

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

## Бакалавр

(освітній рівень)

### Розроблення технології діагностики пневмопідвіски міських автобусів з урахуванням впливу сезонних умов експлуатації

Виконав: студент 4 курсу, групи МАс-41  
напряму підготовки (спеціальності) 274  
Автомобільний транспорт  
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Лагіш В.Ю.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Слободян Л.М.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Хорошун Р.В.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент Сташків М.Я.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Зав. кафедри Цьонь О.П.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

Кафедра автотранспорту та логістики

Освітній рівень бакалавр

Напрямок підготовки 274 Автомобільний транспорт

(шифр і назва)

Спеціальність

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Зав. кафедри

Цьонь О.П.

«21»

січня 2026 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ**

Лагішу Віталію Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розроблення технології діагностики пневмопідвіски міських автобусів з урахуванням впливу сезонних умов експлуатації

Керівник проекту (роботи) Слободян Л.М., к.т.н., доц.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом по університету від « 21 »січня 2026 року № 4/9-39

2. Термін подання студентом проекту (роботи) 15.06.2026 р

3. Вихідні дані до проекту (роботи) конструктивна схема пневматичної підвіски автобуса

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Фактори, що впливають на надійність пневматичної підвіски та витрати запасних частин автобусів великого класу

2. Сезонні зміни умов експлуатації автобусів у різних кліматичних зонах України

3. Технологічна послідовність демонтажу пневмопідвіски автобуса

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

5. Розроблення імітаційної моделі досліджуваної системи

6. Аналіз відмов елементів пневматичної підвіски автобусів великого класу в умовах експлуатації

7. Аналіз конструкції пневматичної підвіски автобуса та обґрунтування напрямку удосконалення

8. Розроблення конструкції удосконаленого захисного елемента пневмобалона пневматичної підвіски автобуса

9. Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів під час виконання робіт з технічного обслуговування та ремонту пневматичної підвіски автобуса

10. Заходи з охорони праці та безпечного виконання робіт під час технічного обслуговування і ремонту пневматичної підвіски автобуса

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)



## ЗМІСТ

<b>РЕФЕРАТ</b>	5
<b>ВСТУП</b>	7
<b>1. ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ</b>	
1.1. Фактори, що впливають на надійність пневматичної підвіски та витрати запасних частин автобусів великого класу	9
1.2. Сезонні зміни умов експлуатації автобусів у різних кліматичних зонах України	19
<b>2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ</b>	
2.1. Технологічна послідовність демонтажу пневмопідвіски автобуса	24
2.2. Вплив сезонних змін природно-кліматичних умов на надійність пневматичної підвіски автобусів великого класу	27
2.3. Розроблення імітаційної моделі досліджуваної системи	33
2.4. Аналіз відмов елементів пневматичної підвіски автобусів великого класу в умовах експлуатації	37
<b>3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ</b>	
3.1. Аналіз конструкції пневматичної підвіски автобуса та обґрунтування напряму удосконалення	45
3.2. Розроблення конструкції удосконаленого захисного елемента пневмобалона пневматичної підвіски автобуса	50
<b>4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ</b>	
4.1. Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів під час виконання робіт з технічного обслуговування та ремонту пневматичної підвіски автобуса	55
4.2. Заходи з охорони праці та безпечного виконання робіт під час технічного обслуговування і ремонту пневматичної підвіски автобуса	57
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ</b>	61
<b>БІБЛІОГРАФІЯ</b>	63
<b>ДОДАТКИ</b>	

## РЕФЕРАТ

Метою роботи є підвищення надійності пневматичної підвіски автобусів великого класу шляхом аналізу чинників, що впливають на її технічний стан, урахування сезонних умов експлуатації, удосконалення технології демонтажу та обґрунтування конструктивного рішення щодо захисту пневмобалона в зоні найбільш інтенсивного зношування.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно розв'язати такі завдання:

- проаналізувати основні чинники, що впливають на надійність пневматичної підвіски та витрати запасних частин автобусів великого класу;
- дослідити вплив сезонних змін умов експлуатації автобусів у різних кліматичних зонах України на технічний стан елементів підвіски;
- розробити технологічну послідовність демонтажу пневмопідвіски автобуса;
- виконати аналіз відмов елементів пневматичної підвіски в умовах експлуатації;
- сформувати математичні та імітаційні підходи до оцінювання впливу температури повітря й інтенсивності опадів на кількість відмов;
- провести аналіз конструкції пневматичної підвіски автобуса та обґрунтувати напрям її удосконалення;
- запропонувати конструктивне рішення щодо захисного елемента пневмобалона;

Об'єктом дослідження є процес технічної експлуатації пневматичної підвіски автобусів великого класу.

Предметом дослідження є закономірності зміни надійності елементів пневматичної підвіски під впливом конструктивних, дорожніх, експлуатаційних і сезонних природно-кліматичних чинників, а також технологічні та конструктивні заходи підвищення її довговічності.

Структурно робота складається зі вступу, загально-технічного, технологічного, конструкторського розділів, розділу з безпеки життєдіяльності

та основ охорони праці, загальних висновків, списку використаних джерел і графічної частини. У загально-технічному розділі розглянуто чинники надійності пневматичної підвіски та сезонні особливості експлуатації автобусів. У технологічному розділі подано послідовність демонтажу пневмопідвіски, аналіз відмов її елементів, вплив сезонних природно-кліматичних умов та підходи до імітаційного моделювання досліджуваної системи. У конструкторському розділі виконано аналіз конструкції пневматичної підвіски автобуса та запропоновано напрям її удосконалення.

## ВСТУП

Пневматична підвіска сучасного автобуса є складною технічною системою, що включає пневмобалони, амортизатори, регулятори рівня підлоги, клапани, пневматичні трубопроводи, з'єднувальну арматуру, кронштейни, важелі, реактивні штанги та інші елементи. У процесі експлуатації ці вузли працюють в умовах змінних механічних навантажень, вібрацій, дії вологи, пилу, дорожніх забруднень, температурних перепадів і сезонних кліматичних впливів. Унаслідок цього відбувається прискорене старіння матеріалів, порушення герметичності, зношування деталей і зростання інтенсивності відмов, що негативно позначається на технічному стані автобуса, безпеці перевезень та витратах на технічне обслуговування і ремонт.

Актуальність теми зумовлена тим, що надійність пневматичної підвіски автобусів великого класу істотно залежить не лише від конструктивних особливостей самої системи, а й від умов експлуатації, серед яких особливе місце посідають дорожні та природно-кліматичні чинники. Сезонні зміни температури повітря, кількість та інтенсивність опадів, вологість, обледеніння, запиленість і стан дорожнього покриття впливають на технічний ресурс пневмобалонів, клапанних механізмів, трубопроводів і з'єднань, формуючи нерівномірність потоку відмов упродовж року. Недостатнє врахування цих чинників у практиці технічної експлуатації призводить до збільшення простоїв автобусів, зростання витрат запасних частин та зниження технічної готовності рухомого складу.

Поряд із цим важливою науково-практичною проблемою є вдосконалення технології технічного обслуговування і ремонту пневматичної підвіски, а також пошук конструктивних рішень, спрямованих на підвищення довговічності її найбільш уразливих елементів. Аналіз експлуатаційних відмов показує, що найбільшу частку в структурі несправностей і витрат запасних частин формують пневмобалони, амортизатори, пневматичні з'єднання та регулятори рівня підлоги. Саме тому особливої уваги потребують питання обґрунтування раціональної технологічної послідовності демонтажу вузлів, прогнозування інтенсивності відмов з урахуванням сезонних умов та розроблення

конструктивних заходів щодо захисту пневмобалона в зоні його найбільшого експлуатаційного зношування.

# 1. ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

## 1.1. Фактори, що впливають на надійність пневматичної підвіски та витрати запасних частин автобусів великого класу

Надійність пневматичної підвіски автобусів великого класу визначається сукупною дією конструктивних, технологічних, експлуатаційних, дорожніх, кліматичних та організаційних чинників [1, 8, 15]. Кожна із зазначених груп по своєму впливає на технічний стан елементів підвіски, швидкість їх зношування, частоту відмов і, як наслідок, на потребу в запасних частинах. Для забезпечення високого рівня технічної готовності автобусного парку необхідно розглядати ці чинники комплексно, з урахуванням реальних умов експлуатації та статистики відмов.

До кліматичних чинників належать температура навколишнього середовища, вологість повітря, кількість опадів, пилове забруднення, сезонні перепади погодних умов та тривалість дії несприятливих атмосферних явищ [5, 15]. Вплив зазначених чинників проявляється через зміну фізико-механічних властивостей матеріалів, прискорення процесів корозії, старіння гумотехнічних виробів, погіршення герметичності пневматичних магістралей і зниження надійності ущільнювальних елементів [6, 12, 16]. Для пневматичної підвіски особливо критичними є температурні коливання та підвищена вологість, оскільки вони впливають на ресурс пневмобалонів, клапанних механізмів і пневматичних з'єднань.

Дорожні чинники визначаються станом дорожнього покриття, рівнем нерівності, ямковістю, інтенсивністю ударних навантажень і тривалістю руху на ділянках з незадовільним профілем дороги [10, 15]. За таких умов у вузлах підвіски суттєво зростають динамічні навантаження, що призводить до

пришвидшеного втомного руйнування металевих деталей, ослаблення кріплень, втрати герметичності пневматичних контурів та скорочення строку служби пневмобалонів і амортизаторів. У випадку експлуатації автобусів на міжміських та приміських маршрутах з великою кількістю дефектних ділянок дороги вплив дорожніх умов на надійність підвіски стає одним із визначальних.

Експлуатаційні чинники пов'язані з інтенсивністю використання автобуса, середньодобовим пробігом, частотою зупинок, завантаженням салону, режимами руху та манерою керування водія [1, 14, 16]. За підвищеної інтенсивності роботи та систематичних перевантажень навантаження на пневматичну підвіску зростає, що спричиняє прискорене старіння елементів, збільшення частоти позапланових ремонтів і підвищення витрат на технічне обслуговування. Окремо слід відзначити вплив стилю водіння, оскільки різкі розгони, гальмування і наїзди на нерівності дороги погіршують умови роботи пневмопідвіски.

Конструктивні та технологічні чинники закладають початковий рівень надійності системи [4, 8, 15]. До них належать якість конструктивного виконання вузлів, запас міцності елементів, характеристики матеріалів, точність виготовлення, якість складання та рівень заводського контролю. Від цих параметрів залежить ресурс деталей у початковий період експлуатації, а також чутливість системи до зовнішніх впливів. Недостатня якість матеріалів або порушення технології виготовлення можуть призвести до передчасного виникнення дефектів, навіть за відносно сприятливих умов роботи.

Організаційні чинники пов'язані з рівнем технічного обслуговування, періодичністю діагностування, забезпеченням запасними частинами, якістю ремонту та кваліфікацією персоналу. За відсутності належного контролю технічного стану навіть незначні відхилення в роботі пневматичної підвіски можуть швидко перерости у серйозні несправності. Саме тому ефективна система технічного сервісу, своєчасне виявлення пошкоджень і раціональне управління запасами є важливими умовами підтримання працездатності автобусів великого класу.

Для узагальнення структури впливу основних чинників на надійність пневматичної підвіски доцільно використовувати схематичне подання, наведене на рис. 1.1.



Рис. 1.1. Схема впливу основних чинників на надійність пневматичної підвіски автобусів

Функціональна оцінка дії окремих груп чинників на технічний стан пневматичної підвіски подана у табл. 1.1.

Таблиця 1.1. Характеристика впливу основних чинників на надійність пневматичної підвіски

Група чинників	Основні прояви	Вплив на елементи підвіски	Ймовірні наслідки
Кліматичні	Мороз, спека, волога, опади, пил	Зміна еластичності матеріалів, корозія, порушення герметичності	Передчасне старіння пневмобалонів, витоки повітря
Дорожні	Нерівності, ями, удари, вібрації	Зростання ударних і	Прискорене зношування

		циклічних навантажень	амортизаторів, кріплень, втулок
Експлуатаційні	Інтенсивність руху, перевантаження, часті зупинки	Підвищення навантаження на вузли підвіски	Скорочення ресурсу деталей

Конструктивні	Схема підвіски, жорсткість, запас міцності	Формування початкового рівня надійності	Визначення потенційного строку служби
Технологічні	Якість матеріалів, точність виготовлення, якість складання	Зміна довговічності та надійності вузлів	Імовірність ранніх відмов
Організаційні	Якість ТО, діагностування, забезпечення запчастинами	Підтримання працездатного стану	Зменшення або зростання позапланових ремонтів

Запасні частини, що використовуються під час технічної експлуатації автобусів великого класу, доцільно класифікувати за функціональним призначенням і характером заміни. До першої групи належать елементи, від яких безпосередньо залежить безпека руху. До другої групи входять деталі, ресурс яких відповідає міжремонтному циклу або строку служби агрегату. Третю групу формують деталі з обмеженим ресурсом, заміна яких є плановою під час експлуатації. До четвертої групи належать супровідні комплектуючі: ущільнення, прокладки, манжети, кріпильні вироби, втулки та інші деталі, що підлягають заміні разом з основними елементами.

Структура витрат запасних частин для пневматичної підвіски визначається інтенсивністю відмов і частотою обслуговування окремих елементів. Орієнтовний розподіл питомої ваги запасних частин у загальному обсязі витрат наведено у табл. 1.2.

Таблиця 1.2. Орієнтовна структура витрат запасних частин пневматичної підвіски автобусів великого класу

Найменування елемента	Частка у загальному обсязі витрат, %	Основна причина заміни
Пневмобалони	24	Старіння матеріалу, втрата герметичності

Амортизатори	18	Інтенсивне зношування, зниження демпфувальних властивостей
Пневматичні трубки та з'єднання	14	Розгерметизація, механічні пошкодження
Клапани регулювання рівня підлоги	11	Зношування рухомих елементів, засмічення
Ущільнення, прокладки, манжети	10	Втрата пружності, руйнування
Кріпильні елементи та втулки	9	Вібраційне послаблення, деформації
Датчики та елементи керування	8	Відмова електропневматичних компонентів
Інші запасні частини	6	Комплексні ремонтні роботи
Разом	100	-

Дані табл. 1.2 свідчать, що найбільшу частку у структурі витрат формують пневмобалони, амортизатори та пневматичні з'єднання. Це вказує на необхідність посиленого діагностичного контролю саме за цими елементами, оскільки вони визначають працездатність, плавність ходу та експлуатаційну надійність автобуса.

Одним із важливих показників, що характеризують зміну технічного стану підвіски в часі, є інтенсивність відмов залежно від строку експлуатації автобуса. Для побудови відповідного графіка використано дані, подані в табл. 1.3.

Таблиця 1.3. Вихідні дані для побудови графіка залежності інтенсивності відмов пневматичної підвіски від строку експлуатації автобуса

Строк експлуатації автобуса, років	Кількість відмов на 100 тис. км пробігу
1	2,1
2	2,5
3	3,0

4	3,6
5	4,2
6	5,1
7	6,0
8	7,2
9	8,5
10	9,7
11	11,2
12	12,8

На основі наведених даних побудовано графік, який демонструє стійке зростання кількості відмов пневматичної підвіски зі збільшенням строку експлуатації автобуса.

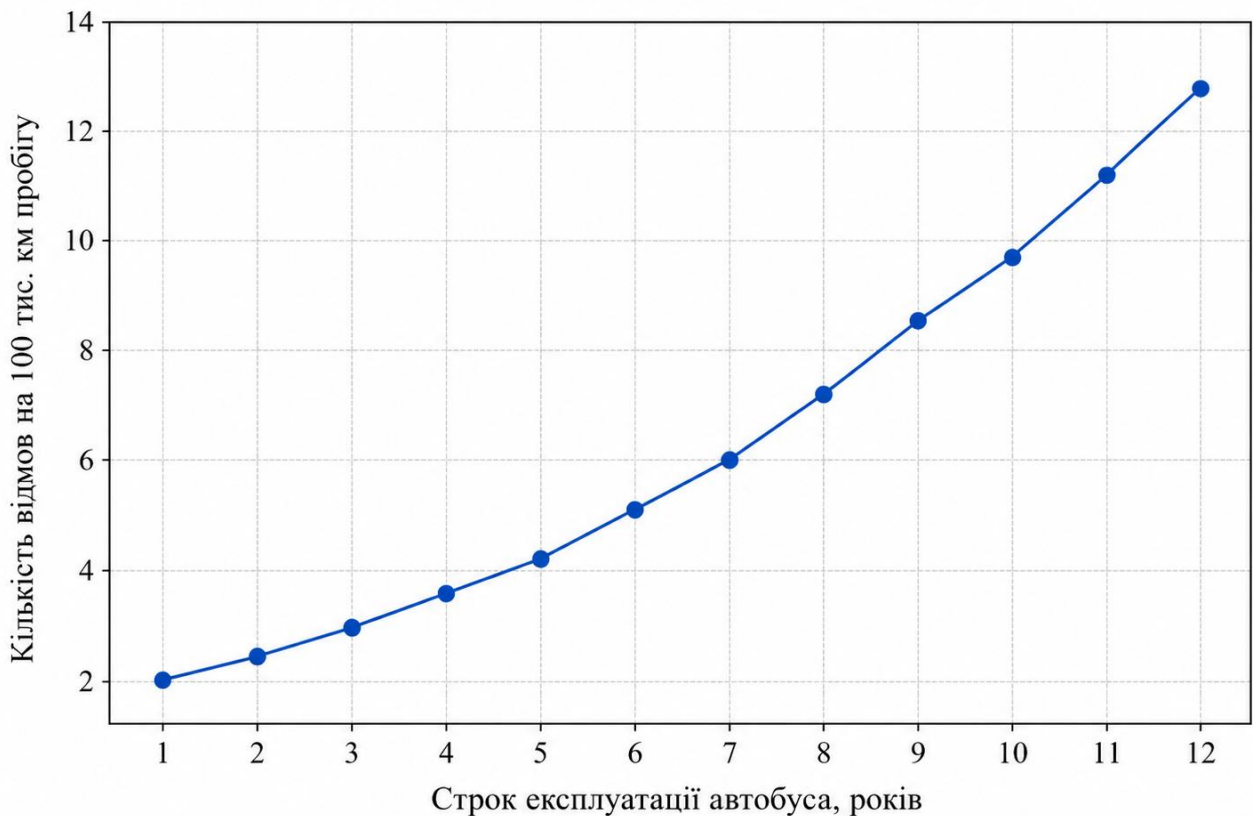


Рисунок 1.2. Графік залежності інтенсивності відмов пневматичної підвіски від строку експлуатації автобуса

З графіка видно, що у перші роки експлуатації інтенсивність відмов зростає поступово, однак після 7–8 років спостерігається більш різке збільшення кількості несправностей. Це пояснюється накопиченням втомних пошкоджень, старінням еластомерних елементів, зниженням герметичності системи та збільшенням ймовірності комплексних відмов у вузлах пневмопідвіски.

Суттєвий вплив на довговічність пневмобалонів мають дорожні умови експлуатації. Для кількісного відображення цього впливу використано дані, подані у табл. 1.3.

Таблиця 1.3. Вплив дорожніх умов на середній ресурс пневмобалонів автобусів великого класу

Характер дорожніх умов	Середній ресурс пневмобалонів, тис. км
Добрі	220
Задовільні	185
Складні	148
Дуже складні	121

На основі табл. 1.3 побудовано стовпчикову діаграму, яка дає змогу наочно оцінити зміну ресурсу пневмобалонів залежно від якості дорожнього покриття.

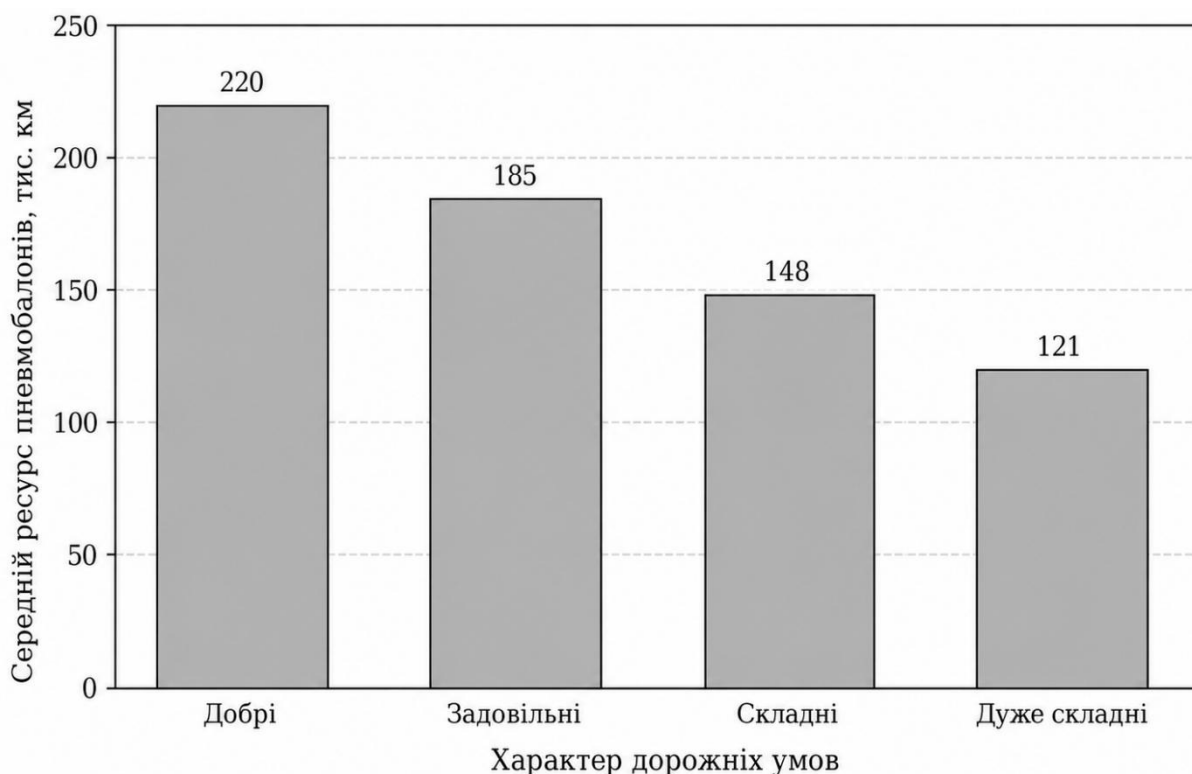


Рисунок 1.3. Діаграма впливу дорожніх умов на середній ресурс пневмобалонів

Як видно з діаграми, погіршення дорожніх умов супроводжується істотним зниженням середнього ресурсу пневмобалонів. Перехід від добрих до дуже складних умов експлуатації зменшує строк їх служби майже вдвічі, що підтверджує значущість дорожнього фактора у формуванні надійності пневматичної підвіски автобусів.

Для виявлення найбільш вагомих чинників, що впливають на надійність пневматичної підвіски, може використовуватися метод апріорного ранжування. За результатами експертного оцінювання формується узагальнений рейтинг факторів за ступенем їх впливу. Приклад такого узагальнення подано у табл. 1.4.

Таблиця 1.4. Узагальнений рейтинг значущості чинників, що впливають на надійність пневматичної підвіски

Чинник	Середній ранг	Рівень впливу
Природно-кліматичні умови	1,2	Найвищий
Вік автобуса	2,0	Високий
Дорожні умови	2,4	Високий
Інтенсивність експлуатації	3,5	Середній
Кваліфікація водія	3,9	Помірний

На основі результатів ранжування побудовано діаграму апріорного оцінювання, яка відображає відносну значущість окремих чинників.

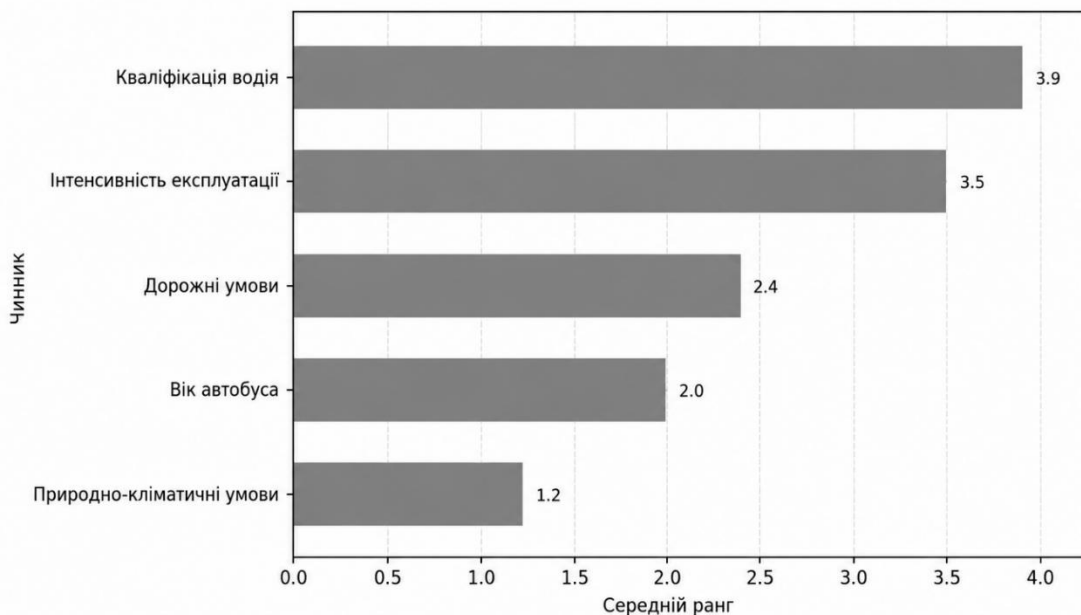


Рисунок 1.4. Діаграма апріорного ранжування чинників впливу на надійність пневматичної підвіски

Отримані результати свідчать, що найбільший вплив на надійність пневматичної підвіски мають природно-кліматичні умови, вік автобуса та дорожні умови. Менш значущими, але також важливими, є інтенсивність експлуатації та кваліфікація водія. Це підтверджує необхідність багатofакторного підходу до оцінювання технічного стану пневматичної підвіски та планування ремонтних впливів.

Для автотранспортних підприємств важливим є не лише аналіз чинників надійності, а й раціональне планування потреби у запасних частинах. З цією метою доцільно використовувати поетапну схему, що охоплює збір вихідних даних, аналіз технічного стану, розрахунок потреби у запасних частинах та організацію постачання й контролю.



Рисунок 1.5. Схема планування потреби у запасних частинах для пневматичної підвіски

Запропонована схема передбачає формування інформаційної бази про пробіг автобусів, строк їх експлуатації, умови руху, статистику відмов та результати діагностування. На другому етапі здійснюється аналіз технічного стану з виділенням проблемних вузлів, оцінкою інтенсивності відмов і прогнозуванням ресурсу елементів. Далі виконується розрахунок номенклатури та обсягу запасу деталей, визначається графік поповнення складських запасів.

Завершальним етапом є організація постачання, ведення обліку, контроль фактичного використання деталей і коригування плану закупівель (рис. 1.6).

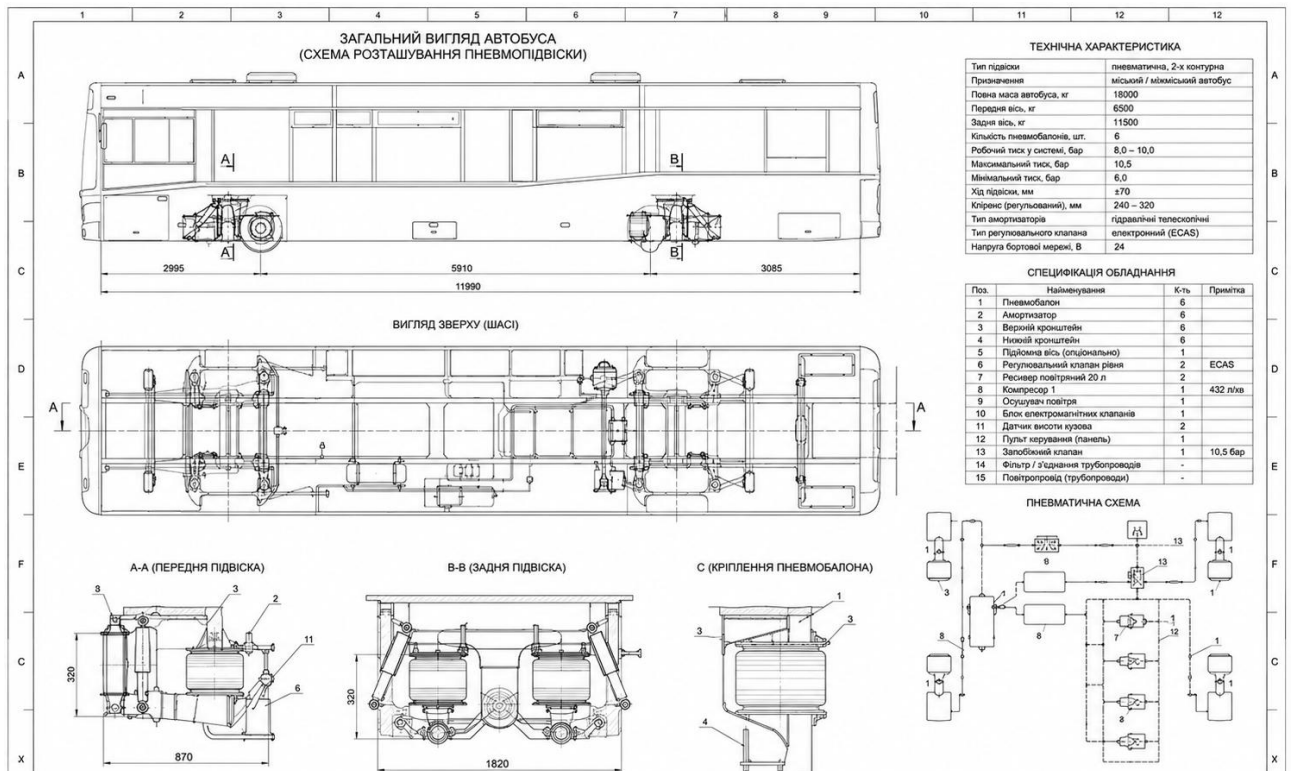


Рис. 1.6. Схема розташування пневмопідвіски

Отже, надійність пневматичної підвіски автобусів великого класу визначається складною системою взаємопов'язаних чинників, серед яких провідне місце посідають природно-кліматичні умови, вік автобуса та характер дорожніх умов. Узагальнення впливу цих чинників за допомогою таблиць, графіків і схем дозволяє не лише поглибити наукове розуміння причин відмов, а й обґрунтувати практичні рішення щодо підвищення технічної готовності автобусного парку. Раціональне планування запасних частин на основі фактичних даних про відмови та умови експлуатації забезпечує зниження ризику позапланових ремонтів, скорочення експлуатаційних витрат і підвищення ефективності роботи автотранспортного підприємства.

## **1.2. Сезонні зміни умов експлуатації автобусів у різних кліматичних зонах України**

Умови експлуатації автобусів в Україні мають виражену сезонну мінливість. Територія країни характеризується різноманітністю кліматичних умов, що зумовлює відмінності у температурному режимі, кількості опадів, тривалості снігового покриву, вологості повітря, частоті переходів температури через 0 °С та стані дорожнього покриття. Для технічної експлуатації автобусів особливе значення мають не лише середні значення кліматичних показників, а й частота екстремальних або перехідних станів: замерзання, відтавання, ожеледиці, інтенсивних опадів, різких коливань температури.

Сезонні умови впливають на роботу пневматичної підвіски як безпосередньо, так і опосередковано [5, 12, 15]. Безпосередній вплив проявляється через зміну властивостей гумотехнічних матеріалів, тиску в пневматичних елементах, роботи ущільнень, клапанів і магістралей. Опосередкований вплив пов'язаний зі зміною дорожніх умов, збільшенням забруднення, використанням протиожеледних матеріалів, зміною режимів руху та зростанням ударних навантажень на підвіску.

У зимовий період основними чинниками ризику є низька температура, сніг, ожеледиця, волога, замерзання конденсату, використання протиожеледних матеріалів і погіршення зчеплення коліс із дорожнім покриттям [1, 5, 8]. Для пневматичної підвіски це означає підвищення ризику втрати герметичності, порушення роботи клапанів, прискорене старіння гумових елементів і збільшення кількості відмов у разі несвоєчасного технічного обслуговування.

Весняний період характеризується значною кількістю опадів, підвищеною вологістю, забрудненням ходової частини, руйнуванням дорожнього покриття після зими та збільшенням кількості ударних навантажень. Саме навесні часто спостерігається зростання пошкоджень елементів підвіски, оскільки автобуси

рухаються дорогами з великою кількістю нерівностей, а пневмобалони працюють у режимі підвищених деформацій.

Літній період є відносно сприятливим з погляду відсутності низькотемпературного впливу, однак він також має специфічні ризики. До них належать підвищена температура, запиленість, інтенсивна експлуатація на маршрутах, зростання пасажиропотоку в туристичних регіонах, перевантаження автобусів у пікові години. За високих температур прискорюються процеси старіння гумотехнічних матеріалів, а пил і бруд можуть діяти як абразив.

Осінній період характеризується підвищеною вологістю, частими опадами, зниженням температури, утворенням бруду, листя на дорожньому покритті та першими випадками заморозків. Для пневматичної підвіски цей період є перехідним: матеріали та елементи системи починають працювати в умовах наростання температурних перепадів, що поступово підвищує ризик відмов у зимовий період.

З урахуванням регіональних відмінностей України можна виділити кілька типових експлуатаційних зон для автобусів великого класу [10, 15]:

1. Західний регіон - характеризується значною кількістю опадів, підвищеною вологістю, складним рельєфом у гірських і передгірських районах, а також значною кількістю доріг із перепадами висот. Для пневматичної підвіски це означає підвищене навантаження через часті зміни режимів руху, гальмування, повороти та нерівності дорожнього покриття.

2. Центральний регіон - має помірно континентальні умови, виражену сезонність, значну кількість переходів температури через 0 °C у міжсезоння. Основними факторами впливу є зимово-весняне руйнування доріг, перепади температур і нерівномірність транспортного навантаження в міських агломераціях.

3. Північний регіон - характеризується нижчими зимовими температурами, вищою вологістю та тривалішим періодом зимових умов. Для автобусів це підвищує ризик відмов пневматичних магістралей, ущільнень і гумотехнічних деталей.

4. Південний регіон - має вищі літні температури, більшу запиленість, значне навантаження в туристичний сезон і ризик перегріву окремих систем. Для пневмобалонів характерним є вплив високих температур і прискорене старіння матеріалів.

5. Східний регіон - поєднує значні сезонні перепади температур, інтенсивну експлуатацію на промислових і міжміських маршрутах, а також підвищене навантаження на дорожню інфраструктуру. Основними ризиками є динамічні навантаження, зношування та складність організації своєчасного технічного забезпечення в окремих районах.

Узагальнений вплив сезонних умов на пневматичну підвіску автобусів наведено в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5. Вплив сезонних умов на елементи пневматичної підвіски автобусів

Період року	Основні умови експлуатації	Можливі наслідки для пневматичної підвіски
Зима	Низька температура, сніг, ожеледиця, реагенти, конденсат	Втрата еластичності пневмобалонів, замерзання вологи, порушення роботи клапанів, витоки повітря
Весна	Волога, бруд, руйнування дорожнього покриття, часті удари	Збільшення деформацій пневмобалонів, пошкодження кріплень, прискорене зношування
Літо	Висока температура, пил, інтенсивна експлуатація, перевантаження	Старіння гуми, абразивне зношування, підвищене навантаження на систему
Осінь	Опади, вологість, бруд, перші заморозки, температурні коливання	Погіршення герметичності, накопичення вологи, підготовка умов для зимових відмов

Для кількісного оцінювання впливу сезонних умов доцільно використовувати такі показники: середньомісячна температура повітря, кількість днів з опадами, середня відносна вологість, кількість переходів температури

через 0 °С, середній добовий пробіг автобусів, кількість відмов пневмопідвіски за місяць, напрацювання на відмову, параметр потоку відмов і тривалість простоїв у ремонті.

Параметр потоку відмов можна подати у вигляді:

$$\omega_i = \frac{n_i}{L_i}, \quad (1.1)$$

де  $\omega_i$ - параметр потоку відмов у  $i$ -му періоді, відмов/км;

$n_i$ - кількість відмов елементів пневматичної підвіски за відповідний період;

$L_i$ - сумарний пробіг автобусів за цей період, км.

Для практичних розрахунків параметр потоку відмов доцільно подавати у перерахунку на 1000 або 10 000 км пробігу:

$$\omega_i^* = \frac{n_i}{L_i} \cdot 10000. \quad (1.2)$$

Такий підхід дозволяє порівнювати відмовність у різні місяці незалежно від зміни загального пробігу автобусного парку. Якщо в окремий місяць кількість відмов зростає не лише через збільшення пробігу, а й через погіршення кліматичних або дорожніх умов, це буде відображено у зростанні параметра потоку відмов.

Середнє напрацювання на відмову визначається за формулою [2, 14, 15]:

$$T = \frac{L}{n}, \quad (1.3)$$

де  $T$ - середнє напрацювання на відмову, км;

$L$ - сумарний пробіг автобусів, км;

$n$ - кількість зафіксованих відмов.

Зменшення середнього напрацювання на відмову в зимово-весняний період може свідчити про суттєвий вплив сезонних факторів на надійність пневматичної підвіски. Для встановлення кількісної залежності між кліматичними показниками та відмовністю необхідно застосовувати кореляційно-регресійний аналіз, що дає змогу визначити силу й напрям впливу кожного фактора.

Отже, сезонні зміни умов експлуатації є одним із ключових чинників, які необхідно враховувати під час оцінювання надійності пневматичної підвіски автобусів великого класу. Ігнорування сезонності призводить до помилок у плануванні запасних частин, недооцінювання ризику відмов у зимово-весняний період і збільшення простоїв рухомого складу.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1. Технологічна послідовність демонтажу пневмопідвіски автобуса

Демонтаж пневматичної підвіски автобуса є відповідальною технологічною операцією, яка виконується з метою заміни зношених або пошкоджених елементів, проведення дефектування вузлів, відновлення герметичності системи та забезпечення подальшої надійної експлуатації транспортного засобу [4, 7, 14]. Технологічна послідовність виконання робіт повинна забезпечувати безпеку персоналу, збереження справних деталей, мінімізацію ризику пошкодження суміжних вузлів та скорочення тривалості ремонтного циклу (рис. 2.1).

Перед початком демонтажу автобус установлюють на рівному майданчику або ремонтному посту, обладнаному оглядовою канавою чи підйомником. Машину надійно фіксують стоянковим гальмом, під колеса встановлюють противідкатні упори, а електроживлення від бортової мережі, за потреби, відключають. На підготовчому етапі також виконують зовнішній огляд пневмопідвіски, визначають технічний стан пневмобалонів, амортизаторів, ресиверів, трубопроводів, важелів, кронштейнів, регуляторів рівня підлоги та з'єднувальної арматури. Одночасно перевіряють наявність механічних пошкоджень, слідів витoku повітря, деформацій, корозійних уражень і послаблення кріплень.

Наступним етапом є зниження тиску в пневматичній системі [7, 12, 14]. Перед безпосереднім демонтажем обов'язково стравлюють стиснене повітря з ресиверів і контурів підвіски, оскільки роз'єднання трубопроводів або демонтаж пневмобалонів під тиском створює підвищену небезпеку для ремонтного персоналу. Після повного скидання тиску від'єднують повітряні магістралі від

пневмобалонів, клапанів керування та регуляторів висоти. Для запобігання помилкам під час подальшого монтажу доцільно маркувати трубопроводи, штуцери та місця приєднання.

Після підготовки системи до розбирання піднімають кузов автобуса або відповідну вісь до положення, за якого елементи підвіски звільняються від робочого навантаження. У разі виконання робіт на підйомнику або за допомогою домкратів автобус додатково встановлюють на жорсткі страхувальні опори. Це необхідно для виключення самовільного опускання кузова та забезпечення безпечного доступу до вузлів підвіски. На цьому етапі особливу увагу приділяють правильному вибору точок підпирання рами й мостів, щоб уникнути перекосу конструкції.

Безпосередній демонтаж пневматичної підвіски доцільно виконувати поелементно, дотримуючись технологічної логіки розбирання. Спочатку від'єднують допоміжні елементи системи: датчики положення кузова, тяги регуляторів рівня, кронштейни кріплення трубопроводів, захисні кожухи та інші вузли, що ускладнюють доступ до основних деталей. Далі послаблюють і знімають кріплення амортизаторів, якщо їх конструктивне розташування пов'язане з роботою пневмопідвіски та перешкоджає зняттю пневмобалонів або напрямних елементів.

Після цього виконують демонтаж пневмобалонів. Для цього відкручують верхні та нижні кріпильні елементи, від'єднують повітряний штуцер і обережно знімають пневмобалон із посадкових місць. Якщо вузол має сліди корозії або тривалий час не обслуговувався, перед демонтажем різьбові з'єднання обробляють проникною мастильною рідиною. Знімати пневмобалон слід без перекосу, не допускаючи різких механічних впливів, які можуть пошкодити кронштейни, шпильки, опорні чашки або сусідні деталі.

Після зняття пневмобалонів переходять до демонтажу регуляторів рівня підлоги, пневморозподільних клапанів, з'єднувальної арматури та пневматичних трубок. Усі деталі рекомендується знімати послідовно, з одночасною перевіркою їх технічного стану. Пневматичні трубки оглядають на предмет тріщин, потертостей, локальних перегинів, руйнування зовнішнього шару та зниження

герметичності з'єднань. Клапанні механізми підлягають перевірці на забруднення, знос внутрішніх рухомих елементів і корозійні пошкодження.

ТЕХНОЛОГІЧНА КАРТА ДЕМОНТАЖ ПНЕВМОПІДВІСКИ АВТОБУСА					Марка автобуса: MAN Lion's Coach RO8	Тип підвіски: пневматична	Код документа TK-26-01	Лист 1	Листів 1
№	Назва операції	Ескіз операції	Інструмент, пристосування	Технічні вимоги та вказівки	Тривалість, хв	<p><b>СХЕМА ПНЕВМОПІДВІСКИ АВТОБУСА</b></p> <p>1 – Пневмобалон 2 – Амортизатор 3 – Регулятор рівня підлоги 4 – Пневморозподільний клапан 5 – Повітряний ресивер 6 – Компресор 7 – Запобіжний клапан 8 – Датчик висоти 9 – Кронштейн 10 – Пневматичний трубопровід 11 – З'єднувальний фітинг</p> <p><b>НЕОБХІДНИЙ ІНСТРУМЕНТ ТА ПРИСТОСУВАННЯ</b></p> <p>Ключі рожкові (на 12, 14, 17, 19) Ключі накидні (на 12, 14, 17, 19) Вороток і подовжувач Демкрат гідравлічний Опори страховальні</p> <p>Пасатики Вкрутки Знімачі Молоток мідний Різок трубний</p> <p><b>ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Перед початком робіт обов'язково стравити повітря з пневмосистеми.</li> <li>Забороновано роз'єднувати елементи системи під тиском.</li> <li>Автобус встановлювати лише на справні страховальні опори.</li> <li>Не знаходитися під кузовом без встановлених опор.</li> <li>Використовувати справний інструмент та пристосування за призначенням.</li> <li>Працювати у захисних рукавицях та окулярах при демонтажі деталей.</li> <li>Важкі деталі знімати за допомогою підійомних засобів або з помічником.</li> </ol>			
1	Підготовка робочого місця та встановлення автобуса на пост		Підійомник / оглядова канава, упори протишкідливі	Автобус встановити на рівній майданчик або пост, зафіксувати стійковим гальмом, під колеса встановити упори	5				
2	Зовнішній огляд пневмопідвіски		Ліхтар, дзеркало оглядове	Перевірити стан пневмобалонів, амортизаторів, трубопроводів, кріплень, вивити витюки, пошкодження, корозію	10				
3	Стравлювання повітря з пневматичної системи		Ключ для зливного клапана	Повністю стравити повітря з ресиверів та контурів підвіски до нульового тиску	8				
4	Маркування та від'єднання пневматичних магістралей		Маркер, ключ на 12, 14 ключ рожковий	Промаркувати трубопроводи і від'єднати їх від пневмобалонів, клапанів, регуляторів	15				
5	Піднімання кузова/осі та встановлення страховальних опор		Демкрат гідравлічний, опори страховальні	Підняти кузов або вісь до розвантаження підвіски. Встановити страховальні опори	10				
6	Демонтаж допоміжних елементів і захисних деталей		Ключі, викрутки	Зняти кронштейни кріплення трубопроводів, захисні кожухи, датчики, тяги регуляторів рівня	10				
7	Від'єднання амортизаторів		Ключ на 17, 19, вороток	Відкрити верхні та нижні кріплення амортизаторів і зняти їх	15				
8	Демонтаж пневмобалонів		Ключі на 17, 19, подовжувач протина масляних рідин	Відкрити кріплення, від'єднати штуцер, зняти пневмобалон із посадкових місць	20				
9	Демонтаж регуляторів рівня, клапанів та з'єднувальної арматури		Ключі, пасатики	Зняти регулятори рівня, клапани, фітинги, штуцери, перевірити технічний стан	20				
10	Демонтаж трубопроводів пневмосистеми		Ключі гаєчні, різак трубний	Зняти трубопроводи, перевірити на тріщини, знос, корозію	15				
11	Демонтаж важелів, штанг, втулок та інших елементів підвіски		Ключі, знімачі, молоток мідний, бородок	Зняти реактивні штанги, важелі, втулки, стабілізатори та інші деталі підвіски	25				
12	Очищення, дефектування та сортування деталей		Шліфка металева, ганчірка, ємність для деталей	Очистити деталі, оцінити придатність до подальшого використання, відбавувати непридатні	15				
ЗАГАЛЬНА ТРИВАЛІСТЬ РОБІТ					178 хв (2 год 58 хв)				

Рис. 2.1. Технологічна карта демонтажу пневмопідвіски

У разі необхідності повного демонтажу вузла підвіски далі знімають реактивні штанги, важелі, втулки, опорні елементи, стабілізатори поперечної стійкості та інші металоконструкції, що входять до складу підвіски конкретного автобуса. Демонтаж зазначених деталей виконують після часткового розвантаження моста або осі. Особливу увагу приділяють вилученню пальців, втулок і сайлентблоків, оскільки надмірне ударне навантаження під час розбирання може пошкодити посадкові поверхні та ускладнити подальше складання.

Завершальним етапом демонтажу є очищення знятих деталей, їх сортування, дефектування та оцінка придатності до подальшого використання. Справні елементи направляють на очищення, перевірку та повторний монтаж, деталі з критичним зносом або механічними пошкодженнями - на заміну. Одночасно оглядають місця встановлення пневмобалонів, кронштейни, опорні

поверхні та кріпильні елементи рами й моста. За наявності деформацій, корозії, тріщин або слідів втомного руйнування ці дефекти підлягають усуненню до початку монтажних робіт.

Технологічно правильна послідовність демонтажу пневмопідвіски забезпечує збереження справних вузлів, підвищує якість подальшого ремонту та знижує ризик повторних відмов після складання. Раціональна організація цього процесу повинна базуватися на дотриманні вимог охорони праці, використанні спеціального інструменту, застосуванні підйимально-страхувального обладнання та обов'язковому контролю технічного стану кожного демонтованого елемента.

## **2.2. Вплив сезонних змін природно-кліматичних умов на надійність пневматичної підвіски автобусів великого класу**

Потреба у запасних частинах для пневматичної підвіски автобусів великого класу безпосередньо залежить від інтенсивності відмов її елементів та сумарного пробігу рухомого складу за досліджуваний період. Для побудови коректної моделі формування потоку відмов необхідно враховувати сезонну мінливість умов експлуатації та фізичну природу процесів, що визначають деградацію елементів підвіски. У цьому контексті особливого значення набуває дослідження впливу температури повітря, атмосферних опадів, вологості та супутніх сезонних явищ на працездатність пневматичних елементів автобусів.

У холодний період року надійність пневматичної підвіски суттєво знижується внаслідок комплексного впливу низьких температур, снігових опадів, обледеніння та забруднення зони колісних арок [5, 6, 12]. За таких умов змінюються фізико-механічні характеристики матеріалів пневмобалонів, знижується еластичність оболонки, зростає крихкість полімерних компонентів, підвищується жорсткість армувальних шарів. Унаслідок цього навіть за штатних

циклічних навантажень зростає ймовірність утворення мікротріщин, локальних зон перевантаження та розривів оболонки пневмоелемента.

Сезонні природно-кліматичні фактори впливають на пневматичну підвіску не лише через температуру повітря, а й через опади, що змінюють умови контакту вузлів із зовнішнім середовищем. У зимовий період налипання снігу й утворення льоду в зоні колеса та поблизу направляючих елементів пневмопідвіски спричиняють додаткові механічні впливи на гумокордний рукав, захисні кожухи та суміжні деталі. Обмерзання поверхні пневмобалона може викликати стирання зовнішнього шару, пошкодження корду та передчасний вихід елемента з ладу. У літній період більш характерними є процеси старіння матеріалу, зниження міцності з'єднувальних елементів, порушення фіксації затискних кілець і виникнення мікротріщин в оболонці пневмобалона внаслідок дії температури, вологи та циклічного деформування.

Пневмобалон як основний пружний елемент підвіски є багат шаровою конструкцією, до складу якої входять армувальні нитки, еластомерні шари, герметизувальні матеріали, металеві підсилювальні елементи та гумотехнічні компоненти. Механічна поведінка цього вузла суттєво залежить від температурного режиму. За низьких температур матеріали втрачають здатність до пружної деформації, що призводить до збільшення локальних напружень у зонах вигину. За підвищених температур навпаки зростає пластичність, але одночасно знижується опір розриву та стійкість до тривалого циклічного навантаження. Саме тому сезонна мінливість кліматичних умов повинна розглядатися як один із ключових чинників, що формують нерівномірність відмов пневматичної підвіски протягом року.

Для систематизації впливу сезонних чинників на властивості елементів пневматичної підвіски доцільно подати узагальнену характеристику в табличній формі.

Таблиця 2.1. Вплив сезонних змін природно-кліматичних факторів на властивості пневматичної підвіски

Найменування фактора	Показник фактора	Характер впливу на елементи пневмопідвіски
Температура повітря	Середньомісячна температура, °С	Зниження еластичності матеріалів за низьких температур; зменшення міцності на розрив за високих температур
Опади	Кількість днів з опадами за місяць	Зростання ризику зволоження, обмерзання, деформації та пошкодження поверхневих шарів
Інтенсивність опадів	Середній рівень опадів, мм/добу	Підвищення ймовірності локального руйнування, розгерметизації та механічного пошкодження
Вологість повітря	Середньомісячна відносна вологість, %	Прискорення старіння гумових елементів, корозії металевих деталей та погіршення стану з'єднань
Обледеніння	Частота переходів температури через 0 °С	Формування льодових нашарувань у зоні пневмобалона та захисних елементів
Пил і дорожні забруднення	Інтенсивність забруднення вузлів	Абразивне зношування зовнішньої поверхні, пошкодження ущільнювальних елементів

З огляду на фізичну природу процесів руйнування можна зробити висновок, що взимку основними механізмами втрати працездатності є крихке руйнування полімерних компонентів, обмерзання та механічне пошкодження оболонки пневмобалона. У теплий період року більш характерними стають старіння матеріалу, ослаблення вузлів кріплення, пошкодження гумокордних елементів та корозійне ураження внутрішніх металевих складових. Таким чином,

сезонна зміна природно-кліматичних умов формує нерівномірний розподіл відмов упродовж року, що безпосередньо впливає на потребу в запасних частинах і на порядок організації технічного обслуговування автобусів великого класу.

Для підвищення точності планування технічних впливів необхідно враховувати не лише середні значення відмов, а й закономірності їх сезонного формування. Це дає змогу обґрунтовано визначати потребу в заміні пневмобалонів, прогнозувати місячні обсяги споживання запасних частин і формувати резерви деталей на найбільш критичні періоди року.

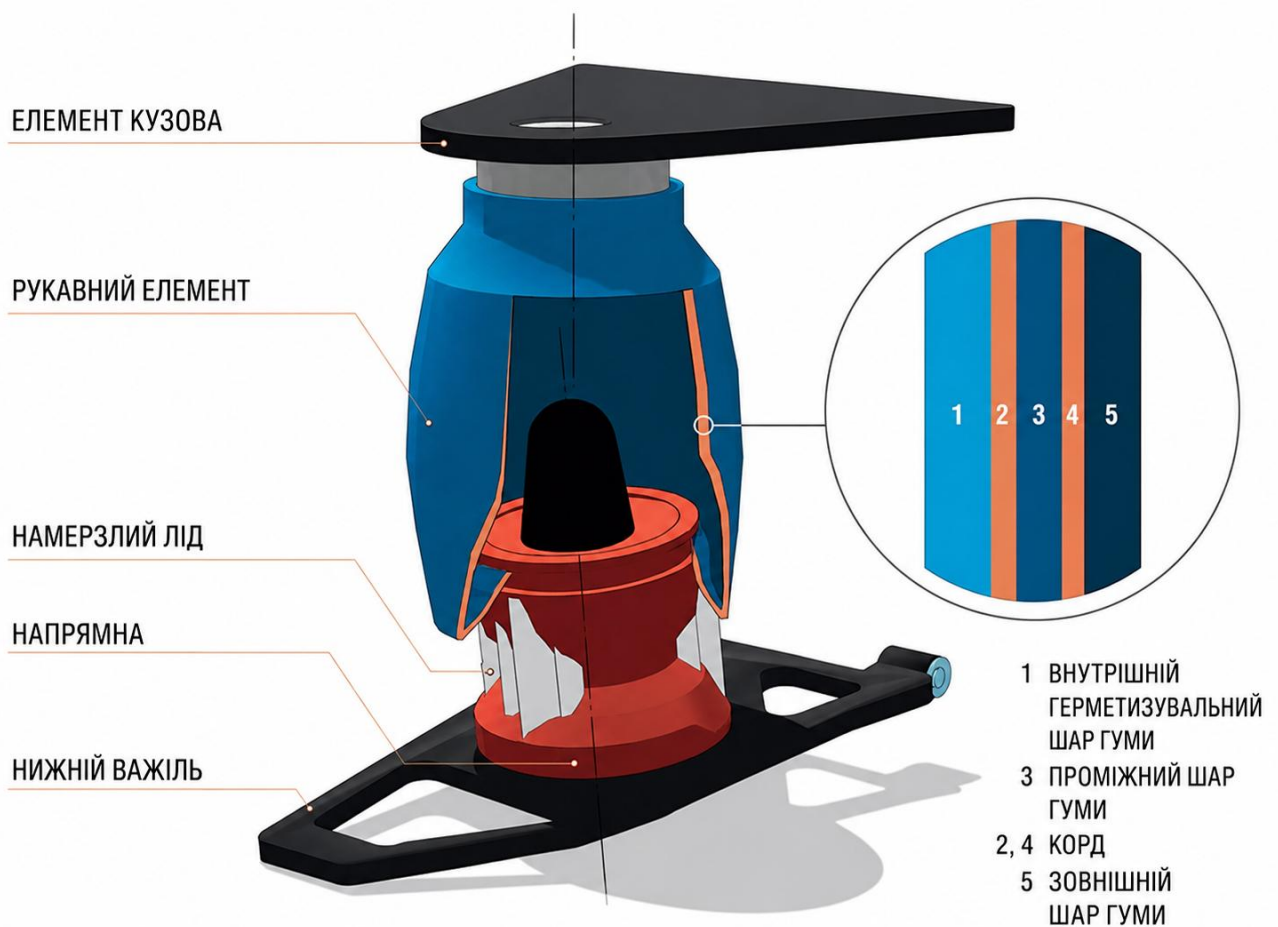


Рисунок 2.1. Просторова модель пневмобалона автобуса та характерні зони сезонних пошкоджень

Під час розроблення математичних моделей впливу кліматичних чинників на інтенсивність відмов пневматичної підвіски доцільно використовувати емпіричний підхід, за якого спочатку формуються гіпотези щодо виду функціональних залежностей, а далі ці гіпотези перевіряються за

експериментальними або статистичними даними. Такий підхід є обґрунтованим для технічних систем, у яких процеси деградації мають складну природу і залежать від поєднання фізичних, експлуатаційних та зовнішніх факторів.

Аналіз умов експлуатації автобусів великого класу показує, що серед природно-кліматичних чинників найбільший вплив на надійність пневматичної підвіски мають температура повітря  $t$  та частка днів з опадами  $D$ . Саме ці змінні доцільно використовувати як основні незалежні параметри під час побудови моделі інтенсивності відмов  $\lambda$ .

Залежність інтенсивності відмов пневмобалонів від температури навколишнього середовища має нелінійний характер. За низьких температур матеріал оболонки втрачає еластичність і стає більш чутливим до утворення тріщин. За підвищених температур, навпаки, зростає пластичність, але одночасно знижується міцність на розрив і стійкість до циклічних навантажень. Таким чином, існує деякий оптимальний температурний діапазон, у межах якого інтенсивність відмов є мінімальною. Для опису такої закономірності доцільно застосувати квадратичну модель:

$$\lambda = a_0 + a_1 t + a_2 t^2, \quad (2.1)$$

де:  $t$ - температура навколишнього повітря, °С;

$a_0, a_1, a_2$ - емпіричні коефіцієнти моделі.

Параболічний характер залежності дає змогу відобразити мінімум функції в діапазоні температур, за яких умови роботи пневмобалона є найбільш сприятливими. У реальних умовах це, як правило, помірні температури, за яких матеріал не втрачає ані еластичності, ані достатньої міцності.

Вплив частки днів з опадами на інтенсивність відмов є більш складним і залежить від знака температури повітря. У холодний період збільшення частоти опадів сприяє налипанню снігу, обледенінню та зростанню механічного навантаження на елементи підвіски. У теплий період наявність опадів може мати менш виражений негативний ефект або навіть частково знижувати температурне

навантаження на поверхню пневмобалона. Для опису узагальненого впливу частки днів з опадами доцільно використовувати степеневу модель:

$$\lambda = b_1 D^{b_2}, \quad (2.2)$$

де:  $D$ - частка днів з опадами за досліджуваний період;

$b_1, b_2$ - емпіричні параметри моделі.

Для побудови багатофакторної моделі, що враховує одночасну дію температури повітря та опадів, однофакторні залежності поєднують у єдину регресійну конструкцію. У разі врахування змішаних ефектів модель може бути записана у такому вигляді:

$$\lambda = A_0 + A_1 t + A_2 t^2 + A_3 t D^{A_6} + A_4 t^2 D^{A_6} + A_5 D^{A_6}, \quad (2.3)$$

де  $A_0, A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6$ - параметри багатофакторної моделі.

Разом із тим під час математичного моделювання важливо перевірити, чи є необхідність у врахуванні змішаних ефектів, оскільки надмірне ускладнення моделі не завжди забезпечує суттєве підвищення точності прогнозу. Тому доцільно порівнювати багатофакторну модель зі змішаними ефектами з моделлю лише на головних ефектах:

$$\lambda = A_0 + A_1 t + A_2 t^2 + A_3 D^{A_4} \quad (2.4)$$

де  $A_0, A_1, A_2, A_3, A_4$ - параметри спрощеної моделі.

Порівняння моделей повинно виконуватися за результатами експериментальних досліджень із використанням критеріїв адекватності, статистичної значущості коефіцієнтів, величини похибки апроксимації та показників якості регресії. Якщо змішані члени не дають істотного приросту точності, доцільніше використовувати модель на головних ефектах, оскільки вона є простішою для практичного застосування в системі планування технічного обслуговування і запасів.

Запропоновані математичні залежності створюють основу для переходу від якісного опису сезонного впливу до кількісного прогнозування інтенсивності відмов пневматичної підвіски. Це дає змогу обґрунтовано визначати рівень ризику відмов у різні періоди року, прогнозувати потребу в запасних частинах та адаптувати графіки технічного обслуговування до реальних умов експлуатації автобусного парку.

### **2.3. Розроблення імітаційної моделі досліджуваної системи**

Ефективність роботи автомобільного транспорту суттєво залежить від умов експлуатації, які змінюються протягом року під впливом сезонних факторів [2, 5, 14]. Найбільш помітно варіюють температура повітря, частота та інтенсивність опадів, вологість середовища, стан дорожнього покриття, а також рівень експлуатаційного навантаження на рухомий склад. За істотної сезонної мінливості умов традиційні підходи до планування технічного обслуговування і ремонту не завжди забезпечують потрібний рівень технічної готовності автобусів. Причина полягає в тому, що нормативні ресурси елементів, норми витрат запасних частин і періодичність технічних впливів часто не відповідають фактичним умовам їх роботи.

Особливо це стосується елементів пневматичної підвіски, для яких сезонний характер відмов проявляється доволі виразно. У зимовий період кількість відмов пневмобалонів, як правило, зростає, що призводить до нерівномірної потреби в запасних частинах. Якщо підприємство не враховує цю нерівномірність, виникають або простої автобусів через дефіцит деталей, або надлишкове накопичення запасів у міжсезоння. Саме тому для обґрунтованого управління запасами та прогнозування кількості відмов доцільно застосовувати імітаційне моделювання.

Імітаційна модель дає можливість врахувати випадковий характер зміни температури повітря, опадів і інтенсивності експлуатації автобусів у часі. На відміну від статичних або суто нормативних підходів, така модель дозволяє відтворювати процес формування потоку відмов у динаміці та оцінювати не лише середні значення показників, а й їх варіацію, сезонні піки та ймовірні ризики відхилення від очікуваного рівня.

Побудова імітаційної моделі здійснюється поетапно. На першому етапі формується перелік факторів, що впливають на надійність пневматичної підвіски. Далі на основі попереднього аналізу та експериментальних даних виконується відбір найбільш значущих змінних. Після цього розробляється структура моделі, яка описує взаємозв'язок між кліматичними умовами, інтенсивністю експлуатації автобусів, кількістю рухомого складу та прогнозованою кількістю відмов пневмобалонів.

Алгоритм імітаційної моделі доцільно реалізовувати за циклічним принципом із розбиттям на роки, місяці та дні. На початку моделювання задається кількість річних циклів  $N_{year}$ , а також початкові значення поточного року, місяця і дня. Далі в межах кожного дня генеруються значення температури навколишнього середовища, показника опадів і середнього пробігу автобусів. Після цього на основі математичної моделі визначається інтенсивність відмов пневмобалонів, яка коригується з урахуванням фактичної інтенсивності експлуатації і кількості автобусів у парку.

На наступному етапі розраховується кількість відмов за добу, після чого виконується перехід до наступного дня. Якщо поточний день не перевищує кількість календарних днів у місяці, цикл повторюється. Після завершення місяця модель переходить до наступного місяця, а після завершення року - до нового річного циклу. Після досягнення заданої кількості циклів моделювання виконується оброблення результатів: визначаються середні значення кількості відмов за місяцями, оцінюється сезонна нерівномірність, формуються статистичні характеристики потреби у запасних частинах і визначається необхідний страховий запас.

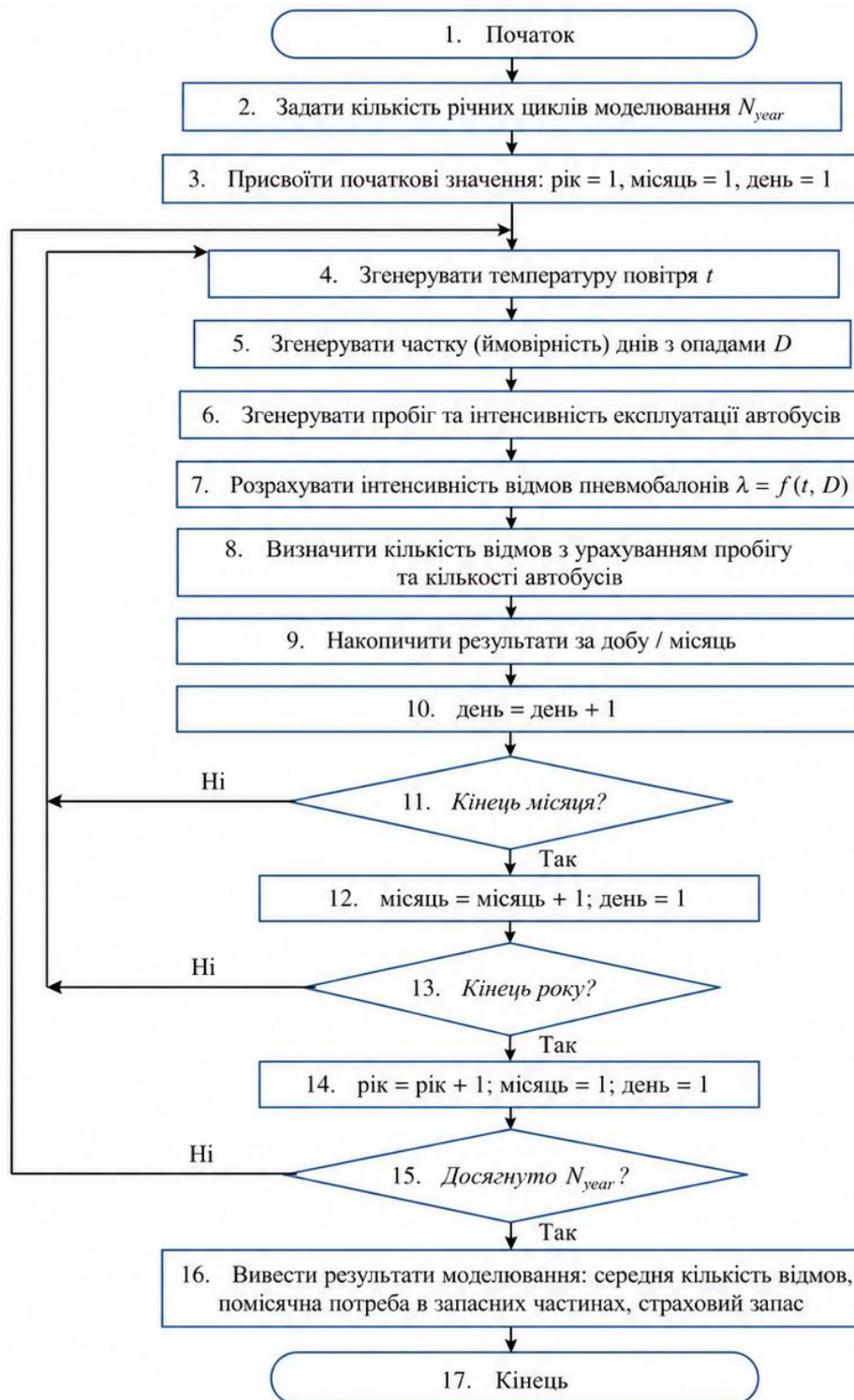


Рисунок 2.2. Алгоритм імітаційної моделі впливу сезонних змін температури повітря та інтенсивності опадів на кількість відмов пневматичної підвіски автобусів

Перевагою імітаційної моделі є можливість отримання розподілу кількості відмов, а не лише одного усередненого значення. Це дає змогу визначити не

тільки середню потребу в замінах пневмобалонів по місяцях, а й обґрунтувати рівень резервного запасу деталей, необхідного для запобігання простоям автобусів з наперед заданою імовірністю. Такий підхід є особливо цінним для підприємств, що експлуатують автобуси в умовах значної сезонної мінливості та підвищеного навантаження на пневматичну підвіску.

Для підвищення практичної цінності моделі доцільно також формувати підсумкові таблиці прогнозних значень відмов і потреби в запасних частинах за місяцями року. Приклад структури такої таблиці наведено нижче.

Таблиця 2.2. Приклад структури результатів імітаційного моделювання відмов пневмобалонів за місяцями року

Місяць	Середня температура, °С	Частка днів з опадами	Середній пробіг автобусів, тис. км	Прогнозована кількість відмов	Рекомендований запас пневмобалонів, шт.
Січень	-4	0,48	112	9	11
Лютий	-2	0,44	108	8	10
Березень	3	0,39	115	7	9
Квітень	10	0,32	118	5	6
Травень	16	0,29	121	4	5
Червень	20	0,31	124	4	5
Липень	23	0,27	126	5	6
Серпень	22	0,25	123	5	6
Вересень	17	0,30	119	4	5
Жовтень	10	0,36	116	5	6
Листопад	4	0,41	111	7	8
Грудень	-1	0,46	109	8	10

Слід зазначити, що імітаційне моделювання є ефективним інструментом дослідження сезонної динаміки відмов пневматичної підвіски автобусів великого класу. Воно дозволяє поєднати результати математичного моделювання впливу кліматичних факторів із реальними умовами експлуатації автобусного парку та забезпечує основу для прийняття обґрунтованих управлінських рішень у сфері технічного обслуговування, ремонту та логістики запасних частин.

## **2.4. Аналіз відмов елементів пневматичної підвіски автобусів великого класу в умовах експлуатації**

Пневматична підвіска автобусів великого класу є складною багатокомпонентною системою, технічний стан якої істотно впливає на безпеку перевезень, плавність ходу, рівномірність розподілу навантаження між осями та комфорт пасажирів. У процесі експлуатації її елементи працюють в умовах змінних механічних навантажень, вібрацій, перепадів температури, дії вологи, пилу та дорожніх забруднень, що зумовлює поступове зниження їхньої працездатності. Саме тому аналіз відмов елементів пневматичної підвіски є необхідною передумовою для вдосконалення системи технічного обслуговування, прогнозування потреби в запасних частинах та підвищення коефіцієнта технічної готовності автобусного парку.

До основних елементів пневматичної підвіски, відмови яких найчастіше формують загальний потік несправностей, належать пневмобалони, амортизатори, регулятори рівня підлоги, пневматичні трубопроводи, штуцерні з'єднання, клапанні механізми, кріпильні елементи, опорні вузли, важелі та втулки (рис. 2.3) [8, 12, 16]. Кожен із цих елементів виконує окрему функцію в загальній системі підтримання висоти кузова, демпфування коливань та компенсації нерівностей дорожнього покриття, тому відмова навіть одного вузла може спричинити погіршення роботи всієї підвіски.

Найбільш уразливими елементами пневматичної підвіски в умовах реальної експлуатації є пневмобалони (рис. 2.4). Це зумовлено тим, що вони одночасно сприймають статичні та динамічні навантаження, працюють у режимі багаторазових циклів стиску й розтягу та постійно контактують із зовнішнім середовищем. У процесі експлуатації пневмобалони зазнають старіння матеріалу, втрачають еластичність, піддаються абразивному зношуванню, дії вологи, пилу, дорожніх реагентів та сезонним температурним коливанням. Унаслідок цього виникають мікротріщини, розшарування гумокордної оболонки, порушення



Другу важливу групу становлять пневматичні трубопроводи та штуцерні з'єднання (рис. 2.5). Їхні відмови найчастіше пов'язані з розгерметизацією, механічним пошкодженням, старінням ущільнювальних матеріалів і послабленням з'єднань під дією вібрацій. Навіть незначний витік повітря знижує стабільність роботи підвіски, погіршує підтримання заданого положення кузова та створює додаткове навантаження на компресорне обладнання. У разі тривалого ігнорування таких несправностей збільшується імовірність виникнення комплексних відмов суміжних вузлів пневматичної системи.

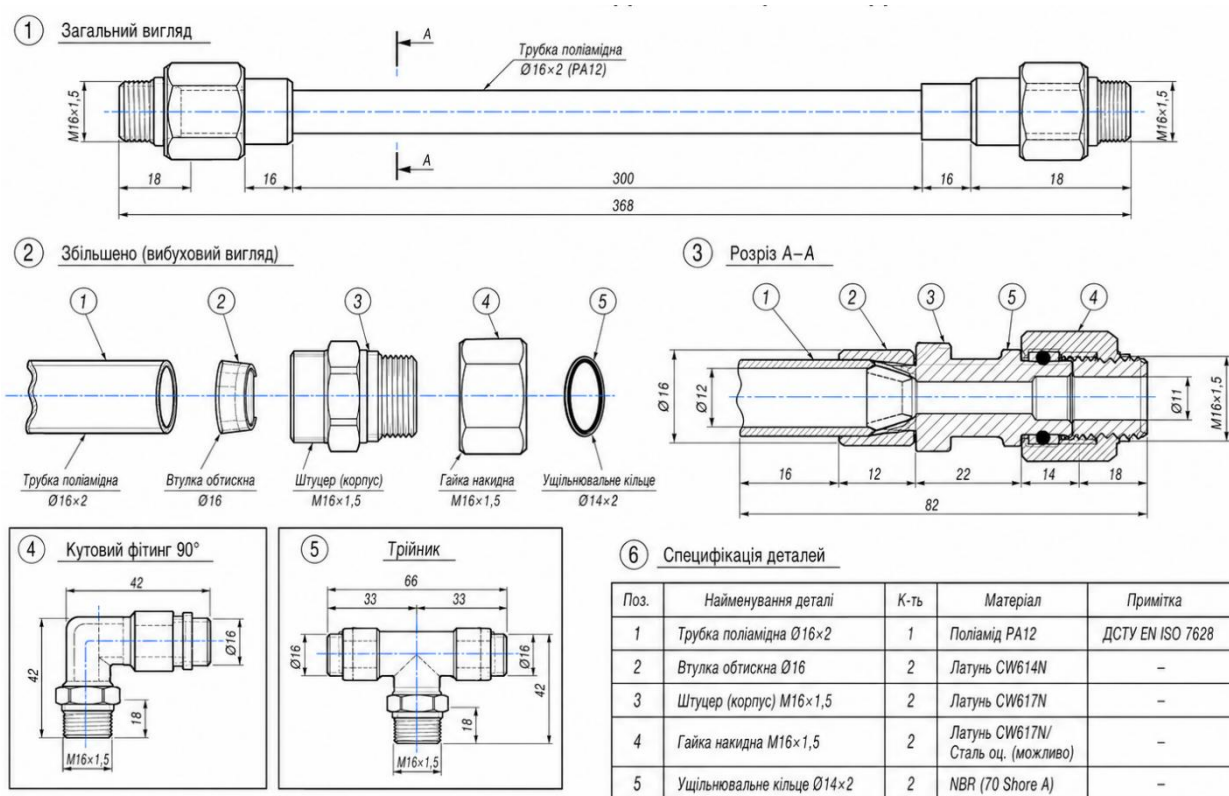
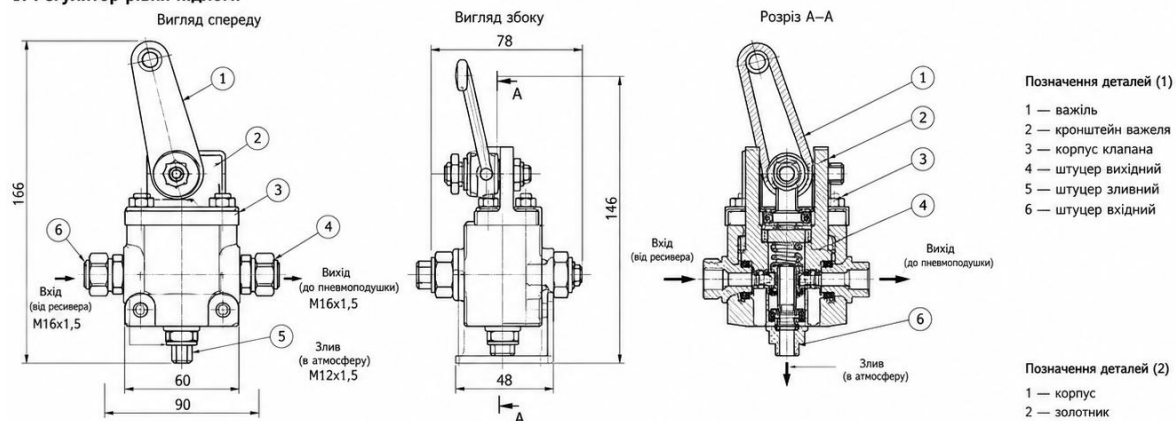


Рис. 2.5. Пневматичні трубопроводи та штуцерні з'єднання

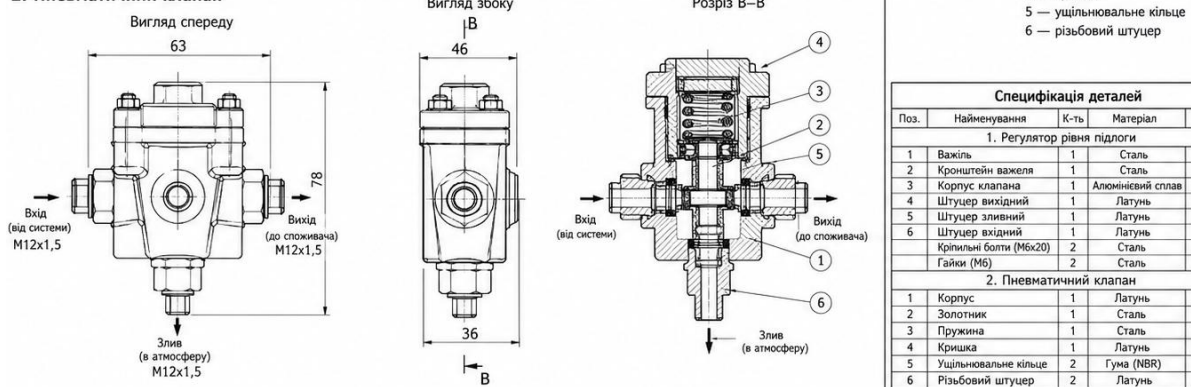
Суттєве значення мають і відмови регуляторів рівня підлоги, клапанів та інших органів керування (рис. 2.6). Ці елементи забезпечують автоматичну зміну тиску в пневмобалонах залежно від навантаження на автобус та стану дорожнього покриття. Їх несправності можуть проявлятися у вигляді неправильного регулювання висоти кузова, сповільненої реакції системи, заклинювання механізмів, внутрішніх витоків повітря або нестабільної роботи в умовах низьких температур. Особливо небезпечними є випадки, коли через

відмову регулятора порушується горизонтальне положення кузова, оскільки це негативно впливає на стійкість автобуса та комфорт пасажирів.

### 1. Регулятор рівня підлоги



### 2. Пневматичний клапан



Специфікація деталей				
Поз.	Найменування	К-ть	Матеріал	Примітка
<b>1. Регулятор рівня підлоги</b>				
1	Важіль	1	Сталь	Ст.20
2	Кронштейн важеля	1	Сталь	Ст.20
3	Корпус клапана	1	Алюмінієвий сплав	AK12
4	Штуцер вихідний	1	Латунь	ЛС59-1
5	Штуцер зливний	1	Латунь	ЛС59-1
6	Штуцер вхідний	1	Латунь	ЛС59-1
	Кріпильні болти (M6x20)	2	Сталь	8.8
	Гайки (M6)	2	Сталь	8
<b>2. Пневматичний клапан</b>				
1	Корпус	1	Латунь	ЛС59-1
2	Золотник	1	Сталь	20X
3	Пружина	1	Сталь	60C2A
4	Кришка	1	Латунь	ЛС59-1
5	Ущільнювальне кільце	2	Гума (NBR)	NBR 70
6	Різбовий штуцер	2	Латунь	ЛС59-1

Рис. 2.6. Креслення регулятора рівня підлоги та пневматичного клапана

Окрему групу формують механічні елементи підвіски, зокрема кронштейни, втулки, важелі, реактивні штанги, опори та кріпильні вузли (рис. 2.7) [4, 8, 16].

Для них характерними є втомне руйнування, зношування посадкових поверхонь, деформація, ослаблення різбових з'єднань та корозійне пошкодження. Такі дефекти не завжди одразу призводять до відмови пневматичної підвіски, однак спричиняють погіршення її геометричних параметрів, зміну характеру навантаження на пневмоелементи та прискорюють розвиток вторинних несправностей.

Аналіз експлуатаційних відмов показує, що інтенсивність несправностей пневматичної підвіски не є сталою величиною. Вона змінюється залежно від строку служби автобуса, сумарного пробігу, дорожніх умов, режиму

навантаження, частоти зупинок, інтенсивності руху та сезонних природно-кліматичних чинників. На початковому етапі експлуатації кількість відмов, як правило, є відносно невеликою і переважно пов'язана з окремими виробничими дефектами, помилками монтажу або раннім зношуванням окремих комплектувальних елементів. У подальшому, зі збільшенням пробігу та віку автобуса, спостерігається стале зростання кількості несправностей, зумовлене накопиченням втомних пошкоджень, старінням матеріалів та погіршенням технічного стану суміжних систем.

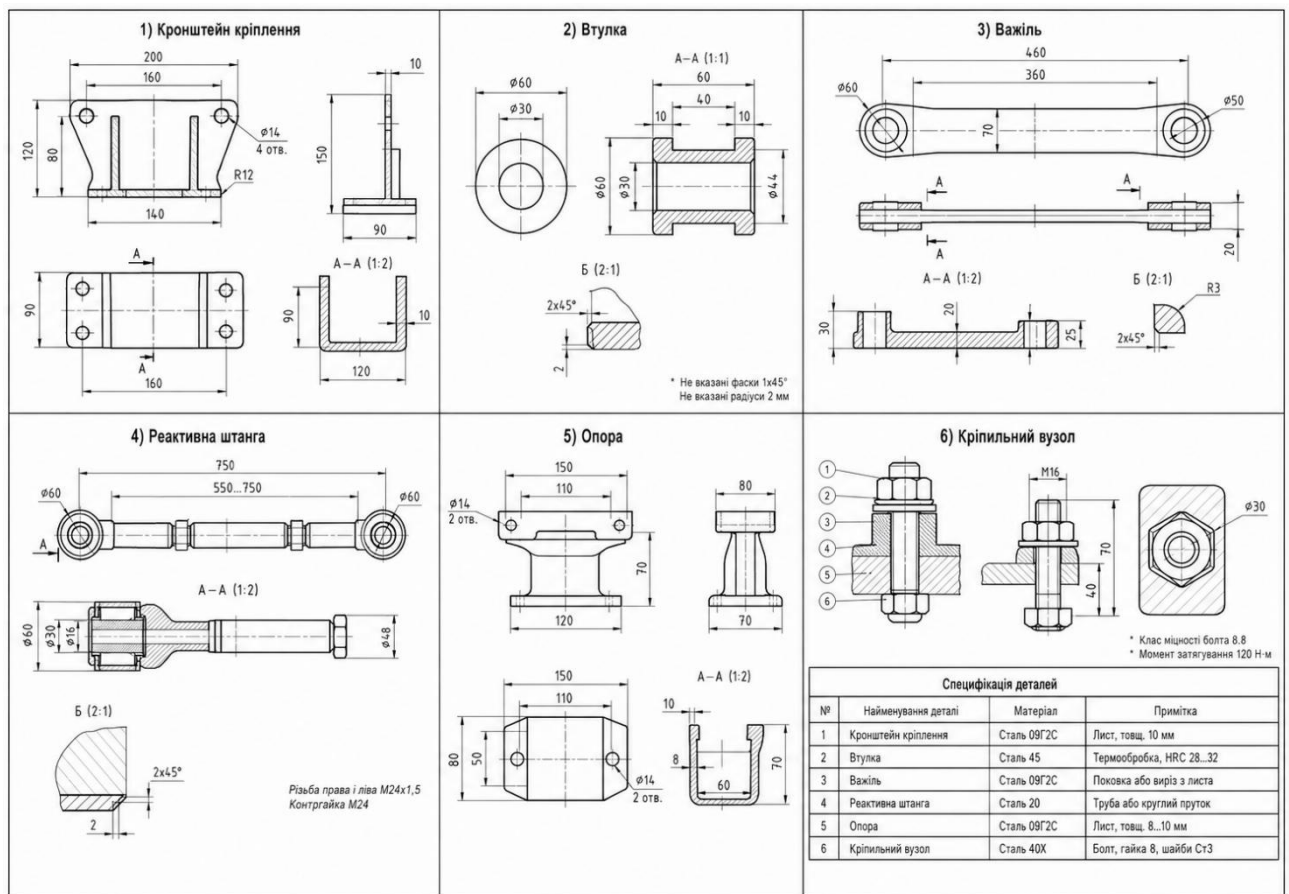


Рис. 2.7. Конструктивні елементи пневматичної підвіски автобуса

У реальних умовах експлуатації автобусів великого класу важливу роль відіграє дорожній фактор. Під час руху нерівними дорогами, на ділянках із вибоїнами, стиками, хвилястістю покриття або частими змінами профілю дороги на елементи підвіски діють підвищені динамічні навантаження. Це призводить до зростання амплітуди коливань, збільшення деформації пневмобалонів, ослаблення кріпильних елементів і прискореного зношування направляючих вузлів. Відповідно, автобуси, що працюють у складніших дорожніх умовах,

мають вищу інтенсивність відмов пневматичної підвіски порівняно з автобусами, які експлуатуються на маршрутах із кращим покриттям.

Значний вплив на надійність пневмопідвіски мають також сезонні природно-кліматичні умови. У холодний період року низька температура сприяє зменшенню еластичності полімерних матеріалів, утворенню мікротріщин і підвищенню крихкості оболонок пневмобалонів. За наявності снігових опадів і переходів температури через нуль можливе налипання снігу та утворення льоду поблизу колісних арок і захисних елементів, що створює додатковий механічний вплив на пневмоелементи. У теплий період року, навпаки, посилюються процеси теплового старіння матеріалів, а підвищена вологість та дорожні забруднення пришвидшують корозію металевих деталей і погіршують стан ущільнень.

З метою систематизації характерних несправностей елементів пневматичної підвіски доцільно подати їх класифікацію у табличній формі.

Таблиця 2.3. Основні відмови елементів пневматичної підвіски автобусів великого класу

Елемент підвіски	Характерна відмова	Основні причини виникнення	Наслідки для роботи системи
Пневмобалон	Розгерметизація, тріщини, розрив оболонки	Старіння матеріалу, обмерзання, абразивне зношування, перевантаження	Просідання кузова, втрата працездатності підвіски
Пневматичні трубопроводи	Витік повітря, пошкодження трубки	Вібрації, механічні пошкодження, старіння матеріалу	Нестабільний тиск, порушення роботи підвіски
Штуцерні з'єднання	Негерметичність, послаблення кріплення	Ослаблення різьби, зношування ущільнень	Падіння тиску в контурі
Регулятор рівня	Заклинювання, некоректне регулювання	Забруднення, корозія, зношування рухомих елементів	Неправильна висота кузова

Амортизатор	Втрата демпфувальних властивостей	Внутрішнє зношування, витік робочого середовища	Погіршення плавності руху, зростання навантаження на пневмобалон
Кріпильні та опорні елементи	Послаблення, деформація, руйнування	Вібрації, ударні навантаження, корозія	Порушення геометрії вузла, вторинні пошкодження

Для кількісного оцінювання структури відмов доцільно також розглядати питомий внесок окремих елементів у загальну кількість несправностей пневматичної підвіски. Узагальнений приклад такого розподілу наведено в табл. 2.5.

Таблиця 2.4. Орієнтовна структура відмов елементів пневматичної підвіски автобусів великого класу

Елемент системи	Частка у загальній кількості відмов, %
Пневмобалони	31
Пневматичні трубопроводи та з'єднання	19
Регулятори рівня і клапани	14
Амортизатори	13
Кріпильні та опорні вузли	12
Втулки, важелі, допоміжні елементи	11
Разом	100

Наведений розподіл свідчить, що найбільша частка відмов припадає саме на пневмобалони, а також на елементи пневматичних з'єднань. Це підтверджує, що першочергова увага під час технічного обслуговування та формування номенклатури запасних частин повинна приділятися герметичності системи, стану пневмоелементів та вузлам підведення повітря.

З практичної точки зору важливим є не лише фіксування факту відмови, а й виявлення закономірностей її виникнення. Для цього на автотранспортному підприємстві доцільно вести систематичний облік несправностей із зазначенням дати відмови, пробігу автобуса, сезону року, умов експлуатації, виду

пошкодженого елемента та характеру проведеного ремонту. Накопичення таких даних створює інформаційну основу для подальшого статистичного аналізу, побудови регресійних залежностей і розроблення імітаційної моделі формування потоку відмов.

Отже, аналіз відмов елементів пневматичної підвіски автобусів великого класу в умовах експлуатації свідчить, що їх виникнення має багатофакторний характер і визначається поєднанням технічного стану рухомого складу, дорожніх умов, сезонних природно-кліматичних змін та інтенсивності використання автобусів. Найбільш уразливими елементами системи є пневмобалони, пневматичні з'єднання та регулятори рівня. Саме ці вузли формують основну частину потоку відмов і, відповідно, визначають потребу у запасних частинах. Отримані висновки є підґрунтям для подальшого дослідження впливу сезонних факторів на надійність пневматичної підвіски та для розроблення імітаційної моделі досліджуваної системи.

### 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

#### 3.1. Аналіз конструкції пневматичної підвіски автобуса та обґрунтування напрямку удосконалення

Пневматична підвіска автобуса є однією з ключових систем ходової частини, яка визначає плавність руху, стабільність положення кузова, рівень динамічних навантажень на несівні елементи, комфорт пасажирів і безпеку перевезень [1, 8, 13]. На відміну від традиційних ресорних або пружинних систем, пневматична підвіска забезпечує автоматичне регулювання висоти кузова, більш ефективно гасіння коливань і кращу адаптацію до змін навантаження. Саме тому вона широко застосовується на автобусах великого класу, які працюють у режимі інтенсивної експлуатації на міських, приміських та міжміських маршрутах.

Конструктивно пневматична підвіска автобуса складається з комплексу взаємопов'язаних елементів, до яких належать пневмобалони, амортизатори, регулятори рівня підлоги, пневматичні клапани, компресорне обладнання, ресивери, трубопроводи, штуцерні з'єднання, кронштейни, важелі, реактивні штанги, опори та кріпильні вузли. Сукупна робота цих елементів забезпечує підтримання заданої висоти кузова, компенсацію вертикальних коливань, зменшення ударних навантажень під час руху нерівностями дороги та стабілізацію положення автобуса під час зміни пасажиронавантаження (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Задня пневматична підвіска автобуса

Основним пружним елементом системи є пневмобалон [6, 12, 13]. Його функція полягає у сприйнятті вертикального навантаження від маси кузова та передачі цього навантаження на вісь або міст через стисливе повітря. Пневмобалон виконує роль елемента, жорсткість якого може змінюватися залежно від тиску в системі. Завдяки цьому забезпечується адаптивність підвіски до експлуатаційних умов. Конструкція пневмобалона включає гумокордну оболонку, армувальні шари, верхню та нижню опорні плити, штуцер для подачі повітря та елементи кріплення. У процесі роботи він зазнає багаторазових циклів стиску й розтягу, дії дорожніх забруднень, вологи, температурних перепадів і механічних впливів, тому саме цей вузол є одним із найбільш навантажених і найуразливіших у системі.

Не менш важливим елементом є амортизатор, який забезпечує гасіння коливань кузова і не допускає розвитку резонансних процесів під час руху автобуса. За відсутності ефективного демпфування навіть правильно підібраний пневмобалон не забезпечує належної плавності ходу. Амортизатор працює спільно з пневматичним пружним елементом і суттєво впливає на динамічну стабільність транспортного засобу. Його технічний стан визначає рівень коливань підресореної маси, інтенсивність ударного навантаження на вузли підвіски та ресурс суміжних елементів.

Для підтримання сталої висоти кузова в конструкції підвіски використовуються регулятори рівня підлоги. Їх призначення полягає в автоматичній зміні тиску в пневмобалонах відповідно до фактичного навантаження на автобус. У разі збільшення маси пасажирів або багажу регулятор забезпечує подачу додаткового повітря в пневмобалони, а при зменшенні навантаження - скидання надлишкового тиску. Завдяки цьому зберігається нормальне положення кузова відносно дорожньої поверхні, що є важливою умовою безпечної експлуатації, зручності посадки пасажирів і зниження нерівномірного навантаження на елементи шасі.

Пневматичні трубопроводи та штуцерні з'єднання виконують функцію транспортування стисненого повітря між джерелом його утворення, регулювальними пристроями та пневмобалонами. Незважаючи на зовнішню

простоту, саме ці елементи значною мірою визначають герметичність системи. Будь-які витoki в місцях з'єднань, старіння ущільнювальних матеріалів, механічні пошкодження трубок або послаблення фітингів призводять до падіння тиску, зниження ефективності підвіски і збільшення навантаження на компресор. Тривала експлуатація з такими дефектами спричиняє прискорений знос і вторинні відмови інших вузлів.

Механічна частина підвіски включає кронштейни, важелі, реактивні штанги, опори, втулки та кріпильні елементи. Саме ці деталі забезпечують просторове розміщення вузлів, передавання силових впливів і точність кінематичних зв'язків у системі. Їх конструктивна досконалість визначає правильність роботи пневматичних елементів і рівномірність навантаження на пневмобалони. Порушення геометрії або жорсткості цих елементів призводить до перекосу пневмоелементів, локальних перевантажень, нерівномірного зношування і погіршення загальної надійності підвіски (рис. 3.2).

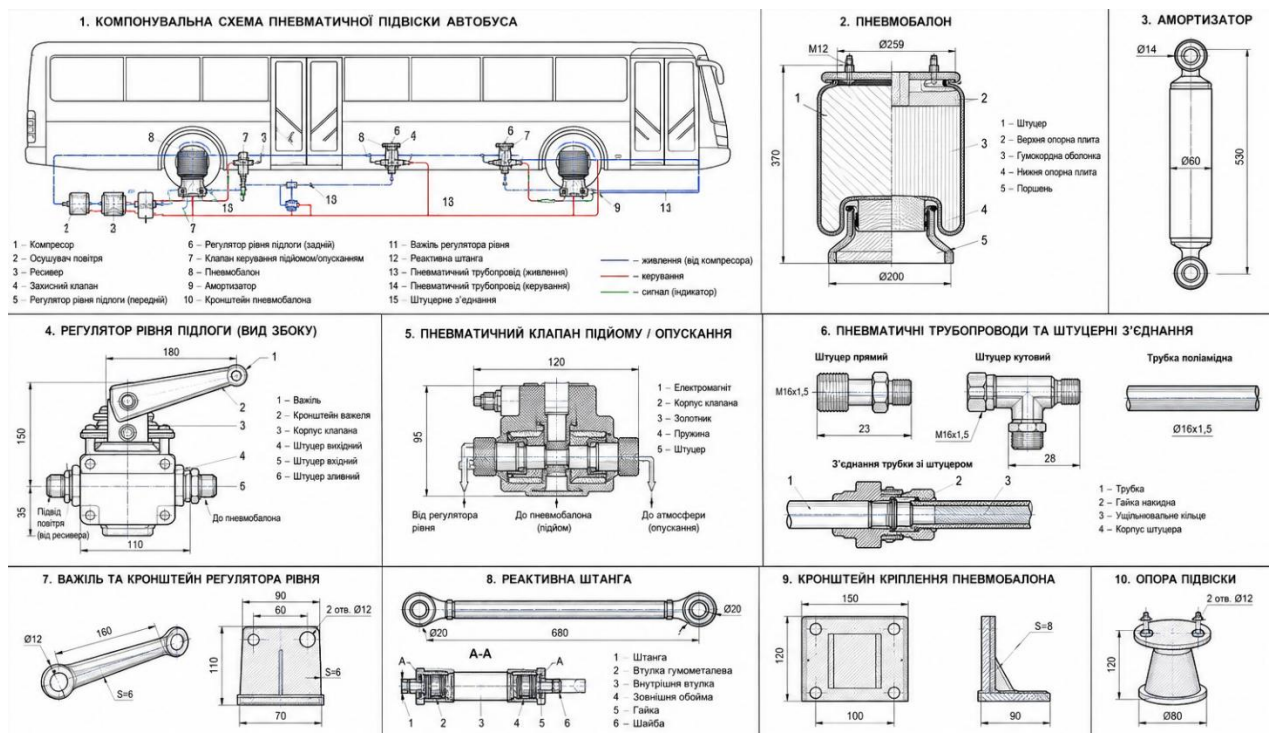


Рис. 3.2. Аналіз конструкції пневматичної підвіски автобуса

Аналіз конструкції пневматичної підвіски автобусів великого класу показує, що її перевагами є висока плавність руху, можливість автоматичного

підтримання сталої висоти підлоги, зниження динамічних навантажень на кузов і ходову частину, а також поліпшення комфорту пасажирів. Разом із тим ця система має і низку конструктивно-експлуатаційних недоліків. До них слід віднести чутливість до порушення герметичності, залежність надійності від стану пневмобалонів і з'єднувальної арматури, складність технічного обслуговування в разі сезонних змін температури, а також підвищену вразливість окремих вузлів до дії вологи, бруду, льоду й абразивних частинок.

Найбільш проблемним елементом у складі пневматичної підвіски є пневмобалон, оскільки саме він зазнає сумарного впливу механічних, кліматичних і експлуатаційних чинників. У процесі експлуатації на його оболонку діють змінні навантаження, деформації вигину, стиску та розтягу, а також вплив низьких температур, вологи, реагентів і дорожнього бруду. Особливо інтенсивне зношування спостерігається в зоні нижньої частини рукавного елемента, поблизу місць контакту з опорними деталями та в ділянках можливого накопичення льоду чи сторонніх частинок. Це призводить до втрати герметичності, появи мікротріщин, пошкодження корду і подальшого виходу пневмобалона з ладу (рис. 3.3).



Рис. 3.3. Накопичення льоду на пневмобалоні

З урахуванням результатів аналізу конструкції та умов експлуатації доцільно вважати найбільш перспективним напрямом удосконалення саме підвищення конструктивної надійності вузла пневмобалона та його захисту від

зовнішніх негативних впливів. Такий напрям є обґрунтованим з кількох причин. По-перше, пневмобалон формує найбільшу частку відмов у структурі несправностей пневматичної підвіски. По-друге, саме його відмова найчастіше призводить до повної втрати працездатності вузла підвіски, зниження безпеки руху та простою автобуса. По-третє, удосконалення цього елемента дає змогу досягти відчутного технічного й економічного ефекту за рахунок збільшення ресурсу, зменшення потреби в замінах і зниження витрат на обслуговування.

Як можливі напрями конструктивного удосконалення можуть розглядатися: застосування захисного кожуха або екрана для зменшення впливу бруду, льоду та механічних домішок; удосконалення форми опорних поверхонь для зменшення локальної концентрації напружень; посилення вузла кріплення пневмобалона; покращення герметизації штуцерного з'єднання; використання матеріалів з підвищеною стійкістю до температурних перепадів та циклічного навантаження. З інженерної точки зору найбільш доцільним є удосконалення захисту пневмобалона в зоні його експлуатаційно найбільшого зношування, оскільки саме це дозволяє зменшити ймовірність пошкодження оболонки без суттєвого ускладнення загальної конструкції підвіски.

Отже, проведений аналіз конструкції пневматичної підвіски автобуса свідчить, що система в цілому є ефективною та функціонально доцільною, однак її надійність значною мірою обмежується довговічністю пневмобалона, герметичністю з'єднань і стійкістю вузлів до сезонних та дорожньо-експлуатаційних впливів. З огляду на це подальше конструкторське опрацювання доцільно спрямувати на удосконалення вузла пневмобалона пневматичної підвіски автобуса, насамперед у частині підвищення його захищеності, зниження локальних напружень і збільшення експлуатаційного ресурсу. Саме такий підхід може бути покладений в основу розроблення удосконаленої конструкції в наступному підрозділі.

### **3.2. Розроблення конструкції удосконаленого захисного елемента пневмобалона пневматичної підвіски автобуса**

На основі проведеного аналізу конструкції пневматичної підвіски автобуса та умов її експлуатації встановлено, що одним із найбільш уразливих елементів системи є пневмобалон, зокрема зона його найбільш інтенсивного експлуатаційного зношування. Саме в цій ділянці під час роботи підвіски поєднуються циклічні деформації оболонки, вплив дорожнього пилу, вологи, піску, дрібних твердих частинок, льоду та бруду, що потрапляють із зони колеса [5, 6, 10]. Унаслідок цього на зовнішній поверхні гумокордного елемента виникають локальні пошкодження, потертості, мікротріщини, а в подальшому - передчасна розгерметизація або розрив оболонки. З огляду на це доцільним є конструктивне удосконалення вузла пневмобалона шляхом встановлення додаткового захисного елемента в зоні найбільшої імовірності його пошкодження.

Запропоноване удосконалення полягає у впровадженні захисного кожуха-екрана, призначеного для екранування нижньої та бічної частини пневмобалона від прямого впливу зовнішніх чинників. Конструктивно такий елемент повинен виконувати функції механічного бар'єра, що перешкоджає потраплянню на оболонку пневмобалона льодових нашарувань, абразивних частинок, бризок води, дорожнього бруду та дрібних твердих включень. Одночасно захисний елемент не повинен обмежувати робочі переміщення пневмобалона, створювати додаткові контактні навантаження на його поверхню або ускладнювати доступ до вузла під час технічного обслуговування (рис. 3.4).

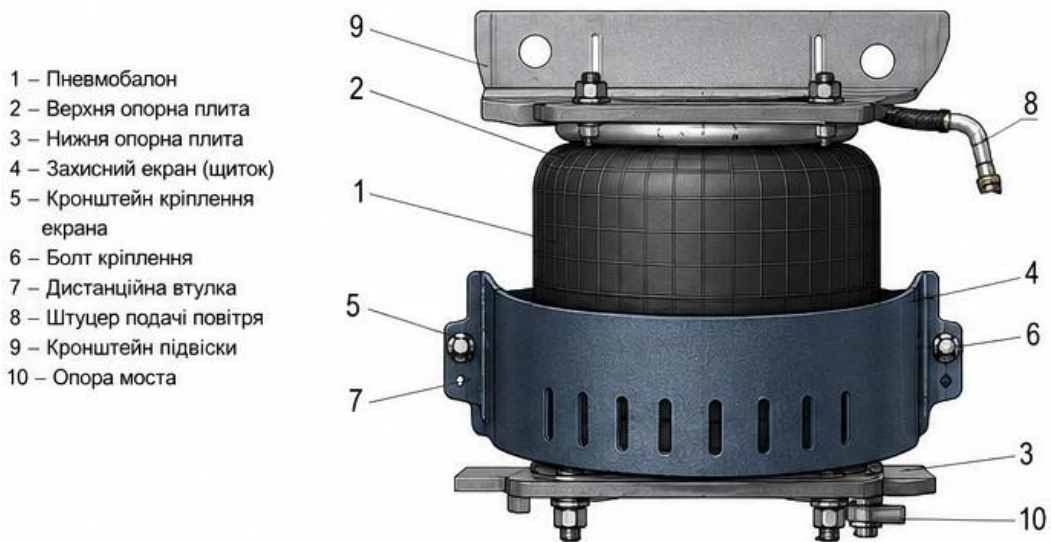


Рис. 3.4. Конструктивна схема удосконалено захисту пневмобалона пневматичної підвіски автобуса

Під час розроблення конструкції захисного елемента основну увагу необхідно приділяти дотриманню принципу функціональної простоти. Конструкція повинна мати мінімальну кількість деталей, бути технологічною у виготовленні, легко монтуватися на існуючий вузол пневмопідвіски та не потребувати суттєвого переобладнання базової конструкції автобуса. З цієї точки зору найбільш раціональним є виконання захисного екрана у вигляді профільованого кожуха, який кріпиться до штатних або додатково передбачених кронштейнів у зоні опорного вузла пневмобалона. Такий підхід дозволяє зберегти кінематичну схему підвіски без змін і водночас підвищити захищеність найбільш уразливої частини пневмоелемента.

Конструкція удосконаленого захисного елемента може включати такі основні складові: захисний щиток, кронштейн кріплення, дистанційні втулки, кріпильні болти та елементи фіксації. Захисний щиток доцільно виконувати у вигляді дугоподібної або сегментної панелі, форма якої повторює конфігурацію зони розташування пневмобалона, але не контактує з ним під час роботи. Така геометрія дозволяє максимально перекрити напрямки найбільш інтенсивного потрапляння забруднень без порушення робочого ходу підвіски. Для забезпечення надійності та довговічності щиток може бути виготовлений з

тонколистової конструкційної сталі, алюмінієвого сплаву або полімерного композиційного матеріалу з підвищеною ударною та корозійною стійкістю.

З урахуванням умов експлуатації автобусів найбільш доцільним є використання металевого захисного екрана з антикорозійним покриттям або полімерного щитка з достатньою жорсткістю. Металевий варіант має вищу механічну міцність і кращу стійкість до ударів твердих частинок, однак характеризується більшою масою. Полімерний варіант є легшим, стійким до корозії та зручним у формуванні складного профілю, проте потребує ретельного добору матеріалу з погляду морозостійкості й опору старінню. Для автобусів, що працюють в умовах значної сезонної зміни температур і високого рівня дорожніх забруднень, доцільно передбачити варіант захисного екрана з ударостійкого полімеру або оцинкованої сталі малої товщини.

Принцип дії удосконаленого вузла полягає в тому, що захисний екран приймає на себе прямий вплив частинок бруду, льоду, піску та води, які в іншому разі потрапляли б безпосередньо на зовнішню поверхню пневмобалона. Завдяки цьому знижується інтенсивність абразивного зношування гумокордної оболонки, зменшується ризик механічного пошкодження поверхневого шару, а також скорочується імовірність накопичення льоду в критичних зонах. Наявність захисного екрана особливо ефективна в періоди міжсезоння та взимку, коли в зоні колеса спостерігається максимальне забруднення та утворення вологих і крижаних нашарувань.

Важливою вимогою до конструкції захисного елемента є забезпечення достатнього технологічного зазору між поверхнею пневмобалона та внутрішньою поверхнею екрана. Цей зазор повинен унеможливити дотик екрана до оболонки під час максимального стиску, розтягу та бокових переміщень пневмоелемента. Крім того, у конструкції доцільно передбачити отвори або щілини для самоочищення, відведення води та недопущення накопичення бруду всередині захисної зони. Таким чином, захисний елемент не лише екранує пневмобалон, а й не створює умов для вторинного забруднення чи утримування вологи.

Кріплення захисного екрана повинно бути достатньо жорстким, щоб виключити його вібраційне зміщення під час руху автобуса, але водночас конструктивно простим і ремонтпридатним. Оптимальним рішенням є використання болтових з'єднань із фіксацією на окремому кронштейні, що встановлюється на опорному вузлі або несівному елементі підвіски. Такий варіант дає змогу за потреби швидко демонтувати екран під час огляду, ремонту чи заміни пневмобалона. Для зменшення передачі вібрацій на захисний елемент у місцях кріплення можуть застосовуватися втулки або демпфувальні прокладки (рис. 3.5).

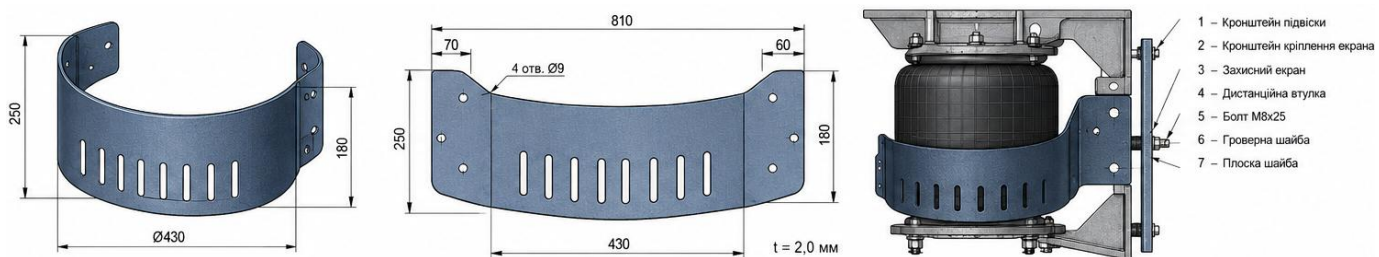


Рис. 3.5. Захисний екран пневмобалона

З конструкторської точки зору запропоноване удосконалення має низку переваг. По-перше, воно не змінює принципу роботи базової пневматичної підвіски та не потребує втручання в пневматичну схему. По-друге, захисний екран можна інтегрувати в існуючу конструкцію з мінімальними змінами опорних і кріпильних елементів. По-третє, така модернізація є технологічно доступною у виготовленні та впровадженні. По-четверте, вона дозволяє локально впливати саме на найбільш проблемну зону вузла, не ускладнюючи інші елементи системи (рис. 3.6).



Параметр	Базова конструкція	Удосконалена конструкція
Захист пневмобалона від зовнішніх впливів	Відсутній	Ефективний (екран)
Імовірність пошкодження оболонки	Висока	Знижена
Накопичення бруду та льоду	Так	Зменшено (самоочишувальні отвори)
Доступ для обслуговування	Вільний	Вільний (екран знімається)
Ускладнення конструкції	Відсутні	Мінімальні
Очікуваний ресурс пневмобалона	Базовий	Підвищений

Рис. 3.6. Порівняльна схема базової та удосконаленої конструкції вузла пневмобалона

Очікуваний технічний ефект від упровадження удосконаленого захисного елемента полягає у зменшенні інтенсивності зовнішнього зношування оболонки пневмобалона, підвищенні його довговічності, зменшенні частоти передчасних відмов і скороченні потреби у заміні пневмоелементів. Відповідно, це сприятиме підвищенню технічної готовності автобусного парку, зменшенню простоїв транспортних засобів і зниженню експлуатаційних витрат на обслуговування пневматичної підвіски. Крім того, підвищення ресурсу пневмобалона позитивно впливатиме на загальну надійність підвіски та стабільність роботи автобуса в складних дорожньо-кліматичних умовах.

## **4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ**

### **4.1. Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів під час виконання робіт з технічного обслуговування та ремонту пневматичної підвіски автобуса**

Під час виконання робіт з технічного обслуговування, діагностування, демонтажу та монтажу елементів пневматичної підвіски автобуса працівники ремонтної дільниці зазнають впливу комплексу небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Їх наявність зумовлена особливостями конструкції автобуса, використанням пневматичних систем, необхідністю роботи під піднятим транспортним засобом, застосуванням слюсарного інструменту, а також можливим контактом із забрудненими, зношеними або корозійно пошкодженими деталями. Виявлення та оцінювання таких факторів є необхідною умовою для розроблення ефективних заходів безпеки праці.

Одним із найбільш небезпечних факторів є наявність стисненого повітря в пневматичній системі автобуса [3, 14]. У разі розгерметизації системи, відкручування штуцерів або демонтажу пневмобалонів без попереднього стравлювання тиску можливе раптове вивільнення повітря, що може спричинити травмування працівника, пошкодження інструменту чи елементів конструкції. Особливо небезпечними є ситуації, за яких демонтаж виконується без контролю залишкового тиску в ресиверах і магістралях. Тому всі операції з елементами пневматичної підвіски повинні виконуватися лише після повного скидання тиску та перевірки безпечного стану системи.

Значний рівень ризику пов'язаний також із виконанням робіт під автобусом або в зоні його піднятих елементів. Недостатньо надійна фіксація транспортного засобу, неправильне встановлення домкратів, відсутність страхувальних опор або використання несправного підйимального обладнання можуть призвести до падіння автобуса чи окремих вузлів на працівника. Оскільки під час ремонту пневматичної підвіски часто необхідно розвантажувати вісь, піднімати кузов або

вивільняти елементи підвіски від навантаження, цей фактор є одним із визначальних щодо рівня виробничої небезпеки.

До механічних небезпечних факторів належать також травмування внаслідок зриву ключа, падіння важких деталей, защемлення рук між елементами підвіски, порізи гострими кромками металоконструкцій, а також ушкодження, пов'язані з демонтажем закислих або деформованих кріпильних з'єднань [3, 4]. Під час зняття амортизаторів, кронштейнів, реактивних штанг, втулок, опор і пневмобалонів працівник контактує з деталями, маса яких може бути достатньо значною для створення ризику удару або падіння на ноги чи руки. Саме тому ремонтні роботи мають виконуватися із застосуванням підпірок, підіймальних засобів, знімачів та допоміжних пристроїв.

Окрему групу становлять шкідливі фактори хімічного та санітарно-гігієнічного характеру. Під час технічного обслуговування і ремонту працівник може контактувати з мастильними матеріалами, миючими рідинами, аерозолями, засобами для очищення різьбових з'єднань, продуктами корозії, пилом та забрудненнями, що накопичуються на елементах підвіски. За тривалої дії ці речовини можуть спричиняти подразнення шкіри, слизових оболонок, органів дихання та загальне погіршення умов праці. Якщо ремонт виконується у закритому приміщенні з недостатньою вентиляцією, шкідливий вплив таких чинників посилюється.

Під час виконання робіт у ремонтній зоні також мають місце підвищений рівень шуму та локальна вібрація, що виникають під час застосування механізованого інструменту, компресорного обладнання, пневматичних пристроїв і ударних слюсарних операцій. За тривалої дії шуму та вібрації у працівника може знижуватися працездатність, концентрація уваги, швидкість реакції, що додатково підвищує ризик виробничого травматизму. Особливо це стосується операцій, пов'язаних із відкручуванням заіржавілих кріплень, використанням гайковертів, молотків і пристроїв примусового демонтажу.

До несприятливих факторів належать також незадовільне освітлення робочої зони, обмежений простір для виконання операцій, незручна робоча поза та значне фізичне навантаження. Ремонт пневматичної підвіски нерідко

виконується у нижній частині автобуса, що вимагає роботи в обмеженій зоні оглядової канави або підйомного поста. За недостатнього освітлення працівник може не помітити дефектів, неправильно оцінити розташування елементів або допустити помилку під час роботи з кріпильними вузлами. Тривале перебування у вимушеній позі, особливо під час демонтажу та монтажу важких деталей, призводить до швидкої втоми та зниження точності дій.

Суттєвим чинником ризику є ймовірність виникнення пожежонебезпечних ситуацій. Хоча пневматична підвіска безпосередньо не належить до систем із високою пожежною небезпекою, під час ремонту можуть використовуватися легкозаймисті рідини, мастила, а також електрифікований інструмент. За наявності несправної електропроводки, іскроутворення, порушення правил зберігання горючих матеріалів або використання відкритого вогню для нагрівання деталей утворюється додатковий ризик займання.

Таким чином, під час технічного обслуговування і ремонту пневматичної підвіски автобуса працівники можуть зазнавати впливу механічних, пневматичних, хімічних, фізичних та організаційних небезпечних і шкідливих факторів. Найбільш суттєвими серед них є залишковий тиск у системі, ризик падіння автобуса або деталей, травмування інструментом, вплив забруднювальних речовин, шум, вібрація та незадовільні ергономічні умови праці. Врахування цих факторів є основою для розроблення організаційно-технічних заходів безпеки та створення безпечного виробничого середовища на ремонтній дільниці.

#### **4.2. Заходи з охорони праці та безпечного виконання робіт під час технічного обслуговування і ремонту пневматичної підвіски автобуса**

Безпечне виконання робіт з технічного обслуговування та ремонту пневматичної підвіски автобуса забезпечується комплексом організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних та індивідуальних заходів. Їх упровадження спрямоване на попередження виробничого травматизму, зниження впливу

шкідливих чинників на персонал, забезпечення безпечної експлуатації обладнання та створення належних умов праці на ремонтній дільниці. Основою таких заходів є суворе дотримання технологічної дисципліни та вимог інструкцій з охорони праці.

Перед початком робіт автобус повинен бути надійно встановлений на рівному майданчику, оглядовій канаві або підйомнику, а його положення - зафіксоване стоянковим гальмом і противідкатними упорами. Якщо ремонт вимагає піднімання кузова або розвантаження осі, обов'язковим є використання справних домкратів, підйимальних механізмів та жорстких страхувальних опор. Забороняється виконувати будь-які роботи під автобусом, який утримується лише домкратом без додаткових опор. Також не допускається застосування випадкових підкладок, нестійких опор чи несправного підйомного обладнання.

Одним із головних заходів безпеки під час роботи з елементами пневматичної підвіски є повне стравлювання стисненого повітря з пневматичної системи перед демонтажем будь-яких вузлів. Працівник повинен переконатися у відсутності тиску в ресиверах, магістралях і пневмобалонах, а також перевірити справність зливних пристроїв та контрольних клапанів. Лише після цього дозволяється від'єднувати трубопроводи, штуцери, клапани, регулятори рівня та пневмобалони. Такий підхід суттєво знижує ризик раптового викиду повітря, пошкодження деталей і травмування персоналу.

Організація безпечного робочого місця передбачає достатнє освітлення зони ремонту, наявність вільного доступу до вузлів підвіски, утримання проходів у чистоті та відсутність сторонніх предметів у зоні виконання робіт. Робочий інструмент повинен бути справним, підібраним за розмірами до кріпильних елементів і використовуватися лише за призначенням. Пошкоджені ключі, тріщинуваті головки, саморобні подовжувачі та інші несправні засоби праці не допускаються до використання. Для демонтажу закислих або деформованих елементів необхідно застосовувати спеціальні знімачі, фіксатори та допоміжні пристосування.

Під час виконання робіт працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту. До обов'язкового комплекту належать спецодяг, захисне

взуття, рукавиці, за потреби - захисні окуляри та засоби захисту органів дихання. Використання окулярів особливо важливе під час роботи з корозійно пошкодженими деталями, очищення металевих поверхонь, застосування мастильно-проникних рідин і виконання операцій, пов'язаних із можливим відлітанням частинок іржі, бруду або металу. За наявності підвищеного шуму слід застосовувати засоби захисту слуху.

Важливим напрямом охорони праці є зниження дії шкідливих речовин та покращення санітарно-гігієнічних умов у ремонтному приміщенні. Для цього необхідно забезпечити ефективну припливно-витяжну вентиляцію, своєчасне видалення пилу і забруднень, правильне зберігання мастил, миючих рідин та інших хімічних засобів. Забороняється зберігати легкозаймісті матеріали поблизу джерел нагрівання або використовувати відкритий вогонь у зоні виконання ремонтних робіт. Приміщення повинно бути забезпечене первинними засобами пожежогасіння, а персонал - проінструктований щодо дій у разі виникнення пожежі чи аварійної ситуації.

Для зменшення фізичного навантаження на працівників доцільно використовувати механізовані засоби підймання та переміщення деталей, зокрема талі, підйомні столи, спеціальні візки чи підвіски. Це особливо важливо під час демонтажу пневмобалонів, амортизаторів, кронштейнів, реактивних штанг та інших важких вузлів підвіски. Раціональна організація праці повинна передбачати поділ складних операцій між кількома працівниками, якщо маса або конфігурація елемента не дозволяє безпечно виконати роботу одній особі.

Суттєву роль у забезпеченні безпеки виконує система навчання та інструктажу персоналу. Працівники, які виконують технічне обслуговування і ремонт пневматичної підвіски автобуса, повинні проходити вступний, первинний та повторний інструктажі, знати технологію виконання робіт, порядок безпечного використання інструменту та обладнання, правила поведінки з пневматичними системами, а також дії у разі нештатних ситуацій. До самостійного виконання робіт допускаються лише особи, які мають відповідну кваліфікацію та ознайомлені з інструкціями з охорони праці.

Після завершення ремонту необхідно виконати контрольний огляд усіх відновлених або встановлених елементів підвіски, перевірити герметичність з'єднань, правильність закріплення вузлів, відсутність сторонніх предметів у робочій зоні та справність інструменту. Лише після цього автобус може бути знятий зі страхувальних опор і переведений у робочий стан. Контрольний запуск пневматичної системи повинен здійснюватися поступово, з дотриманням безпечної дистанції та під наглядом працівника, відповідального за проведення ремонту.

Отже, безпечне виконання робіт з технічного обслуговування і ремонту пневматичної підвіски автобуса досягається лише за умови комплексного впровадження організаційних і технічних заходів охорони праці. Найважливішими серед них є надійна фіксація автобуса, повне стравлювання тиску з пневматичної системи, застосування справного інструменту, використання засобів індивідуального захисту, належне санітарно-гігієнічне забезпечення та систематичне навчання персоналу. Реалізація зазначених заходів дозволяє знизити ризик травматизму, підвищити безпеку праці та забезпечити належний рівень експлуатаційної надійності автобусного рухомого складу.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У результаті дослідження встановлено, що надійність пневматичної підвіски автобусів великого класу формується під впливом сукупності конструктивних, технологічних, експлуатаційних, дорожніх, кліматичних та організаційних чинників, серед яких найбільш вагомими є природно-кліматичні умови, вік автобуса та стан дорожнього покриття.

2. Доведено, що сезонна мінливість умов експлуатації в різних кліматичних зонах України суттєво впливає на технічний стан елементів пневматичної підвіски, насамперед пневмобалонів, пневматичних магістралей, клапанів і з'єднувальної арматури, що зумовлює нерівномірність формування потоку відмов упродовж року.

3. Встановлено, що найбільшу частку у структурі витрат запасних частин пневматичної підвіски формують пневмобалони, амортизатори та пневматичні з'єднання, що свідчить про необхідність посиленого діагностичного контролю саме за цими елементами та обґрунтованого планування їх запасу.

4. Аналіз зміни інтенсивності відмов залежно від строку експлуатації автобуса підтвердив, що зі збільшенням віку рухомого складу кількість несправностей пневматичної підвіски стійко зростає, причому після 7–8 років експлуатації спостерігається більш різке підвищення відмовності через накопичення втомних пошкоджень і старіння матеріалів.

5. У технологічному розділі обґрунтовано раціональну послідовність демонтажу пневматичної підвіски автобуса, яка передбачає підготовку робочого місця, повне стравлювання повітря з системи, поелементне розбирання вузлів, дефектування та сортування деталей, що забезпечує підвищення якості ремонту, збереження справних елементів і зниження ризику повторних відмов.

6. Розроблені математичні залежності та імітаційна модель досліджуваної системи дозволяють враховувати вплив температури повітря, частки днів з опадами та інтенсивності експлуатації на кількість відмов пневматичної підвіски,

а також прогнозувати сезонну потребу у запасних частинах із підвищенням точності планування технічного обслуговування.

7. У конструкторському розділі обґрунтовано доцільність удосконалення вузла пневмобалона шляхом підвищення його захищеності в зоні найбільшого експлуатаційного зношування, що дає змогу зменшити ймовірність пошкодження гумокордної оболонки без істотного ускладнення загальної конструкції пневматичної підвіски.

8. Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що їх використання на автотранспортних підприємствах сприятиме підвищенню технічної готовності автобусного парку, зниженню кількості позапланових ремонтів, скороченню простоїв рухомого складу, оптимізації запасів деталей та поліпшенню безпеки й економічної ефективності експлуатації автобусів великого класу.

## БІБЛІОГРАФІЯ

1. Автомобілі. Теорія : навч. посіб. / В.П. Сахно, В.І. Сирота, В.М. Поляков, В. Г. Головань, О.В. Лисий; Військ. акад. - Одеса: Військ. акад., 2017. - 412 с.
2. Аулін В. В., Гриньків А. В. Теоретичне обґрунтування моментів контролю технічного стану систем і агрегатів засобів транспорту. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. 2017. № 8. С. 9–20.
3. Войналович, О. В., Марчиниша, Є. І., Кофто, Д. Г. (2020). Охорона праці в галузі (автомобільний транспорт): навчальний посібник. Харків: ХНАДУ. 695 с.
4. Гевко І. Б., Рогатинський Р. М., Ляшук О. Л., Гудь В. З., Левкович М. Г., Сташків М. Я., Сіправська М. Д. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів : навчальний посібник. Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 544 с.
5. Глобчак М. В., Мاستикаш О. Л., Борис М. М. Науково-методичні підходи підтримання надійності підвіски автобусів засобами матеріального забезпечення // Науковий вісник НЛТУ України. 2020. Т. 30, № 2. С. 93–98. DOI: 10.36930/4030021794.
6. Гречанюк М. С. Удосконалення пневматичної підвіски напівпричепа вантажного автомобіля // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. 2011. Вип. 4. С. 48–52.
7. Гудз Г. С., Глобчак М. В., Коцюмбас О. Й., Захара І. Я. Порівняльна оцінка алгоритмів демонтажу пневмопідвіски автобуса БАЗ А11110 на засадах структурного аналізу // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. 2019. № 1(12).
8. Кисликов В.Ф., В.В. Лушик Будова і експлуатація автомобілів. Підручник - Либідь м.Київ, 2018 – 400с.

9. Кисликов В.Ф., Лущик В.В. Будова й експлуатація автомобілів: Підручник. - 8-те вид. - К.: Либідь, 2018. - 400 с.
10. Ляшук О. Л., Плекан У. М., Цьонь О. П. Аналіз впливу осьових навантажень на стан автомобільних доріг. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. Джерело підтверджує авторський склад ТНТУ: О. Л. Ляшук, У. М. Плекан, О. П. Цьонь.
11. О.Л. Ляшук, Ю.І. Пиндус, М.Г. Левкович, Гупка А.Б., Хорошун Р.В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра за освітнім рівнем «бакалавр галузі знань 27 «Транспорт» спеціальність 274 «Автомобільний транспорт» – Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2022. – 61 с.
12. Савченко Є. Л., Михалевич М. Г. Система керування пневматичною підвіскою автотранспортних засобів категорії N3, M3 // у матеріалах Всеукраїнської науково-практичної конференції «Автомобільний транспорт в аграрному секторі: проектування, дизайн та технологічна експлуатація». 2019.
13. Слатов І. М. Оптимізація паливної ефективності пасажирських автобусів категорії M3 за допомогою пневматичної підвіски // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. 2024. № 1(22). С. 307–313.
14. Технічна експлуатація автомобілів. Організація технологічних процесів ТО І ПР: навчальний посібник / Ю. Ю. Кукурудзяк, В. В. Біліченко. - Вінниця : ВНТУ, 2010. - 198 с.
15. Ткаченко І. Г., Левкович М. Г. Конспект лекцій з дисципліни «Надійність транспортних засобів». Тернопіль : ТНТУ, 2024. 118 с.
16. Форнальчик Є. Ю., Качмар Р. Я. Основи технічного сервісу транспортних засобів - Львівська політехніка 2017, - 324 с