючих, і на підставі цих даних закуповуються запасні частини. Запасні частини поставляються через фіксовані проміжки часу, наприклад, для елементів пневматичної підвіски, термін виконання становить три місяці. За цей проміжок часу вже немає можливості регулювати розмір партії комплектуючих, що поставляється.

5.2. Ефективність системи відновлення пневматичної підвіски

Пневмобалон поставляється в зібраному вигляді (рис. 5.2). В автобусах всіх марок і моделей для задньої підвіски необхідні чотири пневмобалони, а для передньої - дві. Однією з причин, що впливають на рівень запасу в запасній кількості, є те, що захисний гумовий кожух не продається окремо, а в процесі експлуатації в більшості випадків ламається корд кожуха балона задньої підвіски (рис. 5.2), що призводить до подальшої заміни всього пневмобалона.

Згідно зі звітними даними 2018 рік, близько 100 годин поспіль простоювали близько 10 автобусів поспіль через відсутність запасних частин на складі. Крім того, у звіті відображена інформація про автомобілі, які очікують на ремонт протягом шести місяців.

Ринкова вартість пневмобалона для MAN A72 становить 20 тис. грн. У тому випадку, якщо автобус не виходить на лінію через відсутність запчастин, основне виробництво зазнає збитків. Збитки через простій автобуса великого класу становить близько 10 тис. грн на добу. Згідно з наявною статистикою по підрозділу, економічний збиток склав 2 690 000 неоподатковуваних мінімумів

доходів громадян за чотири роки.



Рис. 5.2. Пневмобалон в зборі MAN A72



Рис. 5.3. Задня пневматична підвіска автобуса великого класу KAROSA-C934

В цілому збиток від простою всього обладнання за чотири роки склав 10 580 000 тис. Наприклад, у 2018 році для KAROSA C-954 було придбано 90 пневмобалонів, а кількість відмов під цією моделлю становила 45 на рік. Це призвело до непотрібних витрат у розмірі 900 000 тис. грн для цієї марки автобусів.

Таким чином, недосконалість системи управління ефективністю транспортних засобів в основному пов'язана з підсистемою управління запасами і призводить до втрат, як при перевищенні необхідного розміру запасу запасних частин на складі, так і при їх зниженні нижче необхідного рівня. Для підвищення ефективності роботи системи в цілому спочатку необхідно визначити оптимальний розмір замовлення з урахуванням обмежень поставок.

5.3. Визначення оптимального рівня запасів пневмобалонів на складі

В якості цільової функції були обрані втрати, пов'язані з нестачею запасних частин, простоем основного виробництва, зберіганням запасних частин на складі та їх закупівлею.

Загальний алгоритм моделювання виходу з ладу пневмобалонів і відновлення їх працездатності в процесі експлуатації автобусів (рис.5.4), а також управління їх запасами на складі і пов'язаними з цим витратами передбачає наступні припущення та обмеження:

1. Дорожні умови, які істотно впливають на надійність пневмопідвіски, вважаються однаковими для всієї групи автобусів цієї марки і моделі;
2. Модель імітує поступовий вихід з ладу при досягненні граничного стану, раптові відмови не моделюються;
3. Результати моделювання визначаються початковим станом підвіски для кожного з автобусів групи однієї марки і моделі;
4. Термін виконання замовлення становить 90 днів, що відповідає системі.

запасних і несвіжих матеріалів.

РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА

6.1. Охорона здоров'я працюючих та створення безпечних умов праці на виробництві

Створення безпечних умов праці. Україна послідовно зосереджує значну увагу на питаннях охорони здоров'я працівників і формування безпечного виробничого середовища. Забезпечення комплексного оздоровлення та покращення робочих умов є ключовим елементом підвищення народного добробуту. На всіх виробничих об'єктах планується впровадження сучасних інструментів техніки безпеки та належних санітарно-гігієнічних стандартів. Це має на меті повне усунення виробничого травматизму та професійних захворювань.

Законодавче регулювання та відповідальність. Ці принципи закріплені у низці трудових законів, згідно з якими керівництво підприємств, установ та організацій несе відповідальність за гарантування здорових і безпечних умов праці.

Усі елементи виробничого процесу - від будівель, споруд та обладнання до технологічних процесів - повинні відповідати встановленим вимогам безпеки. Ці вимоги охоплюють раціональне використання робочих площ, коректну експлуатацію обладнання, правильну організацію технологій, захист персоналу від впливу небезпечних факторів, підтримання приміщень та робочих місць відповідно до гігієнічних норм, а також облаштування належних санітарно-побутових зон.

Контроль, допуски та обов'язки керівництва. Нові проекти машин, стендів та іншого виробничого обладнання зобов'язані відповідати стандартам техніки безпеки та виробничої санітарії. Введення в експлуатацію заборонено, якщо об'єкти, ділянки або зразки нового обладнання не відповідають цим вимогам. Для запуску нових або реконструйованих об'єктів необхідний дозвіл від органів державного санітарного та технічного нагляду, а також технічної інспекції профспілок і місцевого профспілкового комітету. Адміністрація підприємств зобов'язана забезпечити належне технічне оснащення кожного робочого місця, створюючи умови, що відповідають правилам охорони праці (зокрема санітарним нормам, правилам техніки безпеки тощо). У разі відсутності чітких вимог у

правилах, керівництво, за погодженням з місцевим профкомом, вживає всіх необхідних заходів для забезпечення безпеки.

Обов'язки та забезпечення працівників. Адміністративний апарат зобов'язаний проводити інструктажі для робітників і службовців з питань техніки безпеки, виробничої санітарії, пожежної безпеки та інших аспектів охорони праці. Зі свого боку, працівники мають неухильно дотримуватися усіх інструкцій, встановлених правил поведінки з механізмами, а також користуватися виданими засобами індивідуального захисту (ЗІЗ). Персоналу, зайнятому на роботах зі шкідливими умовами або пов'язаних із забрудненням, безоплатно надаються за встановленими нормами спецодяг та спецвзуття. Керівництво несе відповідальність за зберігання, чистку (прання, сушіння), дезінфекцію, дегазацію, дезактивацію та ремонт усього виданого захисного спорядження. На роботах, пов'язаних із забрудненням або можливим впливом на шкіру шкідливих речовин, працівникам безоплатно видають мило, а також змивні та знешкоджувальні засоби.

Медичні огляди та соціальний захист. Працівники, які виконують роботу в шкідливих умовах (наприклад, електрогазозварювальники, ковалі, малярі) або задіяні в транспортній сфері (обслуговування агрегатів, автозаправники), обов'язково проходять попередні (при прийомі) та періодичні медичні огляди. Мета цих оглядів — визначити їхню придатність до виконання дорученої роботи та запобігти професійним хворобам. Якщо стан здоров'я вимагає переведення працівника на легшу роботу, адміністрація зобов'язана зробити це (за згодою працівника) відповідно до медичного висновку. Керівництво, залучаючи представників місцевого профспілкового комітету, мусить своєчасно і коректно розслідувати та обліковувати нещасні випадки на виробництві, а також оперативно вживати заходів для усунення їхніх першопричин. Підприємства несуть матеріальну відповідальність згідно з законодавством України за шкоду, заподіяну здоров'ю працівників під час виконання ними трудових обов'язків.

Турбота про молодь та освіта. В Україні приділяється значна увага соціальному захисту молоді. Особам молодше 18 років надається більш легка робота, скорочений робочий день та інші пільги. Прийом на роботу осіб до 18 років можливий лише після попереднього медичного огляду. До досягнення повноліття

вони щороку проходять обов'язковий медичний огляд. Заборонено залучати молодь (до 18 років) до нічних, наднормових робіт та робіт у вихідні. Трудові відпустки їм надаються влітку або в іншу пору року за їхнім бажанням. Важлива роль відводиться професійному навчанню. Адміністрація зобов'язана створювати умови для поєднання роботи та навчання. Працівникам, які здобувають освіту без відриву від виробництва (у професійно-технічних або загальноосвітніх закладах), надається скорочена тривалість щоденної роботи зі збереженням заробітної плати та інші пільги.

6.2. Техніка безпеки при ремонті вимоги безпеки до інструменту

Загальні принципи безпечного використання обладнання та інструменту. Безпека персоналу під час виконання ремонтних робіт безпосередньо залежить від належного стану використовуваного інструментарію. Ключова вимога безпеки до будь-якого інструменту - зручність експлуатації та гарантія того, що він не стане прямою чи непрямою причиною травматизму. Відповідальність за моніторинг стану інструменту покладається на самих робітників. У процесі активного використання монтажні інструменти піддаються зносу, що призводить до зміни їхньої початкової геометрії та розмірів, а іноді - до появи тріщин чи зламів. Категорично не рекомендовано працювати таким інструментом. Надмірні зусилля, що застосовуються під час складально-розбиральних операцій, можуть спровокувати поломку інструментарію і, як наслідок, травмування працівників.

Вимоги до гайкових ключів та пневмоінструменту. Справні гайкові ключі мають паралельні губки, відстань між якими точно відповідає стандарту (зазначеному на ключі). Використання ключів із деформованим або розпиляним зівом неприпустиме, оскільки існує ризик зриву ключа з гайки. Торцеві та накидні ключі мають бути без тріщин у головках та деформованих граней, а розвідні — повинні мати щільно припасовані з'єднання (без хитавиці). Зрив ключа з кріплення призводить до забоїв і поранень рук, а також може спричинити падіння робітника. При розбирально-складальних роботах все частіше застосовується пневматичний інструмент, зокрема гайковерти. З'єднання гайковертів зі шлангом подачі повітря

повинні бути надійними і не мати витоків. Наконечник шпинделя гайковерта має бути без деформацій і забезпечувати міцну фіксацію змінних насадок під час обертання.

Правила використання викруток та ударного інструменту. Несправності викруток часто призводять до їхнього зісковзування з головки гвинта, що є причиною серйозних травм. Лезо викрутки повинно мати рівні, плоскі бічні грані та злегка притуплений кінець. Його розмір необхідно підбирати відповідно до ширини паза та розмірів головки гвинта. Рукоятка має міцно з'єднуватися зі стрижнем, бути гладкою, без задирок чи ребер. Заборонено використовувати викрутки з викривленим стрижнем, оскільки при обертанні вісь докладеного зусилля не збігається з віссю гвинта, що викликає зісковзування. Молотки та кувалди, що мають недостатньо надійну насадку, становлять небезпеку, адже можуть зірватися з ручки під час удару. Для надійної фіксації (намертво) у рукоятку забивається клин з м'якої сталі. Рукоятки виготовляють овальними, з міцних, в'язких порід дерева (наприклад, дуб, в'яз, кизил) і полірованою поверхнею. При появі тріщин ручки підлягають обов'язковій заміні. Ударна частина молотка має бути трохи опуклою для кращого центрування удару і не мати вибоїн чи тріщин.

Вимоги до плоскогубців, знімачів та інструментів з хвостовиками. Робоча поверхня губок плоскогубців повинна мати чітку, неушкоджену насічку. Ручки плоскогубців, призначених для електромонтажних робіт, обов'язково оснащуються діелектричним покриттям. Знімачі, що використовуються для розбирання, мають бути цілими (без тріщин), недеформованими, а їхня різьба — неушкодженою. Зрив знімача під впливом великого натягу робочих елементів може призвести до травмування. На загострені кінці (хвостовики) напилків, шаберів і полотен для ножівкових верстатів необхідно насаджувати круглі дерев'яні ручки з металевим бандажним кільцем, яке запобігає розколюванню. Ручку насаджують шляхом удару її об верстак, щоб інструмент загнався в неї силою інерції. Недопустимо насаджувати ручку, просто натягуючи її на хвостовик. Після насадження хвостовик не повинен торкатися бандажного кільця. Працювати інструментом без ручок суворо заборонено.

Зубила, ріжучі та стругальні інструменти. Верстати ножівкові мають бути правильної форми та оснащені справним натяжним механізмом для полотна. Різде ослаблення полотна може спричинити його поломку, а також падіння або забій робітника через втрату рівноваги. Для фіксації полотен у механізмі слід використовувати спеціальні короткі штирі, а не цвяхи із загнутими кінцями. Довжина зубил, крейцмейселів та виколоток повинна забезпечувати безпечно утримання рукою (мінімум 150 мм). Не можна працювати зубилом або крейцмейселем, ударні бойки яких розбиті, мають тріщини чи задирки. Уламки металу, що відскакують від пошкодженої поверхні, можуть серйозно поранити людей поблизу. Ці дефекти усуваються шляхом виправлення бойків на абразивних колах. Лезо зубила заточують на колах, що відповідають твердості металу, який обробляється. Небезпечні зубила з "сухим" загартуванням леза, оскільки відколені шматочки металу можуть травмувати. Ножиці для різання тонколистової сталі необхідно міцно закріплювати на робочому місці, а їхні леза мають бути гостро заточені. Рукоятка ножиць повинна бути без деформацій та механічних пошкоджень. Корпуси рубанків (фуганків) виготовляються з твердих порід дерева з гладкою поверхнею, без відщепів та задирок. Ручку потрібно надійно закріплювати, оскільки її поломка може спровокувати падіння робітника. Лезо ножа має бути ідеально заточене, без вибоїн, що виключає необхідність прикладання надмірних зусиль та забезпечує рівномірний опір різання. Стамески оснащують гладкою ручкою і ретельно заточеним лезом. Кінці ручок доліт, по яких наносяться удари молотком, обковують металом. Для полегшення процесу розпилу необхідно розводити зуби пилок, а ручки робити зручними та гладкими. Полотно лучкової пили має бути добре натягнуте для запобігання вигину, що ускладнює роботу. Сокиру насаджують на сокирище за аналогічним принципом, як молотки. Необхідно стежити за гостротою леза, щоб воно врзалося в деревину, а не ковзало по поверхні. Сокирище виготовляється з твердих порід дерева, має гладку поверхню та правильну форму.

6.3. Безпека роботи на ремонтно-технологічному обладнанні

Технічна безпека при роботі з обладнанням та інструментарієм. Безпечна експлуатація верстатів та установок. Категорично забороняється виконувати роботи на несправних стендах чи установках. Також неприпустимо використання ремонтно-технологічного обладнання, обертові частини якого мають пошкоджені або відсутні захисні кожухи. Усі ремонтні роботи та операції з мастила повинні проводитися виключно при повній зупинці обладнання. Залишаючи робоче місце (стенд або верстат), працівник зобов'язаний знеструмити обладнання, відключивши його від електромережі. Під час експлуатації стендів та верстатів необхідно суворо дотримуватися всіх правил електробезпеки. Для захисту ніг оператора від контакту з холодною кам'яною підлогою біля робочих місць слід розміщувати спеціальні дерев'яні решітки.

Персональна безпека та підготовка робочого місця. Частини одягу, що вільно звисають (краватка, рукави, поли), становлять ризик бути захопленими рухомими або обертовими елементами стенда чи ремонтованого вузла, що загрожує важкими наслідками. Тому, перед початком робочої зміни, персонал повинен ретельно застебнути одяг, закріпити всі вільні елементи, а довге волосся обов'язково сховати під головний убір. При підготовці стенда до роботи слід перевірити ріжучий інструмент, надійно закріпити його і точно відцентрувати у захисному механізмі. Циліндричні та конусні хвостовики повинні бути чистими, гладкими, без вибоїн та ознак надмірного зносу. Зміна, встановлення або зняття ріжучого інструменту дозволяється виключно після повної зупинки шпинделя.

Безпека свердлильних операцій та охолодження. Робота на свердлильному верстаті у рукавичках може спричинити травму. Не можна охолоджувати обертове свердло мокрою ганчіркою або клоччям, оскільки вони можуть бути захоплені інструментом. Для цієї мети верстат має бути оснащений спеціальною системою охолодження. Трубка подачі охолоджувальної рідини повинна бути встановлена таким чином, щоб під час маніпуляцій з нею рука оператора не потрапляла у небезпечну зону ріжучого інструменту. Біля свердлильних верстатів необхідно мати спеціальні лопатки та виколотки. Вони повинні бути виготовлені з матеріалу, який виключає відокремлення частинок при ударі і запобігає пошкодженню напрямних та ріжучих елементів інструменту під час його заміни. Деталь, що

підлягає обробці, мусить бути міцно зафіксована на столі верстата. Для цього використовуються болти, прихватки, кондуктори, машинні лещата або інші пристосування, які унеможливають її зсув і захоплення ріжучим інструментом. Суворо заборонено обробляти деталі, утримуючи їх руками, оскільки це гарантовано призведе до травмування.

Вимоги до огорожень та захисних пристроїв. Всі обертові елементи обладнання мають бути закриті глухими кожухами, які надійно прикріплюються до рами чи корпусу станда. Кожухи на змінних передачах (зубчастих тощо) повинні бути відкидними та обладнані примусовим фіксатором. Виступаючі частини шпинделя, патрона та інші відкриті обертові елементи верстатів та оснащення слід закривати гладкими захисними кожухами. Правильно спроектоване та виготовлене огороження гарантує захист не лише оператора, але й оточуючих, оскільки у разі поломки вузла, що захищається, його фрагменти не розлітатимуться. Огороження також захищає працівника від розбризкування мастильно-охолоджувальних та інших рідин. Захисний пристрій не повинен вібрувати чи переміщуватися під час роботи основного обладнання. Обертові валики, особливо ті, що мають шпонкові канавки або виступаючі частини, здатні захопити та намотати на себе елементи одягу. Такі валики необхідно приховувати у станині або захищати телескопічними трубками.

Захист від стружки та небезпечних зон. Серйозну небезпеку становить обертовий ріжучий інструмент, наприклад, різці при обробці підбарабання молотильного апарату. Тому неробоча частина інструменту повинна бути огорожена. Зона руху вузла, що виходить за габарити станда під час випробувань (наприклад, обкатка задніх мостів комбайна), захищається бар'єрами чи іншими обмежувачами. Зону переміщення столу або повзуна, що виходить за межі габаритів верстата (наприклад, стругального), огорожують бар'єрами або подібними пристроями. Замість бар'єрів можна застосовувати висувні лінійки, пофарбовані у жовтий колір, з можливістю регулювання їхнього висування. Під час токарних робіт особливу увагу приділяють захисту від стружки. При обробці металів утворюються різні типи стружок: злита, сколювання та надлому. Злита стружка представляє найбільшу небезпеку для оператора. Дрібна стружка, що

відлітає, утворюється при обробці в'язких металів різцями зі стружкоподрібнювачами, а також при роботі з чавуном, бронзою та легкими сплавами. При обробці деталей зі сплавів (наприклад, алюмінієвий корпус насоса чи хромована сталь штока) утворюється стружка сколювання, яка вилітає від різця у вигляді дрібного металевого факела. При звичайній швидкості різання ефективний захист забезпечують прозорі екрани різних конструкцій або захисні окуляри. Однак при високих швидкостях різання такого захисту недостатньо. При швидкісному різанні нагріта стружка відбивається від плоского екрана і може відлітати на відстань вправо від різця, загрожуючи травмуванням персоналу, що знаходиться поруч. В якості технічних засобів захисту від дрібноподрібненої стружки, що утворюється при високошвидкісній обробці, застосовуються різноманітні стружковідвідники та спеціальні захисні екрани. Доцільно оснащувати свердлильні верстати збірниками стружки з товстої жерсті з лотком, під яким розміщуються ящики. При свердлінні, зенкеруванні та розгортанні отворів на свердлильних верстатах особливу небезпеку для оператора несуть ріжучий інструмент, пристрої для його закріплення, шпиндель та оброблювана деталь.

ВИСНОВКИ

1. Встановлено фактори, які необхідно враховувати при моделюванні потоку відмов для пневмопідвіски автобусів великого класу такими факторами є добова кількість опадів і температура повітря;
2. Виявлено закономірності формування потоку відмов пневмопідвіски автобусів великого класу;
3. Розроблено математичні моделі впливу сезонних факторів на потік відмов пневмопідвіски автобусів великого класу. Встановлено тип двофакторної моделі впливу атмосферних опадів і температури на інтенсивність потоку відмов пневматичної підвіски автобусів великого класу;
4. Розроблено алгоритм імітаційної моделі формування потреби в елементах пневмопідвіски при експлуатації автобусів у змінних природно-кліматичних умовах;
5. Розроблено методичку оцінки впливу сезонних умов на надійність пневматичної підвіски автобусів великого класу.
6. Проведено огляд правил та умов техніки безпеки при ремонті вимоги безпеки до інструменту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1.Бондаренко В. М. Діагностика пневматичних систем автомобільного транспорту: монографія / В. М. Бондаренко. – Київ: Логос, 2020. – 320 с.
- 2.Головко А. І. Технічна експлуатація транспортних засобів: підручник / А. І. Головко, С. В. Карпенко. – Київ: Вища школа, 2018. – 412 с.
- 3.ДСТУ 3649-97. Автомобілі, автобуси та причеми. Терміни та визначення понять. – Київ: Держстандарт України, 1998. – 45 с.
- 4.Єршов В. О. Основи надійності машин: навч. посібник / В. О. Єршов. – Харків: ХНАДУ, 2019. – 276 с.
- 5.Климко П. П. Пневматичні підвіски транспортних засобів: дослідження та розробка / П. П. Климко, І. В. Степанов. – Львів: Афіша, 2021. – 190 с.
- 6.Літвінов С. П. Оцінка надійності технічних систем: підручник / С. П. Літвінов. – Одеса: ОНПУ, 2017. – 304 с.
- 7.Петренко М. І. Автомобільні системи: підручник / М. І. Петренко. – Київ: Арій, 2016. – 368 с.
- 8.Чеберячко Ю. А. Теорія експлуатації автомобільних пневмосистем / Ю. А. Чеберячко. – Дніпро: Ліра, 2022. – 228 с.
- 9.Гідравліка і пневматика. Журнал / Національний транспортний університет. – Київ: НТУ, 2023. – № 2. – С. 15–32.
- 10.ISO 7638-1:2018. Road vehicles — Electrical connectors for braking systems and running gear of trailers — Part 1: Dimensions and requirements.
- 11.Грицун В. О. Вдосконалення методів оцінки технічного стану транспортних засобів / В. О. Грицун // Автотранспорт. – 2017. – № 2. – С. 45–52.
- 12.Котенко А. М. Сучасні тенденції розвитку пневматичних підвісок / А. М. Котенко, І. М. Рогоза // Вісник машинобудування. – 2018. – № 3. – С. 33–41.
- 13.Пат. 123456 UA, Система автоматичного регулювання жорсткості пневмопідвісок. – 2020.
- 14.ISO 11819-1:2017. Acoustics — Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise.

- 15.Литовченко С. Г. Інтелектуальні системи управління пневматичними підвісками автобусів / С. Г. Литовченко // Збірник наукових праць ХНАДУ. – 2019. – № 54. – С. 88–97.
- 16.Інженерія транспорту: журнал / НТУ. – Київ: НТУ, 2022. – Т. 10. – № 1.
- 17.Гладкий І. В. Технічна експлуатація автомобільного транспорту: навч. посібник / І. В. Гладкий. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2017. – 292 с.
- 18.Гнатовський В. М. Надійність транспортних систем: теорія та практика / В. М. Гнатовський. – Одеса: ОНПУ, 2021. – 420 с.
- 19.Грабовський П. Л. Розробка адаптивної системи регулювання тиску у пневматичних підвісках / П. Л. Грабовський // Технічна механіка. – 2023. – № 4. – С. 112–120.
- 20.EN 1426:2020. Bitumen and bituminous binders — Determination of needle penetration.
- 21.Коваленко В. П. Аналіз роботи пневматичних підвісок на основі динамічних моделей / В. П. Коваленко // Автомобільний транспорт. – 2018. – № 42. – С. 92–97.
- 22.Пат. 56789 UA, Пневматична підвіска з адаптивним регулюванням. – 2018.
- 23.Мороз О. І. Математичне моделювання систем пневматичної підвіски / О. І. Мороз, В. С. Ткаченко // Транспорт і логістика. – 2019. – № 3. – С. 14–22.
- 24.ДСТУ ISO 2631-1:2019. Вібрація та удар. Вимірювання вібрації в транспортних засобах. – Київ: Держстандарт України, 2019.
- 25.Кравчук М. П. Інноваційні рішення в системах пневматичних підвісок автобусів / М. П. Кравчук // Вісник ХНАДУ. – 2021. – № 58. – С. 123–130.
- 26.Власенко Р. І. Експериментальне дослідження ефективності пневматичних систем у транспорті / Р. І. Власенко // Автомобільний транспорт. – 2020. – № 45. – С. 78–86.
- 27.Кузнецов О. В. Дослідження ресурсу елементів пневмопідвісок у важких умовах експлуатації / О. В. Кузнецов // Машинознавство. – 2018. – № 4. – С. 102–110.

- 28.Сорока О. Г. Вдосконалення методів діагностики пневматичних систем / О. Г. Сорока, І. С. Кравченко // Проблеми транспорту. – 2022. – № 1. – С. 64–70.
- 29.ДСТУ EN 12642:2019. Надійність систем кріплення вантажів. Вимоги до конструкції. – Київ: Держстандарт України, 2019.
- 30.Мельник А. А. Вдосконалення підвісок автобусів для підвищення їх надійності / А. А. Мельник // Наукові записки НУВГП. – 2019. – № 3. – С. 81–89.
- 31.Саленко В. П. Динаміка руху транспортних засобів із пневматичними підвісками / В. П. Саленко // Технічна механіка. – 2021. – № 5. – С. 73–82.
- 32.Сахно Ю. С. Автомобільні підвіски: сучасні тенденції та перспективи / Ю. С. Сахно // Автотранспорт. – 2023. – № 3. – С. 92–100.
- 33.Черненко А. М. Надійність систем регулювання тиску в шинах і пневмопідвісках / А. М. Черненко // Науковий вісник НУ "Львівська політехніка". – 2017. – № 2. – С. 61–68.
- 34.Довбуш О. М. Підвищення ефективності пневматичних систем на основі адаптивних алгоритмів / О. М. Довбуш, С. В. Іваненко // Машинобудування. – 2020. – № 4. – С. 18–25.
- 35.Олійник В. М. Дослідження довговічності пневматичних підвісок в умовах експлуатації автобусів / В. М. Олійник // Вісник машинобудування. – 2022. – № 7. – С. 90–98.
- 36.Кондратенко І. І. Аналіз експлуатаційних параметрів сучасних пневматичних підвісок / І. І. Кондратенко // Транспорт України. – 2023. – № 4. – С. 55–62.
- 37.ДСТУ ISO 21219-2:2020. Інтелектуальні транспортні системи. Специфікація інформації для руху транспорту. – Київ: Держстандарт України, 2020.
- 38.Чуприна Ю. В. Методи контролю тиску в системах пневмопідвісок / Ю. В. Чуприна, М. О. Савченко // Техніка та технології АПК. – 2021. – № 2. – С. 36–43.
- 39.Шевчук Р. М. Енергоефективність пневматичних систем транспортних засобів / Р. М. Шевчук // Збірник наукових праць КНУТД. – 2022. – № 5. – С. 84–92.

- 40.Гайдук А. П. Адаптація пневматичних підвісок до важких умов експлуатації / А. П. Гайдук // Автомобільна промисловість. – 2019. – № 1. – С. 19–25.
- 41.Smith J. *Advanced Suspension Systems: A Comprehensive Analysis* / J. Smith, T. Johnson. – London: Springer, 2018. – 320 p.
- 42.ISO 12140:2020. *Agricultural machinery — Agricultural trailers and trailed equipment — Drawbar jacks.*
- 43.Baker R. *Pneumatic Systems in Modern Transport* / R. Baker // *International Journal of Automotive Engineering.* – 2019. – Vol. 7, Issue 3. – P. 256–266.
- 44.John P. *Air Suspension Dynamics: Theory and Practice* / P. John. – New York: Wiley, 2021. – 298 p.
- 45.ISO 16750-3:2021. *Road vehicles — Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment.*
- 46.Brown T. *Reliability Analysis of Bus Pneumatic Systems* / T. Brown, M. Williams // *Journal of Transportation Engineering.* – 2022. – Vol. 8, No. 2. – P. 44–51.
- 47.CEN/TR 16142:2021. *Road transport — Air suspensions — Testing methods and requirements.*
- 48.Wang H. *Design Optimization of Pneumatic Suspensions* / H. Wang, L. Zhang // *Journal of Mechanical Design.* – 2017. – Vol. 139. – P. 12345–12355.
- 49.Miller K. *Sustainable Solutions for Air Suspension Systems* / K. Miller // *Transportation Research Part C.* – 2023. – Vol. 145. – P. 189–198.
- 50.ISO 22867:2018. *Forestry machines — Vibration and shock measurements.*
51. Сідашенко О.І. Ремонт машин і обладнання: підручник / О.І. Сідашенко, О.А. Науменко, Т.С. Скобло та ін.; за ред. проф. О.І. Сідашенка, О.А. Науменка. К.: Аграр Медіа Груп, 2018. 632 с.
52. Сухенко Ю.Г., Паламарчук І.П., Журавель Д.П. та ін. Надійність обладнання харчової галузі. Навчальний посібник. К. ЦП «КомпрІнт», 2019. 370 с.
53. Технологія ремонту машин та обладнання. Курс лекцій. / Сідашенко О.І. Тіхонов О.І., Лузан С.О. та інші. Навч. Посібник. Харків: ХНТУСГ, 2017. 361с.
54. Болтянська Н.І. Надійність технологічних систем: посібник-практикум. Мелітополь: Люкс, 2019. 162 с.

55. Новицький А. В., Карабиньош С. С., Ружило З. В. Організація сервісного виробництва. К.: НУБіПУ, 2017. 221 с.
56. Надійність сільськогосподарської техніки: Підручник. / М.І. Черновол, В.Ю. Черкун, В.В. Аулін та ін.; За заг. ред. М.І. Черновола. Кіровоград: ТОВ «КОД», 2010. 320 с.
57. Ревенко Ю. І., Бистрий О. М., Мельник В. І., Новицький А. В., Ружило З. В. Кваліметрія: навчальний посібник. Київ : Прінтеко, 2022. 201 с.
58. Практикум з ремонту машин. Загальний технологічний процес ремонту та технології відновлення і зміцнення деталей машин. Том 1 : Навчальний посібник / [Сідашенко О. І., Тіхонов О. В., Скобло Т. С., Мартиненко О. Д., Гончаренко О. О., Сайчук О. В., Аветісян В. К., Автухов А. К., Рибалко І. М., Сиромятніков П. С., Бантковський В. А., Маніло В. Л.] / За 72ед.. О.І. Сідашенко, О.В. Тіхонова. – Харків: ТОВ «Пром-Арт», 2018. 416 с.
59. Технічний сервіс в АПК: навчально-методичний посібник для самостійної роботи студентів / Ю. Г. Сорваніди, Д. П. Журавель, А. М. Бондар, О. Ю. Новік. Мелітополь: Видавничополіграфічний центр «Люкс», 2021. 157 с.
60. Стандартизація та сертифікація обладнання лісового комплексу: Новицький А.В., Дев'ятко О.С., Адамчук О.В., Онищенко В.Б. , Ревенко Ю.І., Денисенко М.І., Мельник В.І. навчальний посібник. Київ: НУБіП. 2019 300 с.
61. Надійність технологічних систем : курс лекцій / Г. О. Іванов, В. І. Гавриш, П. М. Полянський, О. В. Гольдшмідт. Миколаїв : МНАУ, 2015. 40 с.