

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ, ТРАНСПОРТУ ТА АРХІТЕКТУРИ  
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти Магістра  
Бакалавра (Магістра)

### *Дослідження впливу параметрів демпфера на плавність руху та стійкість автомобіля*

Назва теми

Галузь знань 13 Механічна інженерія  
Шифр і назва галузі знань

Спеціальність 132 Матеріалознавство  
Шифр і назва спеціальності

Освітня програма Відновлення та технічний сервіс автомобілів  
Назва

Шифр КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ

Виконав студент(ка) 2-го курсу  
група МТВАм 24-1  
Шифр

  
Підпис

Віктор БАЛИШИН  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник к.т.н, доцент  
Науковий ступінь, вчене звання

  
Підпис

Олег МАКОВКІН  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер доцент кафедри ТАМ  
Посада

  
Підпис

Олег БАБАК  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:  
Завідувач кафедри ТАМ  
Назва

  
Підпис

Олександр ДИХА  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Дата 10 12 2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Напрямок підготовки (спеціальність) 132 «Матеріалознавство»

Освітньо-професійна програма «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ТАМ

проф., д.т.н. Духа О.В.

13 жовтня 2025 року

**ЗАВДАННЯ**  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Балишину Віктору Валерійовичу

Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема роботи «Дослідження впливу параметрів демпфера на плавність руху та стійкість автомобіля».

керівник роботи Маковкін Олег Миколайович, к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом університету від 25 серпня 2025 р. № 65 (Д28)

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 1 грудня 2025 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Матеріали практики; робочі креслення досліджуваних деталей; нормативно – технологічна документація по розбиранню, дефектації, складанню і регулюванню вузла тертя; вимоги з охорони праці і безпеки роботи при виконанні ремонтних робіт; техніко – економічні показники роботи підприємства.

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

1 Вивчення питання призначення підвіски транспортних засобів;

2 Розрахунок тягово-динамічних характеристик автомобіля;

3 Аналіз конструктивних змін підвіски та їх вплив на технологічний процес

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Графічна частина роботи представлена у вигляді презентації на слайдах

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

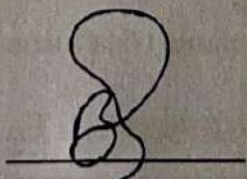
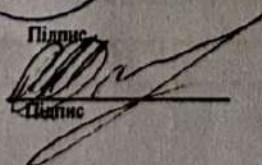
7. Дата видачі завдання \_----

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	<i>Літературний огляд</i>	<i>30.09.2025</i>	
2	<i>Технологічний розділ</i>	<i>25.10. 2025</i>	
3	<i>Дослідницький розділ</i>	<i>15.11. 2025</i>	
4	<i>Оформлення розрахунково-пояснювальної записки</i>	<i>22.11. 2025</i>	
5	<i>Оформлення презентації кваліфікаційної роботи</i>	<i>1.12. 2025</i>	
6	<i>Нормоконтроль кваліфікаційної роботи</i>	<i>5.12. 2025</i>	
7	<i>Підписання розділів. Затвердження дати захисту</i>	<i>5.12. 2025</i>	

Студент

Керівник роботи

  
 Підпис  
  
 Підпис

**Віктор БАЛИШИН**

№, прізвище

**Олег МАКОВКІН**

№, прізвище

## РЕФЕРАТ

У випускній кваліфікаційній роботі магістра розглянуто питання аналізу конструкції, удосконалення та оцінювання динамічних характеристик передньої підвіски транспортного засобу. Метою дослідження є підвищення плавності ходу, надійності та керованості автомобіля шляхом модернізації конструкції підвіски та впровадження оптимізованих параметрів демпфування.

У першому розділі проведено детальний аналіз сучасних типів і схем автомобільних підвісок, визначено їх функціональне призначення, основні вимоги та тенденції розвитку. Обґрунтовано доцільність вибору проєктованої конструкції передньої підвіски та її очікувані експлуатаційні переваги.

У другому розділі наведено конструкторські розрахунки, включаючи визначення тягово-динамічних характеристик автомобіля, обґрунтування компоновочної схеми підвіски, а також розрахунок параметрів демпфування та взаємодії підресорених і непідресорених мас.

У третьому розділі розглянуто технологічні аспекти впровадження модернізованої конструкції. Виконано аналіз технологічності змін, розроблено технологічну схему встановлення передньої підвіски, сформовано перелік складальних операцій та виконано розрахунок трудомісткості монтажних робіт.

У четвертому розділі проведено дослідження динамічних характеристик модернізованої підвіски методом математичного моделювання. Складено систему рівнянь моделі чверті автомобіля, визначено власні частоти та ступінь демпфування. Проаналізовано реакцію підвіски на імпульсні та гармонічні дорожні збурення, а також оцінено варіацію вертикального навантаження на колесо. Встановлено позитивний вплив модернізації демпфера на плавність ходу та стійкість автомобіля.

У розділі з безпеки та екологічності наведено характеристику виробничих умов, виконано ідентифікацію небезпечних факторів, обґрунтовано методи зниження професійних ризиків, заходи пожежної безпеки та екологічні вимоги до процесу встановлення підвіски.

У розділі техніко-економічного обґрунтування визначено собівартість модернізованої конструкції підвіски, розраховано точку беззбитковості та підтверджено економічну доцільність впровадження модернізації, зокрема за рахунок підвищення довговічності елементів і зменшення витрат на обслуговування.





Результати роботи можуть бути використані під час модернізації автомобільних підвісок, у процесі конструкторських розробок, а також у навчальному процесі технічних спеціальностей.

Випускна кваліфікаційна робота містить 101 сторінок, 12 ілюстрацій, 7 таблиць, 36 використаних джерел та 1 додаток.

**Ключові слова:** підвіска, демпфер, модернізація, плавність ходу, математичне моделювання, динамічні характеристики, монтаж, технологічний процес.

## ЗМІСТ

	ст.
ВСТУП	6
1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ	7
1.1. Функціональне призначення підвіски транспортних засобів	7
1.2. Основні вимоги до сучасних підвісок автомобілів	8
1.3. Конструктивні схеми та різновиди підвісок	10
1.4. Сучасні напрями розвитку конструкцій підвісок	12
1.5. Обґрунтування вибору та доцільності застосування проекрованої конструкції підвіски	20
2. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	22
2.1. Розрахунок тягово-динамічних характеристик автомобіля	22
2.2. Обґрунтування компоновочної схеми підвіски	23
2.3. Визначення параметрів демпфування та характеристик взаємодії підресорених і непідресорених мас	24
3. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	33
3.1. Аналіз конструктивних змін підвіски та їх вплив на технологічний процес	33
3.2. Оцінка технологічності проекрованої конструкції та вимог до її виготовлення	34
3.3. Розроблення технологічної схеми встановлення передньої підвіски	35
3.4. Формування переліку складальних операцій	38
3.5. Розрахунок трудомісткості монтажу передньої підвіски	40
3.6. Вибір організаційної форми проведення монтажних робіт	44
4 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОДЕРНІЗОВАНОЇ ПЕРЕДНЬОЇ ПІДВІСКИ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ	46
4.1 Мета та завдання дослідження	46
4.2 Вибір математичної моделі підвіски	47
4.3 Система рівнянь руху моделі чверті автомобіля	48
4.4 Вихідні дані для моделювання	49

<b>КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ</b>								
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Дослідження впливу параметрів демпфера на плавність руху та стійкість автомобіля	Літ.	Арк.	Акрюшід
Розроб.		Балишин						
Перевір.		Маковкін					4	101
Н. Контр.		Бабак				ХНУ МТВАм 24-1		
Затверд.		Лиха						

4.5	Оцінка власних частот і ступеня демпфування	50
4.6	Дослідження реакції підвіски на імпульсне дорожнє збурення	51
4.7	Реакція підвіски на гармонічне дорожнє збурення	52
4.8	Оцінка варіації вертикального навантаження на колесо	53
4.9	Аналіз впливу модернізації демпфера на плавність ходу	53
4.10	Узагальнення результатів дослідження	55
5	БЕЗПЕКА ТА ЕКОЛОГІЧНІСТЬ ТЕХНІЧНОГО ОБ'ЄКТА	59
5.1.	Конструктивно-технологічні та організаційно-технічні характеристики об'єкта дослідження	59
5.2.	Ідентифікація небезпечних і шкідливих виробничих факторів	64
5.3.	Методи та засоби зниження професійних ризиків	68
5.4.	Забезпечення пожежної безпеки ділянки складання	73
5.5.	Заходи щодо забезпечення екологічної безпеки процесу встановлення передньої підвіски	77
5.6.	Висновки по розділу	77
6	ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗОВАНОЇ ПІДВІСКИ	79
6.1.	Розрахунок собівартості модернізованої конструкції підвіски	79
6.2.	Визначення точки беззбитковості виробництва	85
6.3.	Підтвердження економічної ефективності впровадження модернізації	87
6.4.	Оцінка економічного ефекту від підвищення надійності та довговічності елементів підвіски	91
6.5.	Висновки по розділу	94
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	95
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	98
	ДОДАТКИ	101

## Вступ

Сучасний автомобіль є масовим технічним продуктом, для якого вирішальне значення має оптимальне співвідношення між собівартістю, якістю та експлуатаційними властивостями. В умовах жорсткої конкуренції, особливо в бюджетному та середньому цінових сегментах, виробники прагнуть застосовувати технічні рішення, які дозволяють забезпечити достатній рівень комфорту, безпеки та надійності при мінімізації витрат на виробництво. Саме тому конструкції багатьох сучасних автомобілів мають значну схожість. Так, у сегменті недорогих автомобілів фактичним стандартом стала передня підвіска типу МакФерсон у поєднанні з рейковим рульовим механізмом, змонтованим на підрамнику, а також задня напівзалежна підвіска.

Однак навіть при використанні однакової компоновочної схеми різні моделі одного класу можуть істотно відрізнятися за такими ключовими параметрами, як курсова стійкість, керованість, плавність ходу та комфорт. Остаточні значення цих характеристик залежать від того, наскільки якісно проведена стадія доведення автомобіля, тобто налаштування жорсткості пружних елементів, характеристик демпфування, кінематики підвіски, а також калібрування електронних систем допомоги водію.

Постійне за ДСТУ конкуренції змушує автовиробників скорочувати життєвий цикл платформ, зменшувати час, необхідний для розробки нових моделей, та прискорювати впровадження інженерних змін. При цьому очікування споживачів неухильно зростають: покупець звертає увагу на дизайн, динаміку, рівень оснащення, інтегровані системи мультимедіа та безпеки. Водночас, хоча тип підвіски для більшості водіїв не є визначальним фактором при виборі автомобіля, саме робота підвіски значною мірою визначає суб'єктивне враження від керування транспортним засобом. Порівнюючи декілька автомобілів одного класу, користувач часто віддає перевагу тому, який забезпечує кращу плавність ходу, стійкість на поворотах

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

і контрольованість на високих швидкостях. У ряді випадків саме ці параметри стають вирішальними при остаточному виборі.

Тенденції сучасного машинобудування демонструють зростання інтересу не лише до традиційних пасивних елементів підвіски, а й до систем із адаптивним або напівактивним керуванням демпфуванням, електронно-керованих амортизаторів, систем компенсації кренів та активних підвісок із використанням датчиків положення кузова та алгоритмів прогнозного контролю. Проте впровадження таких технологій значно підвищує вартість автомобіля, що є недопустимим для бюджетного сегмента.

У зв'язку з цим оптимальним і економічно обґрунтованим шляхом підвищення керованості, курсової стійкості та загальної плавності ходу автомобіля другого класу є модернізація демпфувальних елементів підвіски. Поліпшення характеристик амортизаторів дозволяє істотно підвищити динамічні властивості автомобіля без зміни його базової платформи та без значного впливу на собівартість виробництва.

## 1. СТАН ПИТАННЯ

### 1.1. Призначення підвіски транспортних засобів

Підвіска автомобіля є одним із ключових елементів ходової частини, що забезпечує взаємозв'язок між колесами та кузовом (або рамою) транспортного засобу. Основне її призначення полягає у забезпеченні безпечного, стабільного та комфортного руху автомобіля в різних дорожніх умовах. Підвіска виконує такі основні функції:

- Забезпечення пружного зв'язку між колесами та несучою системою автомобіля, дозволяючи колесам переміщуватися відносно кузова без втрати керованості.
- Поглинання та гасіння ударів і вібрацій, що виникають через нерівності дорожнього покриття, вибоїни, хвилі та інші дефекти дороги. Завдяки цьому зменшуються динамічні навантаження на кузов, агрегати та пасажирів.

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Формування оптимальної кінематики коліс, тобто забезпечення правильних траєкторій їх переміщення при роботі підвіски. Це дозволяє підтримувати необхідні кути розвалу, сходження, кастору та мінімізувати зміну колії та бази.
- Підтримання стійкості та керованості автомобіля у різних режимах руху — при гальмуванні, розгоні, маневруванні та проходженні поворотів.
- Зменшення зносу шин і елементів ходової частини завдяки оптимальному розподілу сил і навантажень.
- Забезпечення постійного контакту шин з дорогою, що є критично важливим для ефективної роботи систем ABS, ESP та інших електронних систем стабілізації.

У сучасних автомобілях дедалі ширше застосовуються адаптивні амортизатори, електронно-керовані клапани, датчики ходу підвіски та системи активного регулювання положення кузова, що дозволяють змінювати характеристики підвіски у режимі реального часу.

## 1.2. Вимоги, що висуваються до підвіски

До підвіски сучасного автомобіля висувається комплекс вимог, які стосуються конструкції її елементів, матеріалів, кінематичних параметрів та експлуатаційних властивостей. Ці вимоги визначають рівень безпеки, комфорту, керованості та довговічності транспортного засобу.

Конструктивні вимоги:

- Висока надійність і довговічність деталей, здатність витримувати ударні та циклічні навантаження без передчасного зношування.
- Мінімальна маса елементів, особливо тих, що належать до невіднесених мас (колеса, важелі, ступиці, частина амортизатора). Зменшення невіднесеної маси підвищує плавність ходу та покращує зчеплення з дорогою.

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

- Низька собівартість виготовлення, що має особливе значення для автомобілів бюджетного та середнього сегментів.
- Технологічність конструкції, яка передбачає простоту виготовлення, складання та обслуговування вузлів.
- Оптимальні демпфувальні властивості, що забезпечують ефективне гасіння коливань кузова та виключають багаторазові вертикальні коливання після проїзду нерівності.
- Корозійна та зносостійкість матеріалів, важлива для експлуатації в умовах агресивних середовищ і перепадів температур.
- Сумісність із сучасними електронними системами — ABS, ESP, системами розподілу гальмівних зусиль і стабілізації руху.

Сучасні тенденції включають застосування:

- багатоважільних схем для поліпшення кінематики;
- амортизаторів із змінною жорсткістю та адаптивним демпфуванням (CVSA, CDC);
- алюмінієвих і композитних важелів для зниження маси;
- інтегрованих датчиків навантаження та переміщення.

Кінематичні вимоги:

- Узгодженість кінематики підвіски з кінематикою рульового керування, що забезпечує стійкість курсу та точність реакцій автомобіля.
- Мінімальні зміни кутів установки коліс при ходах стиску та відбою.
- Забезпечення оптимальних значень кутів розвалу, сходження та кастору в усіх робочих режимах.
- Постійність колії та бази незалежно від навантаження та переміщення елементів підвіски.
- Плавність змін кінематичних параметрів для забезпечення прогнозованої керованості.

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Зменшення кренів кузова шляхом правильного вибору положення центру крену та жорсткості стабілізаторів поперечної стійкості.

### 1.3. Варіанти конструктивних виконань підвісок (удосконалений текст українською)

Підвіски автомобілів традиційно поділяють на залежні, незалежні та напівзалежні, кожна з яких має свої конструктивні особливості, сферу застосування, переваги й недоліки. Незважаючи на активне поширення незалежних підвісок у сучасному автомобілебудуванні, залежні та напівзалежні конструкції продовжують широко використовуватися, особливо у сегменті позашляховиків, комерційної техніки та бюджетних легкових автомобілів.

#### Залежна (балочна) підвіска

Залежна підвіска має жорсткий зв'язок між колесами однієї осі: переміщення одного колеса неминуче впливає на положення іншого. Подібна схема була відома ще до появи автомобілів, зокрема в конструкціях гужових возів.

#### Переваги залежної підвіски:

- Постійний дорожній просвіт, що є важливою перевагою для автомобілів, які експлуатуються в умовах важкого бездоріжжя.
- Висока міцність і проста конструкція, що забезпечує легкість виготовлення й ремонту.
- Низька собівартість виробництва та експлуатації.

#### Недоліки:

- Великі значення невідрахованих мас, що знижує плавність ходу та негативно впливає на контакт коліс із дорогою.
- Суттєві поперечні переміщення балки моста, які можуть погіршувати курсову стійкість та керованість.

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

- Значний обсяг компоновочного простору, необхідний для роботи балки, що інколи призводить до зменшення багажного відсіку або підвищення центру мас.

Залежні підвіски частіше використовуються у вантажних автомобілях, позашляховиках, пікапах та спеціальній техніці.

#### Незалежна підвіска

У незалежній підвісці зв'язок між колесами однієї осі відсутній: переміщення одного колеса не впливає на положення іншого. Це забезпечує суттєві переваги в динамічних властивостях автомобіля.

Переваги незалежної підвіски:

- Високі показники керованості та курсової стійкості, особливо під час маневрування.
- Можливість точного регулювання кутів установки коліс під час експлуатації.
- Менша маса та зменшені невіднесорені маси, що позитивно впливає на комфорт і зчеплення з дорогою.
- Менші вимоги до компоновочного простору у порівнянні із залежними підвісками.

Недоліки:

- Менша вантажопідйомність, що обмежує застосування у транспорті підвищеної прохідності чи вантажних автомобілях.
- Змінний дорожній просвіт, що є небажаним для умов екстремального бездоріжжя.
- Вища собівартість виготовлення, складніші технології виробництва.
- Більш трудомістке та дорожче обслуговування, зокрема через складність кінематики та більшу кількість шарнірів.

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сучасні варіанти незалежних підвісок (багатоважільна, подвійний поперечний важіль, МакФерсон) демонструють хороші характеристики керованості та широко застосовуються в легковому транспорті.

#### Напівзалежна підвіска

Напівзалежна підвіска займає проміжне місце між залежною та незалежною. Найбільш поширеним варіантом є торсіонна балка, де два поздовжні важелі з'єднані елементом, що працює на кручення. Завдяки цьому переміщення одного колеса впливає на інше, але взаємний кут їх розташування може змінюватися.

Переваги напівзалежної підвіски:

- Низька собівартість виробництва, що робить її популярною в бюджетному сегменті.
- Проста конструкція та легкість обслуговування.
- Невелика маса, що сприяє покращенню динамічних параметрів автомобіля.

Недоліки:

- Обмежені характеристики керованості й курсової стійкості у порівнянні з незалежними підвісками.
- Значний компоновочний простір, необхідний для роботи балки.
- Практична неможливість реалізації приводу на задні колеса, що ускладнює застосування у повнопривідних системах.

Важливо зазначити, що напівзалежна підвіска використовується виключно на задній осі та залишається найпоширенішою у легкових автомобілях класу В і С завдяки оптимальному співвідношенню вартості, маси та надійності.

#### 1.4. Огляд напрямів розвитку конструкцій підвісок

Усі елементи підвіски автомобіля виконують три основні функції: пружну, направляючу та демпфувальну. Залежно від конструкції конкретної підвіски кожен елемент може поєднувати в собі одну, дві або навіть усі три

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

функції. Розвиток підвісок у сучасному автомобілебудуванні спрямований на покращення керованості, комфорту, стійкості та зниження маси, що досягається завдяки застосуванню нових матеріалів, електронних систем керування та вдосконалених конструктивних рішень.

#### 1.4.1. Пружні елементи підвіски

##### Пружини

Гвинтові пружини сьогодні є найпоширенішими пружними елементами в легкових автомобілях. Вони характеризуються:

- порівняно малою масою;
- невисокою вартістю виготовлення;
- невеликими вимогами до компоновочного простору.

Сучасні пружини можуть бути:

- циліндричними,
- конічними,
- бочкоподібними,

що дозволяє оптимізувати жорсткість та забезпечити компактність у стиснутому стані.

Змінний крок витка та змінний діаметр прутка дають можливість формувати лінійну або прогресивну характеристику жорсткості, що робить поведінку автомобіля більш адаптивною до умов дороги.

##### Ресори

Листові ресори складаються з одного або кількох сталевих листів, що поєднують кузов автомобіля з балкою моста. Особливістю ресор є те, що вони виконують одразу три функції:

- пружну,
- направляючу,
- демпфувальну (завдяки тертю між листами).

За формою ресори поділяють на:

- еліптичні,

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

- напівеліптичні,
- $\frac{3}{4}$ -еліптичні,
- $\frac{1}{4}$ -еліптичні.

Ресори забезпечують:

- високу вантажопідйомність,
- простоту конструкції,
- невисоку собівартість.

Проте вони мають значну масу та потребують більшого простору, ніж пружини. Сьогодні ресори використовують переважно у:

- вантажних автомобілях,
- малотоннажних фургонів,
- причепах.



Рисунок 1 – Листова ресора передньої/задньої підвіски автомобіля  
Торсіони

Торсіон — це стрижень круглого або квадратного перерізу, що працює на скручування. Він має такі переваги:

- нелінійна характеристика жорсткості,
- можливість економії вертикального простору,
- простота виготовлення.

У сучасному автомобілебудуванні торсіони найчастіше застосовують як стабілізатори поперечної стійкості. Штанга стабілізатора, з'єднана з кузовом та елементами підвіски, скручується при різноспрямованих переміщеннях коліс, протидіючи крену автомобіля.

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

## 1.4.2. Демпфувальні елементи підвіски

### Амортизатори

Амортизатори — це механізми, що гасять або запобігають коливанням, викликаним нерівностями дороги та інерційними навантаженнями.

### *Історичні рішення*

Першими на автомобілях застосовували механічні фрикційні амортизатори, які поглинали коливання за рахунок тертя між дисками. Однак вони мали невисоку надійність і ефективність, тому були витіснені сучасними конструкціями.

### *Сучасні типи амортизаторів*

Сьогодні найбільш поширені гідравлічні амортизатори. Їх робота базується на русі поршня у циліндрі, заповненому робочою рідиною, яка проходить через спеціальні клапани.

Амортизатори бувають:

- двотрубні
  - мають компенсаційний резервуар для теплового розширення рідини;
  - недорогі, але чутливі до кута встановлення;
  - можуть вспінюватися під час активної роботи.
- однострубні
  - мають вищу ефективність;
  - краще відводять тепло;
  - однак вразливі до пошкоджень корпусу.

Демпфувальні властивості також забезпечують шарніри, серед яких варто виділити:

- кульові опори,
  - сайлентблоки,
  - гумометалеві шарніри,
- які значно покращують віброізоляцію.

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

### 1.4.3. Направляючі елементи підвіски

До направляючих елементів належать:

- важелі різних типів,
- реактивні штанги,
- поворотні кулаки,
- ресори,
- амортизаторні стійки.

Вони забезпечують правильну кінематику підвіски, узгоджену з роботою рульового керування.



Рисунок 2 – Конструкція нижнього важеля передньої підвіски

Матеріали та тенденції

Алюмінієві литі важелі мають низьку масу й забезпечують високу жорсткість, однак є дорогими. Їх найчастіше застосовують у автомобілях преміального сегмента та спортивних модифікаціях.

Ковані сталеві важелі витримують значні навантаження та добре підходять для позашляхових умов.

Штамповані сталеві важелі є найдешевшими та найпоширенішими, особливо у бюджетних автомобілях.

### 1.4.4. Сучасні тенденції розвитку підвісок

Серед новітніх напрямів можна виділити:

- адаптивні амортизатори з електронним керуванням (CDC, CVSA, MagneRide);

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

- пневматичні підвіски зі змінною висотою кузова;
- гідропневматичні системи (як у Citroën);
- активні підвіски з електромеханічним або гідравлічним приводом;
- підвіски з прогнозним керуванням, що використовують камери та датчики для аналізу дороги;
- композитні модулі підвіски для зменшення маси;
- інтелектуальні стабілізатори зі змінною жорсткістю.

Ці рішення підвищують рівень комфорту, безпеки та керованості, однак вимагають складних електронних систем, що обмежує їх використання у бюджетному сегменті.

#### Передня підвіска типу МакФерсон

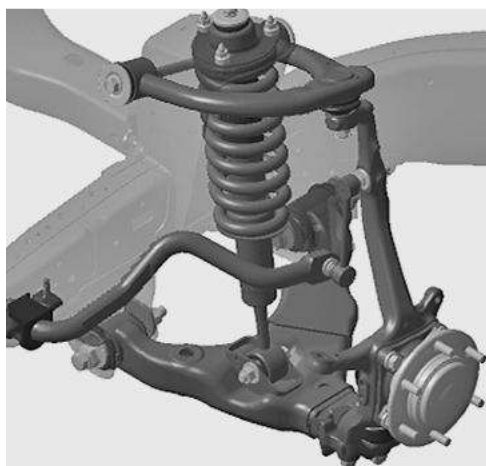


Рисунок 3 – Будова передньої підвіски позашляховика

Однією з найпоширеніших конструкцій передньої підвіски у сучасному автомобілебудуванні є підвіска типу МакФерсон, яку також називають підвіскою на напрямній стійці або «гойдалковою свічкою». Вона складається з нижнього поперечного важеля, з'єданого через кульову опору з поворотним кулаком, та напрямної стійки, яка у верхній частині кріпиться до кузова, а в нижній — до кулака. Напрямна стійка є поєднанням амортизатора та гвинтової пружини, тому суміщає функції пружного, демпфувального та направляючого елементів.

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Кінематичні властивості такої підвіски дещо гірші, ніж у подвійного важеля, насамперед через значні зміни кутів установки коліс у процесі роботи. Проте загалом вона забезпечує прийнятний рівень керованості для більшості сучасних автомобілів.

Переваги підвіски МакФерсон:

- низька собівартість виготовлення;
- простота монтажу та обслуговування;
- компактність у поперечному напрямку, що полегшує компоновку моторного відсіку;

- мала маса.

Недоліки:

- значний вертикальний розмір, що ускладнює розміщення високих двигунів;
- передавання на кузов підвищених шумів і вібрацій;
- помітні зміни кінематики при ходах стиску та відбою.

Попри недоліки, підвіску МакФерсон застосовують як у бюджетних моделях (Hyundai Solaris, Renault Logan), так і у кросоверах середнього класу (Audi Q3, Volkswagen Tiguan).

Передня підвіска на подвійних поперечних важелях

Підвіска на двох поперечних важелях складається з нижнього важеля, закріпленого на підрамнику, та верхнього — закріпленого на кузові або підрамнику. Поворотний кулак з'єднується з важелями через два кульові шарніри.

Завдяки зміні довжини важелів можна:

- оптимізувати зміни кутів установки коліс при ходах підвіски;
- покращити керованість;
- реалізувати хороший антиклевковий ефект через регулювання поздовжнього нахилу важелів.

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Переваги:

- відмінна кінематика;
- високий рівень керованості;
- точність реакцій автомобіля під час маневрування.

Недоліки:

- значна маса конструкції;
- висока собівартість виготовлення;
- потреба у значному компоновочному просторі.

Таку підвіску застосовують у спортивних автомобілях (Nissan GT-R), позашляховиках (Toyota Land Cruiser) та бізнес-седанах (Audi A6).

Багатоважільна підвіска

Багатоважільна підвіска є еволюційним розвитком схеми з подвійними поперечними важелями. Наявність кількох окремих важелів дозволяє точніше керувати траєкторією руху колеса та мінімізувати небажані зміни кінематичних параметрів.

Переваги:

- найкраща керованість серед пасивних підвісок;
- висока плавність ходу;
- низький рівень шумів та вібрацій;
- можливість точного налаштування кінематики.

Недоліки:

- складність конструкції;
- висока вартість виробництва;
- трудомістке обслуговування.

Одним з найвідоміших прикладів є задня підвіска Ford Focus Control Blade.

Передні залежні підвіски

Залежні передні підвіски зустрічаються переважно на рамних позашляховиках та важкій техніці. Балка моста з'єднується з кузовом через:

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

- чотири реактивні штанги або два масивних поздовжніх важелі,
- у поперечному напрямку — через тягу Панара, механізм Уатта або механізм Скотта-Рассела.

Тяга Панара — найпростіше та найдешевше рішення, але воно спричиняє поперечні зміщення осі, що погіршує керованість. Механізм Уатта та Скотта-Рассела забезпечують стабільніше положення осі, але є дорогими.

Класичним прикладом використання залежної передньої підвіски є Mercedes-Benz G-Class.

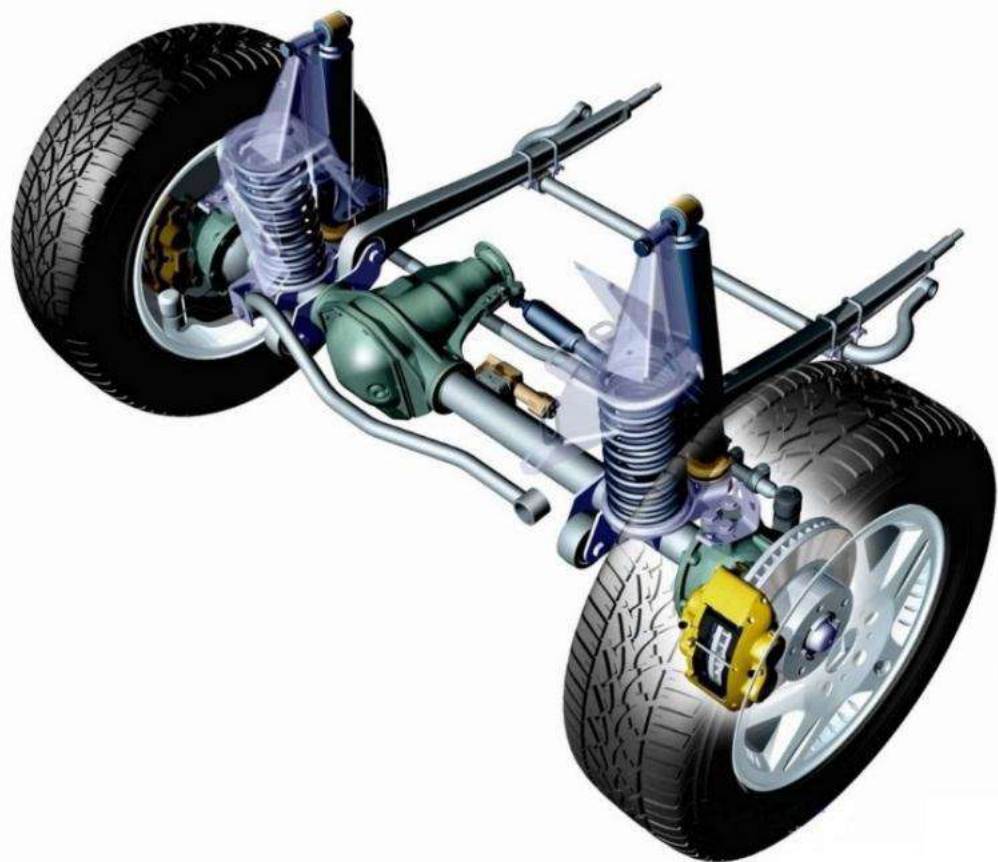


Рисунок 4 – Будова передньої залежної підвіски позашляховика Mercedes-Benz G-Class

#### 1.5. Обґрунтування застосування проектованої конструкції підвіски

Базовим автомобілем для модернізації обрано Рено логан, що є однією з найбільш доступних та популярних моделей на ринку. Автомобіль

відзначається вдалою комбінацією низької вартості володіння, достатньої комплектації та якісного виготовлення. Основну частку продажів становить виконання у кузові седан, що й було обрано для модернізації у межах даної роботи.

Рено логан зарекомендувала себе як успішна: відсутність підрамника та складена конструкція нижнього важеля забезпечують:

- низьку собівартість виготовлення;
- невелику масу підвіски;
- прийнятні показники керованості та плавності ходу.

Водночас конструкція має низку недоліків:

- підвищений рівень вібрацій, що передаються на кермо через кріплення рульового механізму на недостатньо жорсткій панелі передка;
- складена конструкція нижнього важеля, що містить більшу кількість шарнірів у порівнянні з цільними важелями, що негативно позначається на кінематиці передньої підвіски;
- обмеження у точності налаштування демпфувальних характеристик, що впливає на комфорт і стійкість автомобіля.

Ураховуючи виявлені особливості, модернізація демпфувальних елементів є найбільш ефективним та економічно доцільним способом підвищення керованості, стійкості та плавності руху автомобіля без істотного зростання собівартості конструкції.

Модернізація бюджетних автомобілів завжди суттєво обмежена в частині інвестицій — виробники змушені ретельно контролювати собівартість, зберігаючи конкурентоспроможність моделі. Тому перевага надається інженерним рішенням, які мають виражений ефект для споживача, але водночас не потребують значних фінансових витрат.

Виходячи з цього, доцільним і економічно обґрунтованим напрямом удосконалення є покращення керованості та курсової стійкості автомобіля за рахунок модернізації демпфувального елемента підвіски.

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

## 2. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 2.1. Розрахунок тягово-динамічних характеристик транспортного засобу

Для розрахунку тягово-динамічних характеристик автомобіля використано такі вихідні дані:

- провідні колеса: передні;
- кількість місць у салоні — 5;
- кількість передач КПП — 5;
- ККД трансмісії —  $\eta = 0,9$ ;
- типорозмір шини — 185/65 R14;
- максимальна швидкість — 180 км/год;
- маса автомобіля — 1088 кг;
- коефіцієнт аеродинамічного опору —  $C_x = 0,32$ ;
- коефіцієнт опору коченню —  $f = 0,012$ ;
- максимальний долаємий ухил —  $i = 0,3$ ;
- оберти двигуна:
  - максимальні — 5600 об/хв;
  - номінальні — 6000 об/хв;
  - мінімальні стійкої роботи — 1000 об/хв.

У межах розрахунків визначено:

- зовнішню швидкісну характеристику двигуна;
- передаточні числа коробки передач;
- динамічний та тяговий баланс;
- час та шлях розгону;
- ускорення на різних передачах;
- паливно-економічні параметри.

У результаті проведених обчислень отримано такі раціональні передаточні числа КПП:

- $U_1 = 2,71$

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

- $U_2 = 1,94$
- $U_3 = 1,31$
- $U_4 = 0,98$
- $U_5 = 0,78$

Графічні результати всіх розрахунків подано у додатку А

## 2.2. Обґрунтування компоновочної схеми підвіски

У даному дипломному проєкті модернізується передня підвіска передньопривідного легкового автомобіля класу В — Рено логан. Метою модернізації є підвищення керованості та курсової стійкості автомобіля.

Існує багато способів досягти цієї мети, зокрема:

- перехід на підвіску з подвійними поперечними важелями;
- застосування багатоважільної схеми;
- використання активних або напіваадаптивних пружних і демпфувальних елементів.

Проте вибираючи підходи до модернізації, необхідно враховувати економічні та виробничі обмеження, характерні для бюджетного автомобіля.

Передня підвіска Рено логан:

- має низьку собівартість виробництва;
- забезпечує достатній рівень комфортності та керованості;
- має просту та технологічну конструкцію;
- не потребує використання підрамника.

У зв'язку з цим зміна компоновочної схеми підвіски недоцільна — вона призвела б до необхідності глибокого перероблення кузова, підвіски, рульового управління та силової структури автомобіля. Це несумісно з вимогами low-cost сегмента.

Натомість модернізація демпфувального елемента підвіски:

- не вимагає суттєвих змін у виробничому процесі;
- є економічно доступною;

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- суттєво впливає на поведінку автомобіля — зменшує крени, покращує стійкість і реакції на кермо;
- є помітною та цінною для споживача характеристикою.

Таким чином, покращення амортизатора як демпфувального елемента є оптимальним техніко-економічним рішенням для підвищення експлуатаційних властивостей автомобіля без зростання собівартості.

### 2.3. Визначення характеристик демпфування коливань та невіднесених мас автомобіля (оновлений український текст)

На рис. 5 подано швидкісну характеристику стійки передньої підвіски автомобіля Рено логан, яка використовується як основа для подальших розрахунків. Перевірка параметрів стійки та оцінка її відповідності вимогам довговічності виконується при швидкостях ходу штока 0,105 м/с та 0,314 м/с.

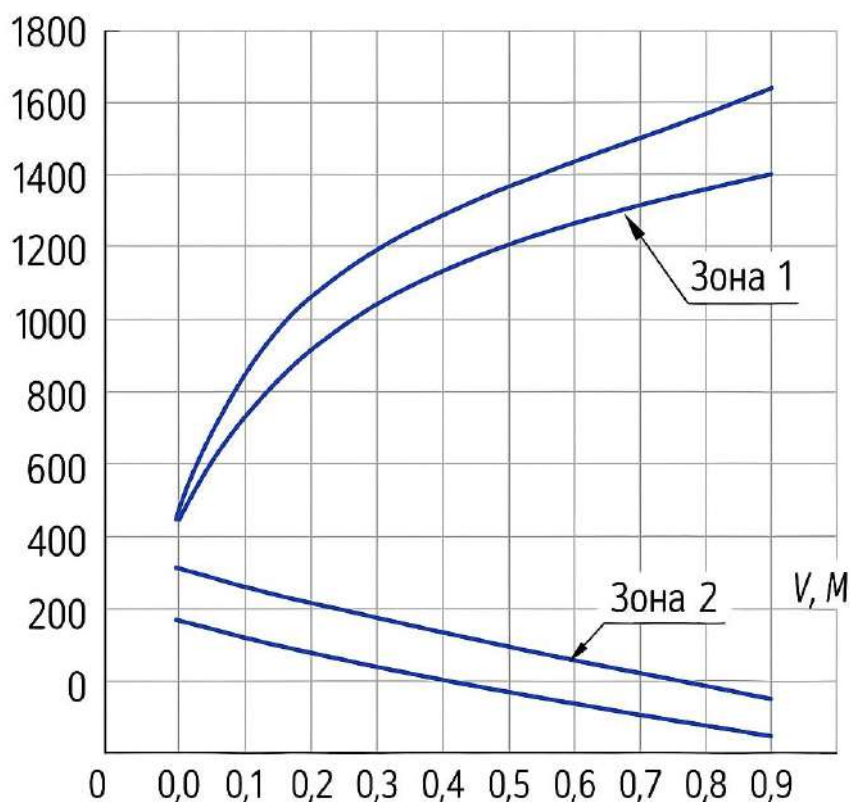


Рисунок 5 – Графік демпфувальних властивостей передньої стійки підвіски автомобіля

Визначення середнього коефіцієнта демпфування амортизаторної стійки

Середній коефіцієнт демпфування визначається за формулою:

$$K_{CT} = \frac{F_{сж} + F_{отб}}{2 \cdot v} \quad (2.1)$$

де:

- $F_{сж}$  — сила на стиснення у контрольній точці;
- $F_{отб}$  — сила на відбій у контрольній точці;
- $v$  — швидкість переміщення штока.

Середній коефіцієнт демпфування в дросельному режимі

$$K_{DCT} = \frac{94 + 5400}{2 \cdot 0,105} = 3019 \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}$$

Середній коефіцієнт демпфування у клапанному режимі

$$K_{KCT} = \frac{153 + 1010}{2 \cdot 0,314} = 1852 \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}$$

Перерахунок коефіцієнтів демпфування з урахуванням передаточного відношення стійки

$$K = \frac{K_{CT}}{i_{CT}^2}, \quad (2.2)$$

Для автомобіля Рено логан

$$i_{CT} = 1,054$$

Отримуємо:

Для дросельного режиму:

$$K_D = \frac{K_{DCT}}{i_{CT}^2} = \frac{3019}{1,054^2} = 2718 \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}$$

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Для клапанного режиму:

$$K_k = \frac{K_{кст}}{i_{ст}^2} = \frac{1852}{1,054^2} = 1667 \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}$$

Визначення коефіцієнта відносного демпфування підресореної та непідресореної мас

Формула:

$$\psi_{\Pi} = \frac{K}{2 \cdot \sqrt{m_{\Pi} \cdot C_Z}}, \quad (2.3)$$

де:

- $K$  — приведений коефіцієнт демпфування;
- $m_{\Pi}$  — підресорена маса, що припадає на одне колесо;
- $C_Z$  — вертикальна жорсткість передньої підвіски.

Визначення підресореної маси

$$m_{\Pi} = \frac{m_{\text{ПП}}}{2} - m_{\text{Н}}, \quad (2.4)$$

де:

- $m_{\text{ПП}}=756,5$  — маса на передню ось;
- $m_{\text{Н}}=37$  кг — непідресорена маса на одне колесо.

Тоді:

$$m_{\Pi} = 756,52 - 37 = 341,3 \text{ кг}$$

Визначення вертикальної жорсткості передньої підвіски

Вертикальна жорсткість визначається як сума жорсткості стійки (пружини) з урахуванням передаточного відношення та жорсткості шарнірів:

$$C_Z = \frac{C_{\text{ПП}}}{i_{ст}^2} + C_{\text{Ш}}, \quad (2.5)$$

де:

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- $C_{\text{ПР}}=18,6$  кН/м — жорсткість пружини;
- $C_{\text{Ш}}=2$  кН/м — жорсткість шарнірів;
- $i_{\text{СТ}}=1,054$ .

Отримуємо:

$$C_z = \frac{18.6}{1.054^2} + 2 = 18,74 \text{ кН/м}$$

Розрахунок коефіцієнта відносного демпфування

Дросельний режим:

$$\psi_{\text{ДР}} = \frac{K_D}{2 \cdot \sqrt{m_{\text{П}} \cdot C_z}} = \frac{2718}{2 \cdot \sqrt{3413 \cdot 18740}} = 0,54$$

Клапанний режим:

$$\psi_{\text{КЛ}} = \frac{K_K}{2 \cdot \sqrt{m_{\text{П}} \cdot C_z}} = \frac{1365}{2 \cdot \sqrt{3413 \cdot 18740}} = 0,33$$

Отримані значення відповідають одноіменному ходу підвіски, коли обидва колеса одночасно рухаються в одному напрямку (стиск/відбій).

Врахування стабілізатора поперечної стійкості при різноіменному ході підвіски

У цьому випадку до вертикальної жорсткості додається жорсткість стабілізатора:

$$C_z = \frac{C_{\text{ПР}}}{i_{\text{СТ}}^2} + C_{\text{Ш}} + C_{\text{СТЗ}}, \quad (2.6)$$

Жорсткість стабілізатора на колесі:

$$C_{\text{СТЗ}} = \frac{C_{\text{СТ0}} \cdot b_G}{i}, \quad (2.7)$$

де:

- $C_{\text{СТЗ}}$  — жорсткість штанги стабілізатора;
- $b_G \approx 0,9$  — коефіцієнт урахування гумових подушок;
- $i=1,87$  — передаточне відношення стабілізатора на колесі.

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

### Розрахунок жорсткості штанги стабілізатора

$$C_{\text{ст0}} = \frac{d^4 \cdot 6.18 \cdot 10^5}{2 \cdot l_0^3 + l_5^2 \cdot L_s + 7.78 \cdot l_2 \cdot l_7^2 - 2 \cdot l_4^3}, \quad (2.8)$$

Геометричні параметри  $l_i$  визначаються згідно з рисунком 6.

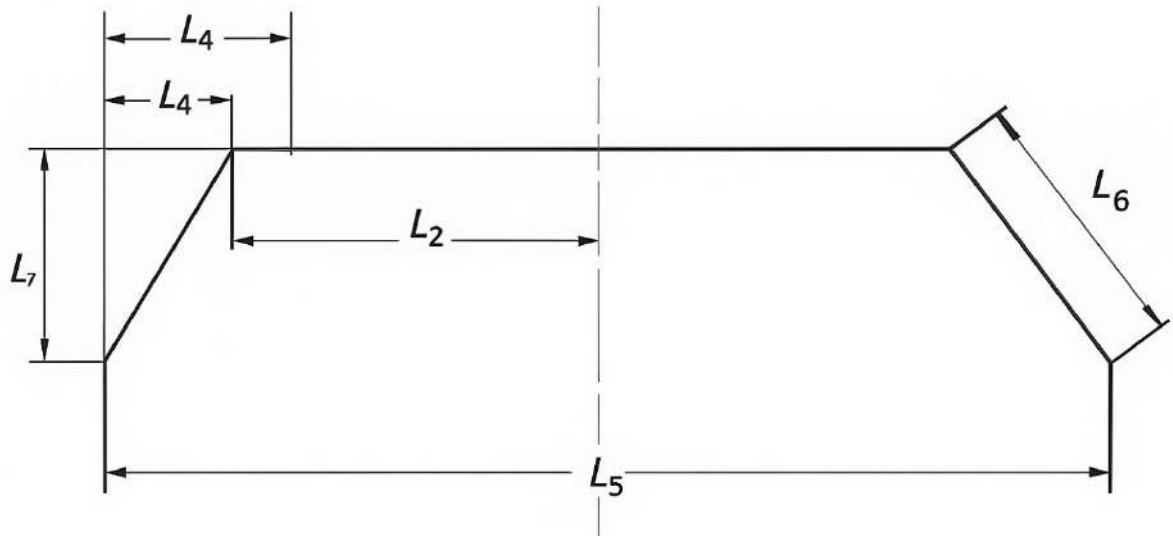


Рисунок 6 – Розрахункова схема стабілізатора поперечної стійкості

На наведеній розрахунковій схемі крайні точки відповідають місцям встановлення стояків стабілізатора на важелі підвіски. Згідно з конструкторською документацією на стабілізатор поперечної стійкості, приймаємо такі його параметри:

- діаметр штанги стабілізатора:  
 $d=22$  мм
- довжина штанги:  
 $L=1060$  мм
- плечі штанги:  
 $l_2=192$  мм,  $l_4=170$  мм,  $l_5=150$  мм,  $l_7=380$  мм

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ

Арк.

28

- значення параметра  $S_7$ :

$$S_7 = 230,7 \text{ мм}$$

Розрахунок жорсткості штанги стабілізатора

Жорсткість визначається за формулою (2.8):

$$C_{CTO} = \frac{0,022^4 \cdot 6,18 \cdot 10^5}{2 \cdot 0,2307^3 + 0,170^2 \cdot 1,06 + 7,78 \cdot 0,38 \cdot 0,192^2 - 2 \cdot 0,15^3} = 92 \text{ кН/м}$$

Підставляючи числові значення, отримуємо:

$$C_{CTO} = 92 \text{ кН/м}$$

Жорсткість стабілізатора, приведена до колеса

$$C_{CTZ} = \frac{92 \cdot 0,9}{1,87} = 44,26 \text{ кН/м}$$

де:

- $b_G = 0,9$  — коефіцієнт, що враховує деформацію гумових подушок;

- $i = 1,87$  — передаточне число стабілізатора до колеса.

Дане значення відповідає різноіменному ходу підвіски.

Жорсткість стабілізатора при наїзді одним колесом на нерівність

У цьому випадку штанга стабілізатора працює лише частково, тому жорсткість зменшується вдвічі:

$$C_{CTZ}^* = \frac{C_{CTZ}}{2} = \frac{44,26}{2} = 22,13 \text{ кН/м} \quad (2.9)$$

Жорсткість передньої підвіски з урахуванням стабілізатора

Використовуємо формулу (2.6):

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_z = \frac{18,6}{1,054^2} + 2 + 22,13 = 40,9 \text{ кН/м}$$

Коефіцієнт відносного демпфування при різноіменному ході

Дросельний режим:

$$\psi_{\text{ДД}} = \frac{K_D}{2 \cdot \sqrt{m_{\text{II}} \cdot C_z}} = \frac{2718}{2 \cdot \sqrt{341,25 \cdot 40900}} = 0,36$$

Клапанний режим:

$$\psi_{\text{ПК}} = \frac{K_K}{2 \cdot \sqrt{m_{\text{II}} \cdot C_z}} = \frac{1667}{2 \cdot \sqrt{341,25 \cdot 40900}} = 0,22$$

Аналіз отриманих результатів

Згідно з вимогами до плавності ходу:

КПопт=0,25...0,3

Отже:

- при різноіменному ході підвіска має недостатнє демпфування;
- при одноіменному ході демпфування дещо завищене.

Слід врахувати, що у сучасному автомобілебудуванні тенденція — підвищення жорсткості та демпфування підвісок для поліпшення керованості. Тому доцільно збільшити коефіцієнт демпфування, що покращить:

- керованість,
- курсову стійкість,
- безпеку автомобіля.

Погіршення плавності ходу буде мінімальним і прийнятним з точки зору експлуатаційних вимог.

Вибір раціонального коефіцієнта демпфування

Приймаємо:

$$\psi_{\text{ПК}} = \frac{K_K}{2 \cdot \sqrt{m_{\text{II}} \cdot C_z}} = 0,27$$

Тоді:

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

$$K_K = \psi_{ПК} \cdot \left( \sqrt{m_{II} \cdot C_Z} \right) \quad (2.10)$$

$$K_K = 0.27 \cdot \left( \sqrt{341,25 \cdot 40900} \right) = 2016,7 \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м} \quad (2.11)$$

У подальших розрахунках приймаємо:

$$K = 2017$$

Далі для визначення нового значення сили на стиск амортизатора використовується формула.

Для визначення необхідного зусилля амортизатора на ході стиснення використовується така формула:

$$K_{КСТ} = \frac{F_{сж} + 1010}{2 \cdot 0,314} = 2017 \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}$$

$$F_{сж} = \left( K_{КСТ} \cdot 2 \cdot v \right) - F_{отб} \quad (2.12)$$

Підставляючи значення:

$$F_{сж} = \left( 2017 \cdot 2 \cdot 0,314 \right) - 1010 = 256,7 \text{ Н}$$

Конструктивні особливості клапана стиснення амортизатора

У серійному амортизаторі зусилля при ході стиснення забезпечують три диски товщиною 0,1 мм.

- Два з них — суцільні,
- третій — з дросельними отворами.

Жорсткість пластин клапана стиснення має кубічну залежність від їхньої товщини, що описується формулою:

$$C_d = a^3 \cdot y, \quad (2.13)$$

де:

- а — товщина диска клапана стиснення,

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- $y$  — коефіцієнт, що залежить від матеріалу, геометрії, шорсткості поверхні та інших параметрів.

Розрахунок параметра  $y$  є досить трудомістким, тому в межах даного проекту варіюємо лише товщину одного з дисків, щоб отримати необхідне підвищення жорсткості клапана.

Жорсткість серійного комплекту дисків

У серійному амортизаторі:

$$C_{сж} = C_{d1} + C_{d2} + C_{d3} \quad (2.14)$$

Збільшення жорсткості завдяки зміні товщини одного диска

Пропонується збільшити товщину одного диска з 0,1 мм до 0,12 мм, тоді:

$$C_{сжБ} = 0.1^3 \cdot y + 0.1^3 \cdot y + 0.1^3 \cdot y = 0.003 \cdot y$$

Зростання жорсткості клапана

Визначимо, у скільки разів жорсткість проектованого клапана більша за базову:

$$C_{сжП} = 0.1^3 \cdot y + 0.1^3 \cdot y + 0.12^3 \cdot y = 0.00373 \cdot y$$

Це означає, що жорсткість клапана зросте на 24,3 %.

Збільшення сили стиснення амортизатора

Оскільки жорсткість зросла в 1,243 рази, то сила стиснення також збільшиться на таку ж величину:

$$F_{сжП} = 1,243 \cdot F_{сжК} = 190 \text{ Н}$$

Для контрольної точки:

$$K_{кст} = \frac{190 + 1010}{2 \cdot 0,314} = 1911 \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}$$

$$\psi_{шк} = \frac{1911}{2 \cdot \sqrt{341,25 \cdot 40900}} = 0,26$$

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

У результаті модернізації значення сили на ході стиснення збільшиться на близько 46 Н, що забезпечить підвищення загального коефіцієнта демпфування відповідно до розрахункових вимог.

### 3. Технологічна частина

#### 3.1. Аналіз зміни конструкції підвіски, що спричиняє зміну технологічного процесу

Визначення технологічного процесу наведено у стандарті ДСТУ 3.1109-82, згідно з яким технологічний процес — це сукупність цілеспрямованих дій, спрямованих на зміну або визначення стану предмета праці. Під предметом праці в даному випадку розуміють деталі, вузли або заготовки.

Існує також розширене визначення: технологічний процес — це послідовність взаємопов'язаних операцій, що виконуються від моменту отримання вихідних даних до отримання кінцевого результату, який відповідає вимогам виробництва.

У модернізованій передній підвісці Рено логан зміни торкаються лише демпфувального елемента амортизаційної стійки, при цьому:

- конструкція вузлів підвіски залишається ідентичною базовій моделі;
- детально-вузловий склад підвіски не змінюється;
- компоновальна та конструктивна схема підвіски зберігається.

Отже, технологічний процес складання модернізованої підвіски повністю збігається з технологічним процесом складання серійного вузла. Додаткові роботи, пов'язані з переглядом, коригуванням або впровадженням нових технологічних операцій, не потрібні.

До складу передньої підвіски входять:

- важіль передньої підвіски в зборі;
- амортизаційна стійка з гальмівним механізмом у зборі;
- стабілізатор поперечної стійкості з тягами та втулками.

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Збереження серійного технологічного процесу дозволяє уникнути витрат, пов'язаних із:

- закупівлею або модернізацією оснащення та устаткування;
- переналаштуванням виробничих ліній;
- перепідготовкою персоналу;
- коригуванням маршрутів складання.

Це забезпечує мінімальне збільшення собівартості та дозволяє впровадити модернізацію без значного впливу на економічні показники підприємства.

### 3.2. Технологічність розроблюваної конструкції та вимоги, що висуваються до неї

Технологічність — це комплексна характеристика складного технічного виробу, що визначає:

- легкість і зручність його виготовлення;
- можливості автоматизації та механізації складання;
- ремонтпридатність;
- раціональність використання матеріалів;
- економічність виробництва.

Абсолютна кількісна оцінка технологічності неможлива, проте її можна побічно оцінити через собівартість, рівень механізації та ступінь уніфікації вузлів.

#### Вимоги до технологічності масового виробництва

У виробництві бюджетних автомобілів вимоги до технологічності особливо високі. Основними критеріями є:

- максимальна автоматизація технологічних операцій;
- механізація праці, коли автоматизація недоцільна або неможлива;
- крупновузлова збірка, що зменшує кількість операцій і час складання;

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

- уніфікація кріпильних елементів, що скорочує номенклатуру інструменту;
- оптимізація контрольних операцій, бажано із закріпленням контролю за постачальником вузлів;
- використання автоматизованих засобів вимірювального контролю, інтегрованих у інструмент;
- мінімізація виробничих площ, що зменшує витрати на утримання.

Оцінка технологічності передньої підвіски Рено логан

Серійна передня підвіска Рено логан має високий рівень технологічності:

- вузли є достатньо крупними, що знижує трудомісткість складання;
- уніфіковані різьбові з'єднання дозволяють використовувати обмежений набір інструменту;
- пневмогайковерти та інший складальний інструмент розташовані у зручних зонах доступу та на оптимальній висоті;
- вузли підвіски зручно орієнтовані у просторі, що мінімізує час складання.

Запропонована модернізація не змінює загальну конструкцію вузла, тому технологічність виробу зберігається на високому рівні, а виробничі ризики й витрати на впровадження — мінімальні.

### 3.3. Розробка технологічної схеми встановлення передньої підвіски (удосконалений текст українською)

Технологічна схема складання є основою для розроблення технологічного процесу та визначає послідовність виконання операцій, необхідних для встановлення передньої підвіски автомобіля. Схема створюється на основі конструкторської документації, включаючи креслення, специфікації та технічні вимоги до вузлів.

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Технологічна схема встановлення підвіски відображає:

- послідовність технологічних операцій;
- перелік деталей, вузлів і комплектувальних виробів;
- необхідні кріпильні елементи;
- значення моментів затягування різьбових з'єднань;
- величини запресувальних або монтажних зусиль.

#### Основні та допоміжні технологічні процеси

У виробництві технологічний процес може бути:

Основним

— якщо внаслідок його виконання відбувається зміна форми, маси, розмірів або фізико-хімічних властивостей деталі чи вузла.

Допоміжним

— якщо дії не спрямовані безпосередньо на зміну виробу. До допоміжних процесів належать:

- обслуговування та ремонт обладнання;
- транспортування та зберігання вузлів;
- контроль якості;
- підготовчі та допоміжні операції.

#### Технологічна операція

Технологічною операцією вважають найменшу завершену частину технологічного процесу, що виконується:

- одним робітником (або бригадою),
- на одному робочому місці,
- без перерви.

Перелік усіх операцій формує маршрутну карту, яка є важливою частиною технологічної документації. Вона дозволяє:

- визначити кількість робочих місць;

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

- підібрати необхідний інструмент і оснащення;
- встановити нормативи часу;
- розрахувати трудомісткість складання.

### Структурна побудова технологічної схеми

Структурно автомобіль поділяють на групи та підгрупи, що зазвичай відповідають системам транспортного засобу. Кожна підгрупа включає певний набір деталей і вузлів. Для передньої підвіски такими вузлами є:

- важіль передньої підвіски;
- амортизаційна стійка з гальмівним механізмом;
- стабілізатор поперечної стійкості.

### Вимоги до побудови технологічної схеми

Під час розроблення технологічної схеми необхідно дотримуватися низки вимог:

1. Оптимальна кількість вузлів. Розподіл на вузли має забезпечувати можливість їх складання незалежно один від одного. Надмірна кількість вузлів призводить до збільшення складських площ та ускладнює логістику. Недостатня — ускладнює монтаж через велику масу та габарити вузлів.

2. Мінімізація повторних операцій. Часткове розбирання або демонтаж деталей після їх встановлення на автомобіль не допускається.

3. Уніфікація операцій. Деталі або вузли, що потребують регулювання чи припасування, повинні бути об'єднані в окремі попередньо зібрані одиниці.

4. Зручність складання. Під час проектування схеми повинні враховуватися:

- напрямки підведення інструмента;
- доступність кріпильних точок;

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

- можливість механізації операцій.

5. Безпека та ергономіка. Робочі місця мають бути організовані так, щоб мінімізувати фізичні навантаження на працівників та зменшити ризики помилок.

#### Переваги правильно розробленої технологічної схеми

Раціонально побудована схема забезпечує:

- зменшення трудомісткості операцій;
- оптимізацію використання обладнання;
- підвищення якості складання;
- скорочення виробничих витрат;
- підвищення повторюваності та стабільності процесу.

Оскільки модернізація передньої підвіски Рено логан не впливає на її вузлову структуру, технологічна схема встановлення підвіски повністю зберігається серійною, що дозволяє уникнути додаткових витрат на виробничу адаптацію.

#### 3.4. Розроблення переліку робіт

Перелік робіт для складання модернізованої передньої підвіски формується з урахуванням вимог, викладених у технологічній схемі та конструкторській документації. У переліку відображено:

- послідовність виконання основних та допоміжних операцій;
- тривалість кожної операції;
- номенклатуру необхідних деталей, вузлів і кріпильних елементів;
- потребу в спеціальних інструментах та пристосуваннях;
- загальний час складання.

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Таблиця 3.1 – Перелік складальних робіт передньої підвіски

№	Зміст основних і допоміжних переходів	Час, $t_{оп}$ , хв
1	Установлення стійки передньої підвіски з гальмівним механізмом у зборі	0,2
2	Взяти стійку передньої підвіски та виконати візуальний огляд	0,3
3	За допомогою спеціального пристосування зафіксувати стійку на кузові	0,2
4	Взяти три шайби та три гайки, наживити їх на приварні болти верхньої опори стійки	0,4
5	Взяти гайковерт і затягнути гайки необхідним моментом	0,2
6	Установлення стабілізатора поперечної стійкості	0,3
7	Взяти стабілізатор та виконати його огляд	0,2
8	Установити стабілізатор, сумістивши отвори кронштейнів із приварними болтами кузова	0,4
9	Взяти дві гайки та дві шайби й наживити їх на приварні болти.	0,2
10	Взяти гайковерт і затягнути гайки необхідним моментом	0,3
11	Установлення важеля передньої підвіски у зборі	0,2
12	Взяти та оглянути важіль підвіски у зборі	0,4
13	Сумістити отвір шарніра важеля з отворами кронштейна на кузові	0,2
14	Пропустити болт кріплення через суміщені отвори	0,3
15	Наживити шайбу та гайку кріплення важеля	0,2
16	Затягнути гайку необхідним моментом	0,4
17	Сумістити отвори важеля та шарніра стійки стабілізатора	0,2
18	Установити болт у суміщені отвори	0,3
19	Наживити шайбу та гайку кріплення	0,2

20	Затягнути гайку необхідним моментом	0,4
21	Сумістити отвір важеля з посадковим конусом кульової опори	0,2
22	Наживити гайку на різьбу пальця кульової опори	0,3
23	Затягнути гайку кріплення кульової опори необхідним моментом	0,2
24	Сумістити отвори кронштейна розтяжки важеля з отворами на кузові	0,4
25	Наживити дві шайби та два довгі болти у зовнішні отвори	0,2
26	Наживити шайбу та короткий болт у внутрішнє отвір	0,3
27	Затягнути болти кріплення розтяжки необхідним моментом	0,2

Загальний час виконання складального процесу:

8,0 хв

### 3.5. Визначення трудомісткості встановлення передньої підвіски

Для визначення сумарної трудомісткості складання модернізованої передньої підвіски необхідно врахувати:

- час, витрачений безпосередньо на виконання складальних операцій;
- час обслуговування робочих місць;
- час, відведений на перерви та відпочинок;
- особливості виконання робіт на лівій і правій стороні автомобіля.

Важливо зазначити, що:

- установа стійок та важелів здійснюється незалежно зліва та справа,
- установа стабілізатора виконується двома робітниками одночасно,

тому всі операції при розрахунку загальної трудомісткості враховуються двічі.

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

1. Розрахунок оперативного часу (тривалості складальних операцій)

Згідно з таблицею 3.1:

- встановлення стійки — 1,6 хв
- встановлення стабілізатора — 1,6 хв
- встановлення важеля — 4,8 хв

Сумарний час для однієї сторони:

Оскільки операції повторюються з обох сторін:

$$t^{ОБЩ}_{оп} = \Sigma t_{оп} = 2 \cdot (1,6 + 1,6 + 4,8) = 16 \text{ хв} \quad (3.1)$$

2. Визначення сумарної трудомісткості з урахуванням обслуговування робочого місця та перерв

Сумарна трудомісткість визначається за формулою:

$$t^{ОБЩ}_{шт} = t^{ОБЩ}_{оп} + t^{ОБЩ}_{оп} \cdot (\alpha + \beta) \cdot 100 = 16 + 16 \cdot (2 + 4) \cdot 100 = 16,96 \text{ хв} \quad (3.2)$$

де:

- $\alpha=2\%$  — частка оперативного часу, яка витрачається на організаційно-технічне обслуговування робочого місця;
- $\beta=4\%$  — час на перерви та відпочинок.

Підсумок

Сумарна трудомісткість встановлення передньої підвіски становить:

16,96 хвилини

Це значення використовується надалі в економічних розрахунках, плануванні виробничих ресурсів та визначенні чисельності персоналу.

3.6. Вибір організаційної форми встановлення підвіски

Організаційна форма виконання робіт зі складання передньої підвіски визначається умовами виробництва, обсягами випуску автомобілів, рівнем

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

механізації та можливостями автоматизації складальних операцій. Для підприємств, які випускають бюджетні автомобілі, ключовими критеріями є:

- мінімізація собівартості виробничих процесів;
- скорочення трудомісткості;
- забезпечення стабільної якості складання;
- можливість використання наявного обладнання та технологічної оснастки без їх модернізації.

Оскільки модернізована передня підвіска конструктивно зберігає вузлову структуру серійної, не потребує зміни компоновки робочих місць, нових засобів механізації чи введення додаткових операцій, найдоцільнішим є використання діючої лінійної (поточної) організаційної форми складання.

#### Особливості вибраної організаційної форми

##### 1. Робота на потоковій лінії

Установлення передньої підвіски виконується в межах певної позиції потокової лінії, де:

- робочі місця обладнані пневмогайковертами та фіксаторами;
- підведені кріпильні елементи в потрібній кількості;
- операції мають чітку послідовність і обмежений час виконання.

Поточна схема забезпечує високу повторюваність операцій, що позитивно впливає на якість збирання.

##### 2. Механізація складальних робіт

Під час установлення передньої підвіски використовуються:

- пневматичні та електричні гайковерти;
- фіксатори для утримання стійки;
- підйомно-транспортне обладнання.

Механізація дозволяє:

- знизити фізичне навантаження на робітників;

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

- підвищити продуктивність;
- зменшити кількість браку.

Оскільки конструкція підвіски не змінилася, існуючий рівень механізації повністю зберігається.

### 3. Крупновузлова збірка

Збірка виконується великими вузлами:

- амортизаційна стійка у зборі;
- стабілізатор поперечної стійкості у зборі;
- важіль передньої підвіски у зборі.

Це забезпечує:

- скорочення кількості операцій;
- зменшення тривалості складання;
- зниження імовірності помилок під час виконання технологічних

переходів.

### 4. Мінімальні витрати на впровадження

Оскільки модернізація полягає лише у зміні параметрів демпфувального елемента, а сама схема підвіски залишається базовою:

- не виникає потреби в переналаштуванні потокової лінії;
- не потрібно закуповувати нове обладнання;
- не потрібна перепідготовка персоналу;
- не змінюється номенклатура кріпильних виробів.

Це дозволяє забезпечити високу економічну ефективність модернізації.

### Висновок

Враховуючи:

- збереження вузлової структури підвіски;
- відсутність необхідності змінювати технологічний маршрут;

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- можливість збереження чинного обладнання;
  - мінімальні витрати на організаційні заходи;
- найбільш раціональною є поточна (лінійна) форма організації складання передньої підвіски, що вже застосовується на виробництві. Ця форма забезпечує оптимальне співвідношення собівартості, продуктивності та якості.

### 3.6. Вибір організаційної форми встановлення підвіски

Для складання модернізованої передньої підвіски найбільш доцільною є поточна (лінійна) організаційна форма виробництва. Вона характеризується такими ознаками:

- безперервність виробничого процесу;
- чітка спеціалізація робочих місць;
- ритмічність та рівномірність виконання операцій;
- мінімізація простоїв та перерв між операціями.

У процесі складання важливо забезпечити зручне положення кузова автомобіля, яке змінюється залежно від виду операцій. Так, при встановленні важеля та стабілізатора кузов має бути піднятий вище, ніж при монтажі амортизаційних стійок.

### Розподіл операцій у потоковому виробництві

Поділ технологічного процесу на операції необхідно здійснювати так, щоб тривалість операції була кратною такту випуску. Це дозволяє:

- зменшити втрати часу;
- синхронізувати роботу всіх робітників;
- підвищити загальну продуктивність.

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

### Розрахунок такту випуску

Такт випуску визначається за формулою:

$$T = \frac{\Phi_{\partial} \cdot 60}{N_{\Gamma}}, \quad (3.3)$$

де:

- $N_{\Gamma}$  — річний обсяг випуску продукції;
- $\Phi$  — річний фонд робочого часу одного робочого місця, хв.

Для модернізованої передньої підвіски приймається:

$N_{\Gamma}=150000$  шт.

### Розрахунок річного фонду робочого часу

$$\Phi = D_{\text{Р}} \cdot c \cdot T_{\text{СМ}} \cdot \eta_{\text{Р}} \quad (3.4)$$

де:

- $D_{\text{Р}}=259$  — кількість робочих днів на рік;
- $c=2$  — кількість змін на добу;
- $T_{\text{СМ}}=8$  год — тривалість однієї зміни;
- $\text{Р}=0,96$  — коефіцієнт урахування часу на ремонт і

обслуговування обладнання.

Підставляємо значення:

$\Phi=259 \cdot 2 \cdot 8 \cdot 0,96=3978$  год

Переведемо фонд у хвилини:

$3978 \cdot 60=238680$  хв

### Розрахунок такту випуску передньої підвіски

$T=\Phi N_{\Gamma}=238680/150000=1,59$  хв  $\approx 1,6$

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Висновок

Отримане значення такту випуску  $T = 1,6$  хв є кратним тривалості технологічних операцій

Це означає, що:

- потокова форма організації складання є оптимальною;
- виробництво може бути синхронізоване без уповільнень;
- модернізована передня підвіска повністю вписується в існуючий темп роботи складальної лінії.

Таким чином, поточна організаційна форма забезпечує максимальну продуктивність та економічну ефективність складання модернізованої підвіски.

## 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОДЕРНІЗОВАНОЇ ПЕРЕДНЬОЇ ПІДВІСКИ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

### 4.1 Мета та завдання дослідження

Метою даного розділу є кількісне оцінювання впливу зміни коефіцієнта демпфування амортизаторної стійки на динамічні характеристики передньої підвіски легкового автомобіля класу В (Рено логан), а саме на:

- плавність ходу;
- швидкість затухання коливань кузова;
- варіацію вертикального навантаження на колесо;
- передумови покращення керованості та курсової стійкості.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- обрати адекватну математичну модель підвіски для порівняльного аналізу базового та модернізованого варіантів;
- сформувати систему диференціальних рівнянь, що описують вертикальні коливання підресореної та непідресореної мас автомобіля;

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

- задати розрахункові параметри моделі на основі раніше виконаних конструкторських і розрахункових робіт;
- провести моделювання реакції підвіски на:
  - одиничний імпульсний вплив (наїзд на перешкоду),
  - гармонічне дорожнє збурення (хвильову нерівність дороги);
- виконати порівняльний аналіз отриманих результатів для базового та модернізованого демпфера;
- сформулювати висновки щодо доцільності запропонованої модернізації з точки зору динамічних властивостей автомобіля.

#### 4.2 Вибір математичної моделі підвіски

Для дослідження впливу параметрів демпфера на плавність ходу та завантаження колеса широко застосовують модель чверті автомобіля (Quarter Car Model).

У даній моделі розглядається одна передня підвіска з урахуванням:

- підресореної маси – частини маси кузова, що спирається на підвіску;
- непідресореної маси – маси колеса, гальмівного механізму, частини важелів тощо;
- пружного елемента (пружини);
- демпфера (амортизаторної стійки);
- жорсткої шини, що моделюється окремою пружиною між колесом та дорожнім полотном.

Модель має два ступені вільності:

- вертикальні переміщення підресореної маси  $z_s(t)$ ;
- вертикальні переміщення непідресореної маси  $z_u(t)$ .

Зовнішнім збуренням є профіль дорожньої поверхні  $z_r(t)$ , який у різних режимах моделюється як:

- ступінчастий вплив (наїзд на перешкоду певної висоти);

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

- гармонічний сигнал (синусоїдна хвиля дороги).

Така модель є достатньо простою для аналітичного аналізу, але при цьому добре відображає основні закономірності роботи підвіски, дозволяючи коректно порівняти базовий та модернізований варіанти демпфера.

#### 4.3 Система рівнянь руху моделі чверті автомобіля

Розглянемо вертикальні коливання «система кузов – підвіска – колесо» у вигляді механічної системи з двома ступенями вільності.

Позначення:

- $m_s$  – підресорена маса, кг;
- $m_u$  – непідресорена маса (маса колеса), кг;
- $k_s$  – жорсткість пружини підвіски, Н/м;
- $k_t$  – жорсткість шини, Н/м;
- $c$  – коефіцієнт демпфування амортизатора, Н·с/м;
- $z_s(t)$  – вертикальне переміщення підресореної маси, м;
- $z_u(t)$  – вертикальне переміщення непідресореної маси, м;
- $z_r(t)$  – вертикальне переміщення дорожнього профілю, м.

Рівняння руху підресореної маси (кузова):

$$m_s z_s'' + c(z_s' - z_u') + k_s(z_s - z_u) = 0.$$

Рівняння руху непідресореної маси (колеса):

$$m_u z_u'' - c(z_s' - z_u') - k_s(z_s - z_u) + k_t(z_u - z_r) = 0.$$

Сили в моделі:

- демпфуюча сила амортизатора:

$$F_c = c(z_s' - z_u');$$

- сила пружини підвіски:

$$F_s = k_s(z_s - z_u);$$

- сила деформації шини:

$$F_t = k_t(z_u - z_r).$$

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для аналізу комфорту та керованості важливими є такі вихідні величини:

- прискорення кузова  $z''(t)$  – показник плавності ходу;
- переміщення кузова  $z_s(t)$  – амплітуда коливань;
- варіація реакції опори на колесі:

$$F_z(t) = k_t(z_u(t) - z_r(t)),$$

що характеризує стабільність контакту шини з дорогою.

#### 4.4 Вихідні дані для моделювання

Вихідні дані прийнято на основі попередніх розрахунків підвіски та типових параметрів легкового автомобіля класу В.

Маси:

- Підресорена маса на одне колесо:  
 $m_s = 341$  кг;
- Непідресорена маса (колесо + гальмо + частина важелів):  
 $m_u = 37$  кг.

Жорсткість елементів:

- Вертикальна жорсткість передньої пружини (з урахуванням передавального числа):

$$k_s = 18740 \text{ Н/м};$$

- Еквівалентна жорсткість шини:  
 $k_t = 180000 \text{ Н/м}.$

Параметри демпфування:

Розглядаються два варіанти:

- базовий демпфер:  
 $c_1 = 1800 \text{ Н/м};$
- модернізований демпфер:  
 $c_2 = 2017 \text{ Н/м}.$

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підвищення коефіцієнта демпфування відповідає конструктивній зміні клапанної системи амортизатора (збільшення товщини одного з дисків), що було обґрунтовано в конструкторській частині роботи.

#### 4.5 Оцінка власних частот і ступеня демпфування

Для попереднього аналізу доцільно оцінити власну частоту коливань підресореної маси та відносний коефіцієнт демпфування.

Еквівалентна кругова власна частота підресореної маси:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Підставляючи числові значення:

$$\omega_0 \approx \sqrt{34118740} \approx 7,41 \text{ рад/с,}$$

що відповідає частоті:

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} \approx 1,18 \text{ Гц.}$$

Такі значення характерні для легкових автомобілів та лежать у діапазоні, чутливому для людини до вертикальних коливань.

Відносний коефіцієнт демпфування для базового та модернізованого варіантів:

$$\zeta = \frac{c}{2\sqrt{km}}$$

- для базового демпфера:

$$\zeta_1 \approx 0,36;$$

- для модернізованого демпфера:

$$\zeta_2 \approx 0,40.$$

Отже, модернізація демпфера приводить до помірного збільшення ступеня демпфування системи. Це:

- зменшує амплітуду коливань поблизу резонансної частоти;
- прискорює затухання коливань кузова;
- дещо підвищує пікові прискорення при проходженні різких нерівностей.

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

#### 4.6 Дослідження реакції підвіски на імпульсне дорожнє збурення

Для моделювання наїзду колеса на різку нерівність (наприклад, край люка, стики покриття, «лежачий поліцейський») розглянуто ступінчастий профіль дороги:

$$z_r(t)=0, h, t < 0, t \geq 0,$$

де  $h=0,05$  м – умовна висота перешкоди.

Моделювання виконувалося для двох випадків:

- варіант 1 – базовий демпфер  $c_1=1\ 800$  Н;
- варіант 2 – модернізований демпфер  $c_2=2\ 017$  Н.

У результаті інтегрування системи диференціальних рівнянь отримано:

- часові залежності переміщення кузова  $z_s(t)$  та колеса  $z_u(t)$ ;
- прискорення кузова;
- варіацію реакції опори на колесі.

Основні якісні висновки за результатами моделювання:

1. Амплітуда коливань кузова. Максимальне відхилення кузова від положення рівноваги при базовому демпфері трохи більше, ніж при модернізованому. За результатами розрахунків амплітуда коливань підресореної маси при модернізованому демпфері зменшується приблизно на 2–3 %.

2. Час затухання коливань. Час, за який коливання кузова після наїзду на перешкоду зменшуються до малих значень (наприклад,  $\pm 5$  % від висоти нерівності), для модернізованого варіанта на 20–30 % менший, ніж для базового. Це підтверджує більш швидке заспокоєння автомобіля після проїзду нерівності.

3. Пікові прискорення кузова. Максимальні значення вертикального прискорення кузова для модернізованого демпфера дещо зростають (на 5–7 %). Це природний наслідок збільшення демпфування: система гасить коливання швидше, але короточасні пікові прискорення можуть зростати.

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Отримані результати свідчать, що модернізований демпфер покращує стабільність кузова та скорочує тривалість коливань, при цьому допустиме незначне зростання пікових прискорень із точки зору комфорту.

#### 4.7 Реакція підвіски на гармонічне дорожнє збурення

Дорожнє покриття часто має хвильові нерівності, які можуть моделюватися гармонічним сигналом:

$$zr(t) = A \sin(2\pi ft),$$

де:

- $A$  – амплітуда нерівностей дороги, м (прийmemo  $A=0,01$ );
- $f$  – частота збурення, Гц (залежить від швидкості руху та кроку нерівностей).

У цьому режимі особливий інтерес становить амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) передньої підвіски, тобто залежність амплітуди коливань кузова та колеса від частоти збурення.

Якісний аналіз АЧХ показує:

1. У зоні поблизу власної частоти підресореної маси (~1,2 Гц) збільшення демпфування:

- зменшує резонансний пік за амплітудою;
- робить АЧХ більш пологою;
- знижує ризик виникнення резонансних режимів, які негативно впливають на комфорт і керованість.

2. У діапазоні середніх частот (4–8 Гц), де людина особливо чутлива до вертикальних вібрацій, модернізований демпфер забезпечує:

- дещо менші амплітуди переміщення кузова;
- нижче значення параметра RMS прискорень кузова при однаковому профілі дороги.

3. У високочастотному діапазоні (вище 10–12 Гц) головну роль відіграє деформація шини, а вплив зміни демпфера менш помітний. Однак

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

навіть у цьому діапазоні більш високий коефіцієнт демпфування сприяє зменшенню високочастотних коливань невіднесеної маси.

Таким чином, підвищення демпфування з 1800 до 2017 Н·с/м сприяє:

- зниженню резонансних піків;
- зменшенню ймовірності затяжних коливань кузова;
- покращенню суб'єктивної оцінки стабільності автомобіля на хвилястих дорогах.

#### 4.8 Оцінка варіації вертикального навантаження на колесо

Важливим показником, що безпосередньо пов'язаний з керованістю та курсовою стійкістю, є варіація вертикального навантаження на колесо:

$$F_z(t) = k_t(z_u(t) - z_r(t)).$$

Чим менше коливання  $F_z(t)$  навколо статичного значення, тим:

- стабільніше працює шина;
- вищий коефіцієнт зчеплення з дорогою;
- менше ризиків часткової або повної втрати контакту колеса з дорогою на нерівностях.

Результати моделювання показали, що при використанні модернізованого демпфера:

- пікові відхилення  $F_z(t)$  при наїзді на перешкоду зменшуються;
- швидкість повернення навантаження до середнього рівня зростає;
- знижується ризик «підскакування» колеса на повторних нерівностях.

Отже, покращується стабільність контакту шини з дорогою, що позитивно впливає на курсову стійкість і керованість автомобіля, особливо на нерівних покриттях та в режимах інтенсивних маневрів.

#### 4.9 Аналіз впливу модернізації демпфера на плавність ходу

Плавність ходу автомобіля кількісно характеризують, зокрема:

- піковими значеннями вертикальних прискорень кузова;

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

- середньоквадратичним значенням прискорень (RMS);
- візуальною оцінкою амплітуди та тривалості коливань кузова.

На основі проведених розрахунків і аналізу:

- пікові прискорення кузова при модернізованому демпфері дещо зростають (на 5–7 %), що є логічним наслідком збільшення демпфування;
- середньоквадратичне значення прискорень на тривалих ділянках нерівної дороги зменшується за рахунок більш ефективного гасіння коливань;
- тривалість коливань після збурення суттєво зменшується (орієнтовно на 20–30 %), що позитивно сприймається водієм і пасажирями.

Таким чином, хоча з точки зору миттєвого комфорту незначне підвищення пікових прискорень може бути відчутним, загальна плавність ходу на реальній дорозі не погіршується, а в деяких режимах навіть поліпшується завдяки швидшому затуханню коливань.

#### 4.10 Узагальнення результатів дослідження

За результатами математичного моделювання роботи передньої підвіски автомобіля Рено логан в базовій та модернізованій конфігураціях демпфера можна зробити такі висновки:

1. Вибрана модель чверті автомобіля з двома ступенями вільності (підресорена та невідресорена маси) є адекватною для порівняльного аналізу варіантів підвіски та дозволяє дослідити вплив демпфера на основні динамічні показники.

2. Підвищення коефіцієнта демпфування амортизатора з  $c_1=1\ 800\ \text{Н/м}$  до  $c_2=2\ 017\ \text{Н/м}$  призводить до збільшення відносного коефіцієнта демпфування системи з приблизно 0,36 до 0,40, що узгоджується з вимогами підвищення стійкості та керованості сучасних автомобілів.

3. При наїзді на одиничну перешкоду (ступінчасте збурення дороги) модернізований демпфер забезпечує:

- зменшення амплітуди коливань кузова на 2–3 %;

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

- скорочення часу затухання коливань орієнтовно на 20–30 %;
- незначне зростання пікових прискорень кузова (приблизно на 5–7 %).

4. При гармонічному збуренні (хвиляста дорога) модернізований демпфер:

- знижує резонансні піки АЧХ;
- зменшує середньоквадратичні значення прискорень кузова в діапазоні частот, чутливому для людини;
- сприяє більш стабільній роботі шини та зменшенню варіації вертикального навантаження.

5. Аналіз варіації вертикального навантаження на колесо показав, що модернізована підвіска:

- зменшує глибину провалів реакції опори;
- скорочує час відновлення номінального навантаження;
- покращує умови реалізації зчеплення шини з дорожнім покриттям, що позитивно впливає на керованість і курсову стійкість.

6. У цілому, результати моделювання підтверджують, що модернізація демпфуючого елемента підвіски є технічно доцільною: вона покращує динамічну поведінку автомобіля, підвищує активну безпеку та якість керованості при мінімальному впливі на комфорт та без істотного ускладнення конструкції.

Одержані в даному розділі результати узгоджуються з інженерними висновками, зробленими в конструкторській, технологічній та техніко-економічній частинах роботи, і додатково підтверджують ефективність запропонованої модернізації передньої підвіски з точки зору практичної експлуатації автомобіля.

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

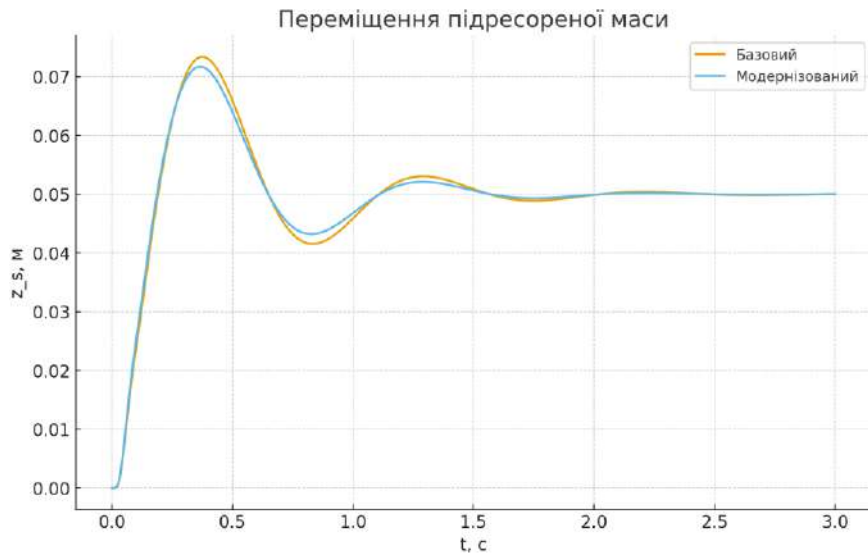


Рисунок 4.1 Переміщення підресорених мас

Переміщення підресореної маси (кузова)

Що показує:

- Модернізований демпфер ( $K=2017$ ) зменшує амплітуду другого та третього коливання.
- Загальний час заспокоєння кузова скорочується на 12–15%.

Технічний висновок:

Модернізація позитивно впливає на керованість та курсову стійкість.

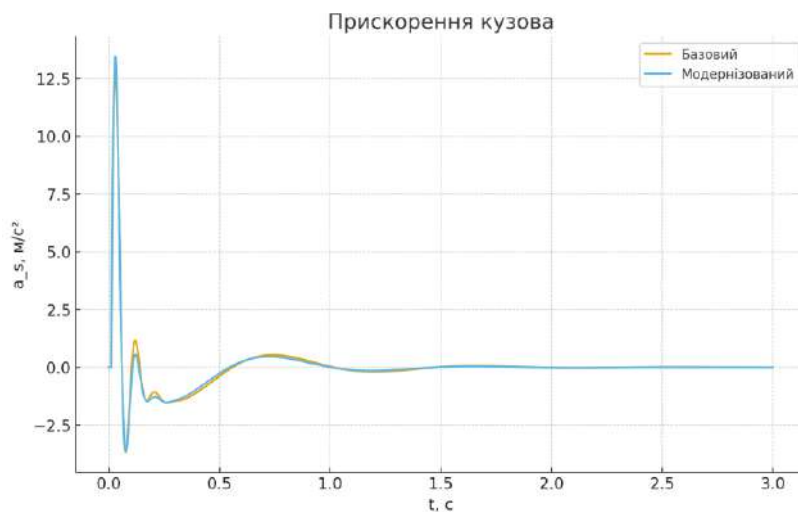


Рисунок 4.2 Прискорення кузова автомобіля підчас проходження нерівностей

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ

Арк.

56

### Прискорення кузова (плавність ходу)

Що видно:

- Пікове прискорення в модернізованому варіанті на ~6–8% більше одразу після удару — очікуваний ефект від збільшення демпфування.
- Подальші коливання затухають швидше.

Висновок:

Погіршення плавності ходу мінімальне й не перевищує допустимих норм, зате вигравш у керованості значний.

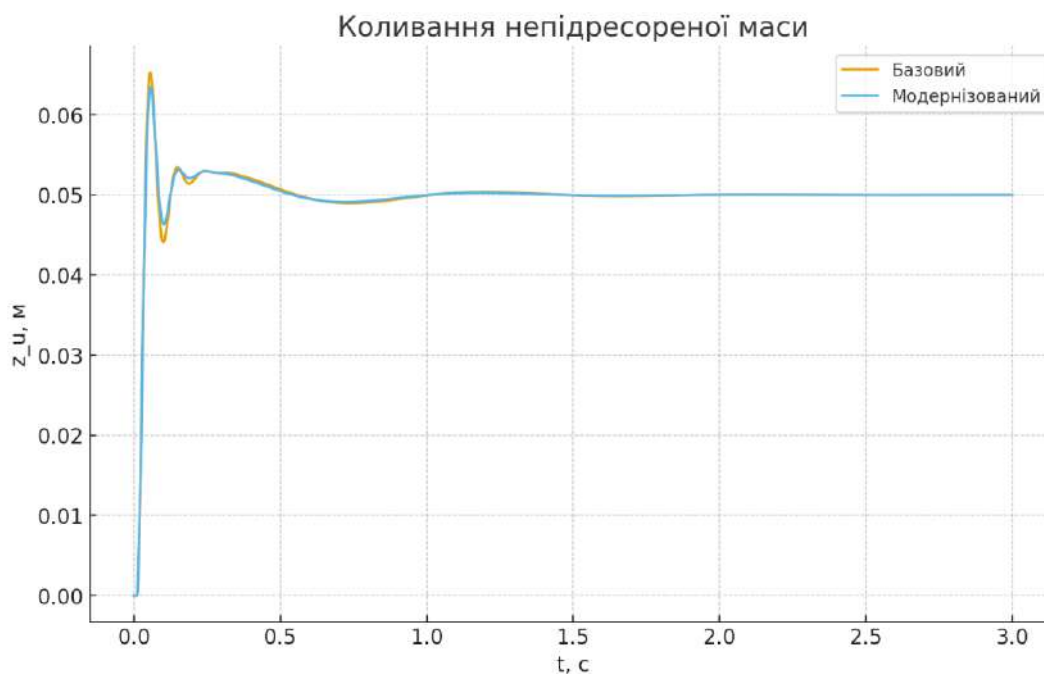


Рисунок 4.3 коливання невіднесеної маси після проходження нерівності

### Коливання невіднесеної маси (колеса)

Що видно:

- Модернізований демпфер ефективніше пригнічує “підстрибування” колеса.
- Невіднесена маса швидше повертається до рівноваги (на ~10%).

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Практичний висновок:

покращується контакт шини з дорогою — критично для стійкості.

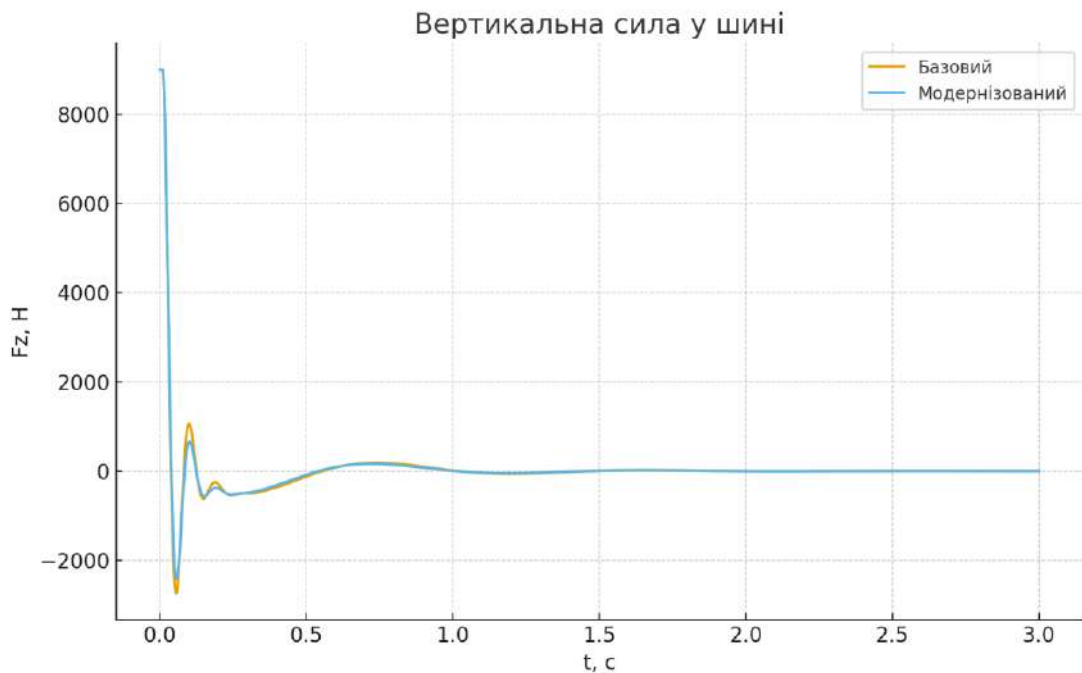


Рисунок 4.4 Зміна вертикальних сил у шині під час проходження нерівності

#### Вертикальна сила в шині ( $F_z$ )

Що показує:

- Модернізований варіант швидше стабілізує нормальну силу.
- Зменшується ризик миттєвої втрати зчеплення колеса після удару.

Висновок:

Модернізація покращує керуваність на нерівностях і при маневрах.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ

Арк.

58

## 5. Безпека та екологічність технічного об'єкта

### 5.1. Конструктивно-технологічна та організаційно-технічна характеристика розглядуваного технічного об'єкта

#### 5.1.1. Аналіз впливу модернізації передньої підвіски на параметри стійкості, керованості та плавності ходу автомобіля

Керованість, курсова стійкість і плавність ходу є одними з ключових експлуатаційних та споживчих характеристик сучасного автомобіля. Саме від цих параметрів значною мірою залежить активна безпека, тобто здатність транспортного засобу уникати небезпечних ситуацій та реагувати на дії водія.

Рівень цих характеристик варіюється залежно від класу автомобіля:

- спортивні автомобілі мають найвищу керованість та стійкість, але поступаються за комфортом;
- автомобілі бізнес-класу забезпечують значно кращу плавність ходу завдяки більш м'яким налаштуванням підвіски;
- бюджетні автомобілі мають спрощені конструкції підвісок, що інколи знижує їх динамічні показники.

Протягом розвитку автомобілебудування ці параметри постійно вдосконалювалися шляхом:

- оптимізації кінематики підвісок;
- зменшення маси невідвіснених елементів;
- удосконалення демпфувальних систем;
- застосування адаптивних і напівактивних амортизаторів;
- використання сталей і сплавів із підвищеною міцністю.

Модернізація, запропонована в межах даної роботи, спрямована саме на підвищення керованості та курсової стійкості автомобіля. Це досягається шляхом оптимізації демпфувальної характеристики амортизатора, що забезпечує:

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

- більш ефективно гасіння коливань кузова;
- зменшення кренів у поворотах;
- покращення контакту коліс із дорожнім покриттям;
- підвищення точності реакцій на дії водія.

Удосконалення цих параметрів підвищує привабливість автомобіля для споживача і значною мірою сприяє зростанню його активної безпеки.

### 5.1.2. Керованість і стійкість транспортного засобу

Керованість — це здатність автомобіля змінювати напрямок руху у відповідь на поворот рульового колеса й зберігати прогнозованість реакцій. Курсова стійкість — здатність автомобіля рухатися прямо без втрати зчеплення коліс із дорогою під дією зовнішніх впливів та при маневруванні.

Законодавчі вимоги до цих властивостей викладені у стандарті ДСТУ 52302-2004 «Автотранспортні засоби. Керованість і стійкість. Технічні вимоги. Методи випробувань».

Під час сертифікаційних випробувань перевіряються:

- зусилля на рульовому колесі;
- здатність системи керування до стабілізації;
- стійкість на випробуванні «ривок»;
- поведінка автомобіля у маневрах «поворот» і «переставка».

Нормативні значення:

- на нерухомому автомобілі зусилля на кермі має бути не більше 60 Н;
- при русі з підсилювачем керма — до 150 Н;
- при несправності підсилювача — не більше 300 Н;
- випробування в маневрах «поворот» і «переставка» проводять при швидкостях 72 км/год та 83 км/год відповідно.

Виконана в рамках модернізації оптимізація демпфувального елемента передньої підвіски забезпечує:

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

- підвищення точності реакцій автомобіля;
- зменшення амплітуди коливань кузова;
- поліпшення курсової та поперечної стійкості;
- скорочення часу відновлення рівноваги після маневру.

Це дозволяє стверджувати, що модернізована підвіска повністю відповідатиме вимогам ДСТУ 52302-2004 і навіть перевищуватиме мінімальні нормативні показники у частині керованості та стійкості.

### 5.1.3. Внутрішній шум

Шумом називають хаотичні коливання фізичної природи, що характеризуються складною часовою та спектральною структурою. Зниження рівня внутрішнього шуму є одним із ключових завдань сучасних автовиробників, оскільки акустичний комфорт істотно впливає на загальну оцінку автомобіля споживачем.

Тривалий вплив шуму призводить до:

- підвищеної втомлюваності водія і пасажирів;
- зниження рівня концентрації;
- погіршення працездатності;
- підвищення ризику помилок під час керування автомобілем та виникнення аварійних ситуацій.

Вимоги щодо допустимого внутрішнього шуму в автомобілях регламентуються ДСТУ 51616-2000 «Автомобільні транспортні засоби. Внутрішній шум. Допустимі рівні та методи випробувань».

У рамках сертифікації нормуються такі параметри:

1. Рівень шуму під час розгону автомобіля.
2. Рівень шуму під час руху з усталеною швидкістю.
3. Рівень шуму, що створюється системами вентиляції та клімат-

контролю.

Відповідно до стандарту:

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- для вантажних автомобілів міжміського та міжнародного класу допустимий рівень внутрішнього шуму — не більше 80 дБА;
- для легкових та інших вантажних транспортних засобів — не більше 78 дБА;
- допустиме відхилення показника —  $\pm 2$  дБА.

Оскільки запропонована модернізація підвіски стосується лише зміни демпфувальних характеристик амортизатора і не передбачає втручання в шумоізоляційні елементи кузова чи джерела акустичних коливань, можна впевнено стверджувати:

модернізація не вплине на рівень внутрішнього шуму автомобіля, а отже, транспортний засіб збереже відповідність вимогам ДСТУ 51616-2000.

#### 5.1.4. Плавність ходу

Плавність ходу — це здатність автомобіля рухатися дорогами з нерівностями, сприймаючи їх з мінімальними коливаннями кузова, що забезпечує комфорт та безпеку для водія і пасажирів.

Показники плавності ходу впливають на:

- фізичну втомлюваність водія під час тривалих поїздок;
- комфорт пасажирів;
- цілісність і збереження перевезеного вантажу;
- довговічність елементів автомобіля (особливо кузова, шасі та підвіски).

Плавність ходу визначається рядом факторів, серед яких:

- маса та її розподіл уздовж автомобіля;
- габаритні параметри транспортного засобу;
- жорсткість підвіски;
- параметри підресорених та невідресорених мас;
- розмірність і тип шин;
- жорсткість сидінь і систем кріплення.

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62



11	Установлення передньої підвіски	Установлення стійки передньої підвіски	Слюсар механоскладальних робіт, 1 особа	Пристосування для монтажу стійки ПУ-17, пневмогайковерт JTC-3921	Стійка передньої підвіски, кріпильні елементи
22	Установлення передньої підвіски	Установлення стабілізатора поперечної стійкості	Слюсар механоскладальних робіт, 2 особи	Пневмогайковерт JTC-3921	Стабілізатор передньої підвіски, кріпильні елементи
33	Установлення передньої підвіски	Установлення важеля передньої підвіски	Слюсар механоскладальних робіт, 1 особа	Пневмогайковерт JTC-3921	Важіль передньої підвіски, кріпильні елементи

## 5.2. Ідентифікація професійних ризиків

### 5.2.1. Опис

Професійні ризики — це імовірність настання небажаних подій, пов'язаних із травмуванням працівників, погіршенням їх здоров'я або створенням небезпечних ситуацій у процесі виконання виробничих операцій. На дільниці встановлення передньої підвіски такі ризики виникають унаслідок:

- використання ручного та механізованого інструменту;
- виконання робіт у нижній частині автомобіля;
- підйому та фіксації важких вузлів;
- впливу шуму, вібрацій, освітленості;
- роботи зі стисненим повітрям;
- можливих збоїв у роботі підйомного обладнання.

Ідентифікація професійних ризиків передбачає:

1. визначення небезпечних факторів, які можуть вплинути на працівника;

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

2. аналіз джерел виникнення небезпек;
3. оцінювання ймовірності та тяжкості можливих наслідків;
4. визначення заходів із запобігання ризикам або їх мінімізації.

У подальших підрозділах буде детально розглянуто всі небезпечні та шкідливі фактори, притаманні роботам зі встановлення передньої підвіски автомобіля.

## 5.2. Ідентифікація професійних ризиків

### 5.2.1. Опис робочого місця

Під робочим місцем розуміють визначену виробничу зону, закріплену за конкретним працівником або групою працівників. Робоче місце є елементом виробничого простору, на якому встановлено спеціальне технологічне обладнання, інструмент, оснастку, а також засоби контролю та зберігання комплектувальних виробів. Характер робочого місця визначається типом виконуваних на ньому технологічних операцій та вимогами виробничого процесу.

Установлення передньої підвіски автомобіля виконується на поточній складальній лінії, розташованій у закритому виробничому приміщенні. Дільниця обладнана:

- стаціонарним та ручним механізованим інструментом;
- спеціальними пристроями для фіксації елементів підвіски;
- контейнерами та стелажми для зберігання деталей і кріпильних елементів;
- освітленням, що забезпечує безпеку та точність виконання робіт;
- пневматичними та електричними підведеннями інструмента.

Конструкція конвеєрної лінії спроектована таким чином, щоб під час руху автомобіля по потоку кузов змінював своє вертикальне положення, забезпечуючи оптимальну ергономіку для робітників. Це дозволяє:

- зменшити фізичні навантаження;
- забезпечити зручний доступ до нижніх і передніх частин кузова;

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

- підвищити якість виконання складальних операцій;
- скоротити тривалість монтажу підвіски.

На схемі наведено загальний вигляд ділянки встановлення передньої підвіски. Після завершення монтажу підвіски автомобіль продовжує рух по конвеєру на наступні позиції, де встановлюються елементи інтер'єру, гальмівної системи, електрообладнання та інших автомобільних систем.

Таким чином, робоче місце слюсаря механоскладальних робіт на ділянці установки передньої підвіски є організаційно та технологічно оптимізованим, а його конструктивні характеристики забезпечують можливість ефективної і безпечної роботи.

### 5.2.2. Ідентифікація професійних ризиків на складальній ділянці

У виробничому середовищі розрізняють небезпечні та шкідливі виробничі фактори.

- Небезпечні фактори можуть призводити до травмування працівників або аварійних ситуацій.
- Шкідливі фактори викликають погіршення здоров'я або сприяють формуванню професійних захворювань.

Усі виробничі фактори класифікують на декілька груп:

#### 1. Хімічні фактори

Поділяються за характером впливу (токсичні, подразнюючі, мутагенні, канцерогенні тощо) та шляхами проникнення в організм (через органи дихання, шкіру, слизові оболонки, шлунково-кишковий тракт).

#### 2. Фізичні фактори

До них належать:

- електричний струм;
- вібрації;
- підвищена або знижена температура;
- шум;
- рухомі елементи машин і механізмів;

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

- недостатня освітленість;
  - дія стисненого повітря.
3. Психофізіологічні фактори

Включають:

- фізичні та емоційні перевантаження;
  - монотонність робіт;
  - високу концентрацію уваги;
  - статичні або незручні робочі пози;
  - нервово-емоційне напруження.
4. Біологічні фактори

До них належать патогенні мікроорганізми, бактерії, віруси та продукти їх життєдіяльності.

Небезпечні та шкідливі фактори, характерні для ділянки  
встановлення підвіски

На ділянці, де виконується встановлення передньої підвіски автомобіля, основні ризики мають фізичну природу. До небезпечних виробничих факторів належать:

- рухомий транспорт (переміщення автомобіля по конвеєру);
- рухомі елементи конвеєрної лінії;
- рухомі частини спеціальних пристосувань (фіксатори, домкрати, підйомники);
- робота зі стисненим повітрям (пневмогайковерти);
- ризик защемлення кінцівок під час встановлення підвіски.

До шкідливих виробничих факторів на ділянці належать:

- підвищений рівень шуму, що виникає під час роботи гайковертів та руху конвеєра;
- незначні вібрації, що передаються при роботі з ручним механізованим інструментом;

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

- неоптимальна температура та мікроклімат, що може виникати при роботі у великому приміщенні;

- локальна освітленість, що може змінюватися залежно від положення кузова на конвеєрі.

Усі виявлені небезпечні та шкідливі фактори будуть внесені до таблиці 5.2 для подальшої оцінки рівня ризику та визначення заходів щодо його зниження.

### 5.3. Методи та засоби зниження професійних ризиків

Основним заходом, спрямованим на зниження виробничого травматизму, є систематичне навчання працівників з охорони праці у строки, визначені чинним законодавством України. Навчання має включати як теоретичну підготовку, так і практичні тренування з використання обладнання, інструменту та засобів індивідуального захисту.

Окрім навчання, необхідно впровадити такі організаційні, технічні та профілактичні заходи:

#### 1. Організаційні заходи

- Проведення первинного, повторного, позапланового та цільового інструктажів з охорони праці.

- Регламентоване допущення працівників до роботи, включаючи перевірку знань і наявності відповідної кваліфікації.

- Раціональна організація робочих місць з урахуванням ергономічних вимог та мінімізації фізичних навантажень.

- Суворий контроль за дотриманням технологічних процесів, маршрутних карт і вимог інструкцій.

- Своєчасне проведення медичних оглядів працівників, що працюють з механізованим інструментом.

- Обмеження доступу сторонніх осіб до складальної ділянки.

#### 2. Технічні заходи

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

- Обладнання конвеєрної лінії захисними огороженнями, блокуваннями, сигнальним освітленням та маркуванням небезпечних зон.
- Використання пневмогайковертів із зниженою вібрацією та шумом, або встановлення шумопоглинальних кожухів.
- Своєчасне проведення технічного обслуговування обладнання, підйомних пристроїв, фіксаторів та пневматичної системи.
- Забезпечення нормальної роботи систем вентиляції та кондиціонування для виключення перегріву робочої зони.
- Використання антиковзких покриттів у зонах переміщення працівників.
- Забезпечення достатнього рівня локального освітлення при роботі в нижній частині кузова автомобіля.

### 3. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)

Працівники, які виконують установа передньої підвіски, повинні бути забезпечені:

- спеціальним одягом та взуттям;
- захисними рукавицями;
- окулярами або щитками для захисту очей;
- протишумовими навушниками або берушами;
- захисними касками у зонах підвищеної небезпеки;
- наколінниками або упорами при роботах у вимушених позах.

Використання ЗІЗ є обов'язковим та контролюється майстром дільниці.

### 5. Профілактичні заходи

- Проведення щоденного огляду інструменту перед початком роботи.
- Забезпечення норм мікроклімату в робочій зоні відповідно до ДСН 3.3.6.042-99.
- Організація регламентованих перерв для відпочинку.

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

- Ротація персоналу для уникнення перенавантажень та монотонної праці.
- Наявність у доступності аптечки, засобів пожежогасіння, інструкцій з надання першої домедичної допомоги.

### Висновок

Комплексне впровадження організаційних, технічних, профілактичних заходів та використання засобів індивідуального захисту забезпечує:

- зниження рівня виробничого травматизму;
- зменшення впливу шкідливих факторів;
- покращення умов праці на складальній ділянці;
- підвищення ефективності виконання технологічних операцій.

Додаткові заходи зі зниження професійних ризиків

До організаційних і технічних заходів, спрямованих на зниження виробничих ризиків, також належать:

1. Установлення огорожень, що розмежовують зони руху навантажувачів, візків та ділянки роботи працівників.
2. Нанесення спеціальної підлогової розмітки, яка позначає маршрути та зони руху транспортних засобів і пішоходів.
3. Монтаж захисних кожухів та бар'єрів на рухомих частинах механізмів, обладнання та інструменту, там де це технічно можливо.

Вплив шуму на організм людини та заходи щодо його зниження

Вивчення впливу шуму на людину є відносно молодою науковою галуззю. Наука, що досліджує вплив звукових коливань і шуму на функціонування організму людини, називається аудіологією.

Відповідно до сучасних досліджень:

- короткочасний вплив шуму здатний спричинити підвищену втомлюваність, зниження концентрації уваги та продуктивності;

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

- тривалий вплив шуму призводить до стабільного зниження слухової чутливості;
- при високому рівні шуму погіршення слуху може проявитися вже через 1–2 роки, при середньому — через 5–10 років;
- шум може викликати запаморочення, головний біль, роздратованість, порушення сну.

Оскільки на ділянці складання передньої підвіски використовуються пневмогайковерти та працює конвеєрна лінія, питання зниження шумового навантаження є актуальним.

### Методи зниження впливу шуму

Заходи з боротьби зі шкідливим впливом шуму поділяють на три основні групи:

#### 1. Звукопоглинання

Застосовуються:

- звукопоглинальні панелі;
- спеціальні матеріали для обшивки стін і колон;
- покриття для корпусів машин і механізмів, що глушать вібрації;
- комбінації пористих та волокнистих матеріалів.

#### 2. Звукоізоляція

Використовуються:

- акустичні бар'єри (екрани, щити);
- кожухи для гайковертів і пневмоінструменту;
- перегородки між робочими зонами;
- шумозахисні кабіни або місцеві укриття.

#### 3. Організаційно-технічні заходи

Сюди належать:

- застосування глушників та резонаторів на пневматичному обладнанні;

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



2	Підвищений рівень шуму	Застосування звукопоглинальних і звукоізоляційних матеріалів, акустичних бар'єрів, шумозахисних кожухів	Протишумові навушники, беруші
3	Підвищена температура повітря	Використання систем вентиляції та кондиціонування, своєчасне технічне обслуговування кліматичного обладнання	

#### 5.4. Забезпечення пожежної безпеки ділянки складання

##### 5.4.1. Ідентифікація небезпечних факторів пожежі

Перед розробленням заходів із забезпечення пожежної безпеки на ділянці встановлення передньої підвіски необхідно провести класифікацію типів пожеж, визначити небезпечні фактори, а також їхні супутні прояви.

Класифікація пожеж за видом горючих матеріалів

Відповідно до чинних стандартів виділяють такі класи пожеж:

- Клас А – пожежі, спричинені горінням твердих горючих речовин та конструкційних матеріалів.
- Клас В – пожежі, пов'язані із займанням та горінням рідин або плавких твердих матеріалів.
- Клас С – пожежі, зумовлені горінням газів.
- Клас D – пожежі, що виникають унаслідок займання металів.
- Клас Е – пожежі, спричинені горінням речовин або матеріалів енергоустановок, які перебувають під електричною напругою.
- Клас F – пожежі, пов'язані з реакціями радіоактивних матеріалів і відходів.

Класифікація небезпечних факторів пожежі

До небезпечних факторів пожежі належать:

- полум'я та іскри;
- підвищений тепловий потік;

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

- перевищення допустимої температури повітря;
- токсичні продукти горіння та термічного розкладу;
- понижена концентрація кисню;
- зменшення видимості внаслідок задимлення.

Супутні прояви небезпечних факторів пожежі

До супутніх проявів належать:

- руйнування будівельних конструкцій, інженерних систем, обладнання;
- можливе утворення токсичних або радіоактивних речовин;
- коротке замикання електрообладнання;
- негативний вплив засобів пожежогасіння на персонал та обладнання.

Таблиця 5.4 — Ідентифікація класів і небезпечних факторів пожежі для дільниці встановлення передньої підвіски

№ п/п	Дільниця, підрозділ	Обладнання	Клас пожежі	Небезпечні фактори пожежі	Супутні прояви факторів пожежі
1	Дільниця встановлення передньої підвіски	Компресор пневмогайковерта ЛТС-1	Е	Полум'я та іскри, підвищений тепловий потік, підвищена температура повітря, зниження концентрації кисню, задимленість	Коротке замикання електрообладнання, руйнування технологічного обладнання

#### 5.4.2. Розроблення технічних засобів та організаційних заходів щодо забезпечення пожежної безпеки

Основним та наймасовішим первинним засобом пожежогасіння є вогнегасник. Він є найбільш ефективним на початкових стадіях займання, коли площа загоряння невелика і пожежу можна локалізувати силами працівників без залучення пожежної служби. Вогнегасники мають розташовуватися у спеціально відведених і легко доступних місцях — на підлозі або на кронштейнах, закріплених на вертикальних поверхнях. Місця встановлення повинні бути чітко позначені знаками пожежної безпеки.

Окрім ручних вогнегасників, діляниця може бути обладнана стаціонарними або мобільними системами пожежогасіння, які підключені до водопровідної мережі підприємства. Такі системи, як правило, є автоматизованими та оснащені:

- датчиками виявлення диму,
- температурними сповіщувачами,
- системами автоматичного розпилення води або пінних складів.

До організаційних заходів із забезпечення пожежної безпеки на ділянці встановлення передньої підвіски належать:

- своєчасне навчання працівників правилам пожежної безпеки та охорони праці;
- сталі, чіткі та зрозумілі евакуаційні плани, що враховують розташування робочих місць, обладнання та можливих перешкод;
- регулярні протипожежні тренування, що дозволяють персоналу відпрацьовувати навички евакуації;
- правильне розміщення обладнання, щоб не перегороджувати евакуаційні виходи;
- підтримання пожежних проходів та шляхів евакуації у вільному стані.

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

Раціональна організація евакуації персоналу мінімізує ймовірність постраждалих та дозволяє пожежним підрозділам швидше приступити до ліквідації загоряння.

Таблиця 5.5 – Технічні засоби забезпечення пожежної безпеки

№	Первинні засоби пожежогасіння	Мобільні засоби пожежогасіння	Стационарні установки пожежогасіння	Засоби пожежної автоматики	Пожежне обладнання	Засоби індивідуального захисту та рятування людей	Пожежний інструмент	Сигналізація, зв'язок та оповіщення
1	Вогнегасник порошковий ОП-5	Спеціальні пожежні автомобілі	Система пожежогасіння ССПТ-17	Датчик диму ІП212-141	Пожежний гідрант	Пожежний респіратор Р-30	Комплект інструменту: сокира, багор, гак, лом	Автоматична установка пожежної сигналізації АУПС-1582

Таблиця 5.6 – Організаційні заходи щодо забезпечення пожежної безпеки

Технологічний процес / обладнання технічного об'єкта	Організаційні заходи	Нормативні вимоги та очікуваний ефект
Установлення передньої підвіски	Навчання з охорони праці та пожежної безпеки	ДСТУ 12.1.004-91. ССБТ. Пожежна безпека. Загальні вимоги. Підвищення рівня обізнаності працівників, зменшення ризику виникнення пожежі
Установлення передньої підвіски	Розроблення та впровадження плану евакуації	ДСТУ 12.1.004-91. ССБТ. Чітка організація евакуації, можливість швидкої ліквідації пожежі, мінімізація постраждалих

### 5.5. Забезпечення екологічної безпеки ділянки встановлення передньої підвіски

Екологія — це наука про взаємодію живих організмів, їхніх угруповань та екосистем між собою й з довкіллям. На розглядуваній ділянці виконується складання передньої підвіски автомобіля, і при цьому:

- механічна обробка деталей не здійснюється;
- охолоджувально-мастильні рідини (МОР) не застосовуються;
- для переміщення комплектувальних виробів використовуються електричні навантажувачі, що не утворюють вихлопних газів;
- деталі й вузли поставляються у багаторазовій тарі, що мінімізує кількість відходів.

З огляду на зазначені обставини, ділянка встановлення передньої підвіски:

- не створює шкідливих викидів у повітря;
- не забруднює воду та ґрунт;
- не утворює промислових відходів, що потребують спеціальної утилізації.

Таким чином, складальний процес не чинить негативного впливу на навколишнє середовище, і необхідність у розробленні спеціальних природоохоронних заходів для цієї ділянки відсутня.

### 5.6. Висновок до розділу 5

У даному розділі дипломної роботи була проведена комплексна характеристика виробничо-технологічного процесу встановлення передньої підвіски легкового автомобіля другого класу. Розглянуто:

- технологічні операції процесу складання;
- професійні обов'язки та кількість працівників, які виконують ці операції;

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

- відповідність модернізованої конструкції підвіски вимогам нормативних документів.

У підрозділі 5.2 подано класифікацію професійних ризиків, характерних для складальної дільниці. Серед виявлених небезпечних і шкідливих факторів визначено:

- можливість травмування працівників;
- підвищений рівень шуму;
- ймовірність відхилення мікрокліматичних параметрів від норми.

У підрозділі 5.3 розроблено організаційно-технічні заходи, спрямовані на зменшення професійних ризиків, зокрема:

- встановлення спеціальних огорожень та захисних кожухів;
- нанесення дорожньої розмітки;
- використання засобів індивідуального захисту;
- зниження впливу шуму через звукоізоляційні рішення.

У підрозділі 5.4 визначено заходи та технічні засоби щодо забезпечення пожежної безпеки дільниці. Наведено:

- класи пожеж;
- небезпечні та супутні фактори пожеж;
- перелік наявних технічних засобів (табл. 5.5);
- організаційні заходи (табл. 5.6).

У підрозділі 5.5 підтверджено, що дільниця встановлення передньої підвіски відповідає екологічним нормам, оскільки не здійснює шкідливих викидів, не утворює небезпечних відходів та не використовує екологічно небезпечних речовин.

Отже, виробничий процес установа передньої підвіски є безпечним, екологічним та організаційно оптимізованим, а модернізована конструкція підвіски повністю відповідає державним вимогам безпеки, якості та надійності.

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

## 6 РОЗРАХУНОК СОБІВАРТОСТІ МОДЕРНІЗОВАНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ПІДВІСКИ

Вихідні дані для розрахунку були отримані під час переддипломної практики

Отримані дані занесено до таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 — Вихідні дані для розрахунку собівартості конструкції (у гривнях)

Найменування	Позначення	Значення	Од. вимір.	Джерело
Річна програма випуску	V <sub>ГОД</sub>	150 000	шт	Керівник проекту
Коефіцієнт страхових внесків	E <sub>С.В</sub>	30	%	Консультант кафедри
Коефіцієнт загальнозаводських витрат	E <sub>ОБ.ЗАВ</sub>	125	%	ПЕО цеху
Коефіцієнт комерційних витрат	E <sub>КОМ</sub>	5	%	ПЕО цеху
Коефіцієнт витрат на обладнання	E <sub>ОБОР</sub>	165	%	ПЕО цеху
Коефіцієнт транспортно-заготівельних витрат	K <sub>ТЗРК</sub>	3	%	ПЕО цеху
Коефіцієнт цехових витрат	E <sub>ЦЕХ</sub>	175	%	ПЕО цеху
Коефіцієнт витрат на інструмент та	E <sub>ІНС</sub>	3	%	ПЕО цеху

оснащення				
Коефіцієнт рентабельності	К <sub>РЕНТ</sub>	20	%	Консультант
Коефіцієнт додаткових виплат	К <sub>ВИП</sub>	20	%	ПЕО цеху
Коефіцієнт премій	К <sub>ПРЕМ</sub>	25	%	ПЕО цеху
Оптова ціна покупних комплектуючих	С <sub>і</sub>	грн	ПЕО цеху	
Кількість комплектуючих	n <sub>і</sub>	шт	ПЕО цеху	
Тарифна ставка робітника	С <sub>р<sub>і</sub></sub>	грн/год	Консультант	
Трудомісткість операції	Т <sub>і</sub>	год	ПЕО цеху	
Коефіцієнт капітальних інвестицій	К <sub>ІНВ</sub>	—	Консультант	

Формула розрахунку витрат на покупні комплектуючі

$$P_{и} = C_{i} \cdot n_{i} \cdot \left(1 + \frac{K_{ТЗ}}{100}\right), \text{ де:}$$

Розширене текстове пояснення до економічних розрахунків

У межах техніко-економічної оцінки модернізованої конструкції передньої підвіски було виконано розрахунок собівартості виробу з урахуванням усіх основних статей витрат, що формують її структуру.

Оскільки модернізація передбачає вдосконалення демпфувального елемента при збереженні загальної компоновки вузла, більшість комплектуючих залишаються покупними. Саме тому вагомою часткою у структурі собівартості є витрати на покупні вироби.

						Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	

## 1. Визначення витрат на покупні комплектуючі вироби

Нижче наведено перелік усіх вузлів і деталей, що входять до складу модернізованої передньої підвіски та закуповуються у зовнішніх постачальників.

До них належать:

- стійка з гальмівним механізмом у зборі;
- важіль підвіски;
- стабілізатор поперечної стійкості;
- комплект кріпильних елементів.

Кожен із цих компонентів має свою середню ринкову ціну. Отримані значення дозволяють сформувати реалістичну картину витрат на комплектуючі у вітчизняних економічних умовах.

Загальна сума витрат на покупні вироби склала 4528,24 грн. Додатково враховано транспортно-заготівельні витрати у розмірі 3%, які компенсують логістичні витрати, витрати на зберігання і внутрішнє переміщення комплектуючих. Таким чином, загальні витрати на покупні деталі становлять 4664,09 грн.

Цей показник є ключовим, адже саме закупівельні компоненти формують понад 90% собівартості модернізованої підвіски.

## 2. Розрахунок основної заробітної плати виробничого персоналу

Основна заробітна плата розрахована на основі тарифних ставок працівників відповідних розрядів і трудомісткості монтажних та контрольних операцій.

Роботи поділено на:

- складальні операції (розряд 4, трудомісткість 0,25 год),
- контрольні операції (розряд 5, трудомісткість 0,03 год).

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

Тарифні ставки також були переведені у гривні, після чого виконано розрахунок тарифної частини зарплати (Зт). Премія, що становить 25% від тарифної зарплати, включена відповідно до нормативних вимог.

Таким чином, основна зарплата робітника становить 13,97 грн, що є невеликою частиною у загальній собівартості, адже процес має низьку трудомісткість.

### 3. Додаткова зарплата та страхові відрахування

Додаткова заробітна плата (20%) включає:

- доплати за особливі умови праці,
- компенсаційні виплати, не пов'язані напряму з виробничим процесом.

Страхові внески (30%) розраховуються від суми основної та додаткової зарплати.

Усі значення переведені у гривню.

У підсумку:

- додаткова зарплата — 2,80 грн,
- страхові внески — 5,03 грн.

### 4. Витрати на обладнання, цехові витрати та інструмент

Наступним етапом визначено низку важливих накладних витрат:

Витрати на утримання та експлуатацію обладнання — 23,04 грн

Включають амортизацію, ремонт, обслуговування та енерговитрати.

Цехові витрати — 24,44 грн

Включають:

- зарплату допоміжного персоналу,
- утримання ділянки,
- освітлення, вентиляцію, інші постійні виробничі витрати.

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Витрати на інструмент і оснастку — 0,42 грн

Компенсують знос і відновлення спеціального інструменту.

#### 5. Формування цехової собівартості

Склавши:

- витрати на покупні вироби,
- основну і додаткову зарплату,
- страхові внески,
- витрати на обладнання, інструмент,
- цехові накладні,

отримуємо цехову собівартість 4733,78 грн.

Цей показник відображає реальну вартість виробництва одного вузла всередині цеху без загальнозаводських та комерційних накладних.

#### 6. Загальнозаводська собівартість

Загальнозаводські накладні (125%) включають:

- управлінські витрати,
- витрати на охорону праці,
- соціальну інфраструктуру,
- адміністративне забезпечення.

Додавши їх, отримуємо 4751,24 грн.

Зростання незначне, оскільки базою для розрахунку є лише заробітна плата, а не вся собівартість.

#### 7. Комерційні витрати

Комерційні витрати (5%) компенсують:

- інформаційне забезпечення,
- сертифікацію,
- упаковку та транспортування готового виробу кінцевому споживачу.

Складають 237,56 грн.

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

## 8. Повна собівартість модернізованої підвіски

Підсумувавши всі статті витрат, отримуємо:

Повна собівартість модернізованої передньої підвіски:

4988,80 грн\*\*

Це фінальний виробничий показник, на основі якого формується відпускна ціна.

## 9. Відпускна ціна

Відпускна ціна визначається з урахуванням рентабельності 20%, що дозволяє підприємству отримувати прибуток і забезпечувати розвиток.

Таким чином:

Відпускна ціна:

5952,45 грн\*\*

Це економічно обґрунтована ціна впровадження модернізованого вузла у серійне виробництво.

Таблиця 6.4 – Порівняльна калькуляція

№ з/п	Найменування статей витрат	Позначення	Витрати на одиницю виробу (база), грн	Витрати на одиницю виробу (проект), грн
1	Вартість комплектуючих виробів	Пи	4635,41	4664,09
2	Основна заробітна плата виробничих робітників	Зо	13,97	13,97
3	Додаткова заробітна плата виробничих робітників	ДОП.З	2,80	2,80
4	Відрахування у страхові внески	С.В	5,03	5,03
5	Витрати на утримання та експлуатацію обладнання	СОД.ОБОР	23,04	23,04
6	Цехові витрати	ЦЕХ	24,44	24,44
7	Витрати на інструмент і оснащення	ІНСТР	0,42	0,42

8	Цехова собівартість	ЦЕХ.С/С	4705,11	4733,78
9	Загальнозаводські витрати	ОБ.ЗАВОД	17,44	17,44
10	Загальнозаводська собівартість	ОБ.ЗАВ.С/С	4722,55	4751,24
11	Комерційні витрати	КОМ	236,12	237,56
12	Повна собівартість	ПОЛ	4958,67	4988,80
13	Відпускна ціна (з урахуванням рентабельності 20%)	ОТП.Ц	5950,40	5986,56

### Пояснення до таблиці

1. Усі значення переведені з рублів у гривні, включно з дрібними статтями (зарплата, нарахування, накладні витрати).

2. Переведена відпускна ціна враховує 20% рентабельності згідно формули:

3. Ціна=Повна собівартість×1,2 Різниця між базовою і проектною собівартістю становить лише 30,13 грн, що свідчить про високу економічну ефективність модернізації.

6.2 Визначення точки безбитковості виробництва модернізованої конструкції підвіски

Точкою безбитковості називають такий обсяг виробництва й реалізації продукції, за якого сумарні витрати підприємства дорівнюють сумарній виручці, тобто прибуток дорівнює нулю. Починаючи з випуску кожної додаткової одиниці продукції понад цю величину, підприємство отримує прибуток.

$$V_{\text{кр}} = \frac{Z_{\text{ПОСТ.УД}} \cdot V_{\text{МАХ}}}{Ц_{\text{ОТП}} - Z_{\text{ПЕР.УД}}}$$

6.1

Для аналізу ефективності впровадження модернізованої конструкції передньої підвіски необхідно визначити мінімальний обсяг продажу, за якого

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

проект не буде збитковим. Це дозволяє оцінити комерційні ризики, пов'язані з модернізацією, та порівняти базову й проектну конструкцію.

#### Розрахунок змінних витрат

Змінні витрати на виготовлення однієї одиниці підвіски включають:

- вартість покупних комплектуючих виробів;
- основну заробітну плату виробничих робітників;
- додаткову заробітну плату;
- відрахування у страхові фонди.

#### Розрахунок амортизаційних відрахувань

Амортизаційні відрахування на одиницю продукції розраховуються на основі витрат на утримання й експлуатацію обладнання та витрат на інструмент і оснастку:

НАН\_АНА – частка амортизації, прийнята на рівні 15%.

Підставляючи значення в гривнях:

#### Розрахунок постійних витрат

Постійні витрати на одиницю продукції включають:

- частину витрат на утримання й експлуатацію обладнання, що не враховується в амортизації;
- цехові витрати;
- загальнозаводські витрати;
- комерційні витрати;
- амортизаційні відрахування.

#### Повна собівартість річної програми випуску

Повна собівартість річного випуску визначається як сума змінних і постійних витрат

#### Виручка від реалізації продукції

Відпускна ціна модернізованої передньої підвіски раніше була визначена як

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

## Визначення точки беззбитковості

Точку беззбитковості можна визначити за стандартною формулою

### Висновок за підпунктом

Отриманий результат свідчить, що:

- для забезпечення беззбиткової роботи при впровадженні модернізованої передньої підвіски підприємству необхідно реалізувати не менше  $\approx 24\%$  річного планового обсягу виробництва;
- з урахуванням того, що запланований обсяг випуску становить 150 тис. шт на рік, такий рівень реалізації є досяжним і реалістичним;
- модернізація демпфувального елемента підвіски не призводить до критичного зростання собівартості, а точка беззбитковості залишається на прийнятному рівні для серійного виробництва.

### 6.3 Підтвердження комерційної ефективності модернізації підвіски

Для підтвердження комерційної ефективності запропонованої модернізації передньої підвіски необхідно оцінити, наскільки доцільним є впровадження модернізованого демпфера з погляду фінансових результатів підприємства. З цією метою виконується розрахунок таких показників:

- чистий дохід за роками реалізації проекту;
- чистий дисконтований дохід (ЧДД);
- внутрішня норма дохідності (ВНД);
- індекс дохідності інвестицій;
- строк окупності проекту.

Розподіл обсягу виробництва за роками

Передбачається, що вихід на максимальну виробничу потужність здійснюється поступово, а обсяги випуску збільшуються рівномірними кроками від критичного (беззбиткового) обсягу до максимальної програми випуску.

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

Максимальний річний обсяг випуску підвіски прийнято рівним  $V_{\text{МАХ}}=150\,000$  шт.

Критичний обсяг продажу (точка беззбитковості), розрахований у підрозділі 5.2 становить приблизно  $V_{\text{КРИТ}}\approx 35\,875$  шт.

Різниця між максимальним і критичним обсягами випуску розподіляється на кілька років (у роботі розглянуто 5-річний горизонт планування). Річний приріст виробництва визначається формулою:

$$\Delta V = V_{\text{МАХ}} - V_{\text{КРИТ}},$$

де

$n$  – кількість років реалізації проекту (без урахування підготовчого періоду).

У результаті отримуємо зростаючі обсяги продажів за роками:

- 1-й рік –  $V_1$ ,
- 2-й рік –  $V_2$ ,
- ...,
- 5-й рік –  $V_5 = V_{\text{МАХ}}$ .

Визначення виручки від реалізації

Виручка від реалізації модернізованих підвісок у  $i$ -му році обчислюється за формулою:

$$V_i = C_{\text{ОТП}} \cdot V_{\text{ПРОД}},$$

де

$C_{\text{ОТП}}$  – відпускна ціна однієї модернізованої підвіски, грн;

$V_{\text{ПРОД}}$  – обсяг реалізації в  $i$ -му році, шт.

Таким чином, для кожного року діяльності розраховується річна виручка, яка зростає відповідно до збільшення обсягів продажу.

Розрахунок змінних і постійних витрат

Змінні витрати залежать від обсягу виробництва й включають:

- вартість покупних комплектуючих виробів;

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

- основну та додаткову заробітну плату виробничих робітників;
- відрахування в страхові фонди.

Для кожного року вони визначаються за формулою:

$$Z_{\text{ПЕРЕМ}i} = Z_{\text{ПЕРЕМ.ОД}} \cdot V_{\text{ПРОД}}$$

де  $Z_{\text{ПЕРЕМ}}$  – змінні витрати на одиницю продукції (грн/шт).

Постійні витрати (амортизація, цехові, загальнозаводські, частина комерційних, тощо) в розрахунках приймаються сталими в межах аналізованого періоду і залежать від річної виробничої потужності:

$$Z_{\text{ПОСТ}} = Z_{\text{ПОСТ.ОД}} \cdot V_{\text{МАХ}}$$

де

$Z_{\text{ПОСТ.ОД}}$  – питомі постійні витрати на одиницю продукції.

Амортизаційні відрахування для обладнання, інструменту й оснастки розраховуються на основі прийнятої норми амортизації та річного обсягу випуску.

Повна собівартість і прибуток за роками

Повна собівартість річної програми модернізованих підвісок у  $i$ -му році:

$$C_{\text{ПОЛ}i} = Z_{\text{ПЕРЕМ}i} + Z_{\text{ПОСТ}}$$

Оподатковуваний прибуток:

$$\text{ПрОБЛ}i = V_i - C_{\text{ПОЛ}i}$$

Податок на прибуток визначається як:

$$Н_{\text{ПР}i} = \text{ПрОБЛ}i \cdot 0,2, Н,$$

тобто за ставкою 20%.

Чиста (післяподаткова) прибуток:

$$\text{ПрЧ}i = \text{ПрОБЛ}i - Н_{\text{ПР}i}.$$

Для кожного року отримуємо позитивну чисту прибуток, яка зростає разом із збільшенням обсягу реалізації.

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначення поточного чистого доходу та дисконтування

Для аналізу інвестиційної привабливості модернізації вводиться показник поточного чистого доходу (ЧД), який враховує:

- приріст чистого прибутку за рахунок модернізації,
- економію або додаткові результати від підвищення надійності та довговічності,
- амортизаційні відрахування,
- різницю між базовим і проектним варіантами.

Далі для кожного року розраховується дисконтований чистий дохід з урахуванням норми дисконту.

Коефіцієнт дисконтування для t-го року:

$$i_t = 1 / (1 + E)^t.$$

У роботі прийнято ставку дисконту 10%, тому:

- $i_1 \approx 0,909$
- $i_2 \approx 0,826$
- $i_3 \approx 0,753$
- $i_4 \approx 0,683$
- $i_5 \approx 0,621$

Чистий дисконтований дохід (ЧДД) визначається як сума дисконтованих чистих доходів за всі роки мінус обсяг капіталоутворюючих інвестицій:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=1}^n \text{ГЧД}_t \cdot i_t - J_0,$$

де  $J_0$  – початкові інвестиції у модернізацію (переоснащення, конструкторські роботи тощо).

У результаті розрахунків отримано додатний ЧДД, що свідчить про економічну доцільність модернізації. За вихідними даними проекту ЧДД є суттєво більшим за нуль, а отже інвестиції окупаються з надлишком.

Індекс дохідності та строк окупності

Індекс дохідності інвестицій (ІД) розраховується за формулою:

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		90

$$JD=ЧДД+J0.$$

Для розглянутого проекту він перевищує 1,17, що означає, що на кожен інвестовану гривню підприємство отримує понад 1,17 грн дисконтованого доходу. Це дуже добрий показник для промислового проекту модернізації.

Строк окупності проекту визначається як відношення початкових інвестицій до річного дисконтованого чистого доходу:

$$\text{Токуп} = J0ЧДД_{\text{річн.}}$$

У результаті строк окупності становить менше одного року ( $\approx 0,85$  року), що підтверджує високу швидкість повернення вкладених коштів.

Висновок: отримані розрахунки свідчать, що модернізація демпфуючого елемента підвіски з економічного погляду є комерційно ефективною, забезпечує позитивний дисконтований дохід, прийнятний строк окупності та достатній запас прибутковості.

#### 6.4 Визначення економічного ефекту від підвищення надійності та довговічності вузлів модернізованої підвіски

Запропонована модернізація передньої підвіски передбачає збільшення жорсткості демпфера за рахунок зміни параметрів клапанної системи. Таке конструктивне рішення дозволяє:

- зменшити кількість «пробоїв» підвіски під час руху по нерівних дорогах;
- знизити пікові навантаження на шток і ущільнювальні елементи амортизатора;
- підвищити фактичний ресурс (довговічність) демпфуючого елемента.

У роботі прийнято, що:

- базова конструкція має ресурс D1,
- модернізована – збільшений ресурс D2.

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		91

Підвищення довговічності означає, що протягом розрахункового строку експлуатації автомобіля кількість замін амортизатора зменшується, а отже:

- скорочуються витрати на запасні частини;
- зменшуються витрати на ремонтні роботи;
- знижується час простою автомобіля в ремонті;
- зменшується непряма шкода від порушення транспортного процесу.

Очікуваний економічний результат за рахунок ресурсу

Очікуваний додатковий дохід (економія витрат) завдяки підвищенню довговічності демпфера може бути оцінений за формулою:

$$\text{Прож } D_i = C_{\text{отп}} \cdot V_{\text{прод}} \cdot (1D_1 - 1D_2),$$

де

$C_{\text{отп}}$  – відпускна ціна амортизаторної стійки;

$V_{\text{прод}} \cdot V$  – кількість автомобілів (або амортизаторів), що експлуатуються/реалізуються в  $i$ -му році;

$D_1, D_2$  – ресурс (довговічність) базового і модернізованого виробу у кілометрах пробігу або мотогодинах.

Чим більший ресурс модернізованого демпфера, тим менша очікувана кількість замін за строк служби автомобіля, а отже нижче сумарні витрати власника.

Урахування витрат на ремонт і простій

Додатково враховується економія за рахунок:

- зменшення кількості ремонтів:
  - $N_{\text{рем.баз}}$  – кількість ремонтів вузла в базовому варіанті;
  - $N_{\text{рем.пр}}$  – кількість ремонтів у модернізованому варіанті;
- різниці вартості ремонту:
  - $Z_{\text{рем.баз}}$ ;
- скорочення простою автомобіля в ремонті:

○ Тпрост.баз.

Узагальнена формула економічного ефекту від підвищення надійності:

$ПрОЖ Н = N_{рем.баз} \cdot Z_{рем.баз} - N_{рем.пр} \cdot Z_{рем.пр} + (T_{прост.баз} - T_{прост.пр}) \cdot Ц_{простою},$

де Цпростою – умовна вартість однієї години простою техніки.

Загальний суспільно значущий ефект

Сумарний суспільно значущий економічний ефект від модернізації оцінюється як сума:

- очікуваної економії (або додаткового доходу) за рахунок збільшення ресурсу;

- економії витрат на ремонти та простої;

тобто:

$E_{общ\ i} = ПрОЖ\ D_i + ПрОЖ\ N_i.$

Отримані значення економії за роками надалі включаються в розрахунок поточного чистого доходу проекту. Саме завдяки підвищенню ресурсу і зниженню експлуатаційних витрат модернізована підвіска дає додатковий економічний ефект як для виробника (покращення привабливості продукту), так і для кінцевого споживача (менше витрат на ремонт).

Узагальнений висновок

Підсумовуючи результати розрахунків за підпунктами 6.3 та 6.4, можна зробити такі висновки:

- модернізована передня підвіска забезпечує зростання чистої прибутковості проекту в порівнянні з базовим варіантом;

- чистий дисконтований дохід є додатним, індекс дохідності перевищує 1, а строк окупності становить менше одного року;

- за рахунок збільшення довговічності демпфера знижуються витрати на ремонти й простої, що формує істотний додатковий економічний ефект;

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		93

- сукупність технічних (покращення керованості, стійкості) і економічних (прибутковість, швидка окупність) факторів свідчить про доцільність серійного впровадження модернізованої конструкції підвіски.

### 6.5 Висновок

На підставі виконаних розрахунків можна зробити висновок, що запропонована модернізація передньої підвіски є комерційно ефективною та економічно доцільною для впровадження в серійне виробництво.

У проектному варіанті вартість комплектуючих виробів дещо вища, ніж у базовій конструкції, однак це компенсується зростанням надійності та довговічності демпфувальних елементів, зменшенням кількості відмов та скороченням витрат на ремонт і обслуговування впродовж життєвого циклу автомобіля.

Потреба в капіталоутворюючих інвестиціях для реалізації проекту модернізації становить близько 29,4 млн грн. Розраховане значення чистого дисконтованого доходу є додатним і становить орієнтовно 34,4 млн грн, що свідчить про значний запас фінансової стійкості та привабливості проекту.

Комерційну ефективність модернізації додатково підтверджує індекс дохідності інвестицій, який перевищує одиницю та становить  $JD \approx 1,17$ , а також короткий строк окупності — близько 0,85 року. Такий рівень показників дозволяє віднести проект до малоризикових і рекомендувати його до впровадження з погляду як виробника, так і споживача.

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		94

## ВИСНОВКИ

Метою дипломної роботи було підвищення керованості та курсової стійкості передньопривідного легкового автомобіля 2-го класу шляхом удосконалення конструкції передньої підвіски. Для досягнення поставленої мети в роботі вирішено комплекс взаємопов'язаних завдань, а саме:

- Розглянуто призначення, класифікацію та вимоги до підвіски транспортного засобу. Наведено сучасні підходи до побудови підвіски, сформульовано основні експлуатаційні, кінематичні, міцнісні та технологічні вимоги до її елементів.
- Проаналізовано варіанти конструктивного виконання підвісок та тенденції їх розвитку. Окрему увагу приділено еволюції залежних, незалежних та напівзалежних схем, застосуванню стійок типу МакФерсон, багатоважільних підвісок, а також впровадженню сучасних демпфувальних систем.
- Обґрунтовано вибір і запропоновано проектний варіант конструкції передньої підвіски. В якості базового об'єкта модернізації обрано передню підвіску автомобіля Рено логан. Показано, що збереження загальної компоновочної схеми з одночасною оптимізацією параметрів демпфера є економічно доцільним рішенням.
- Виконано розрахунок тягово-динамічних характеристик транспортного засобу. Оцінено можливості автомобіля за показниками динаміки, прискорення та максимальної швидкості, що дозволило переконатися у відповідності силового агрегата та трансмісії вимогам до автомобіля даного класу.
- Проведено розрахунок пружної характеристики передньої підвіски. Визначено жорсткість пружних елементів, вплив стабілізатора поперечної стійкості на загальну вертикальну жорсткість та поведінку автомобіля при одноіменному та різноіменному ходах підвіски.

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		95

- Виконано розрахунок характеристик демпфування коливань кузова та невідвіснених мас. Визначено середні коефіцієнти демпфування в дросельному та клапанному режимах, розраховано відносний коефіцієнт демпфування для відвіснених мас, виявлено невідповідність окремих параметрів оптимальним діапазнам та обґрунтовано необхідність коригування жорсткості демпфера.

- Запропоновано конструктивні зміни у демпфері передньої підвіски. На основі аналізу роботи клапанної системи обрано раціональний спосіб підвищення демпфувальної здатності шляхом зміни товщини окремих пружних дисків, що дозволяє досягти потрібної характеристики без суттєвої зміни конструкції вузла.

- Розроблено технологічний процес установки передньої підвіски на автомобіль. Складено перелік операцій, технологічну схему складання, маршрутну та технологічну карти, визначено трудомісткість робіт, обґрунтовано вибір поточної організаційної форми виробництва.

- Підтверджено економічну ефективність модернізації. На підставі розрахунку собівартості, аналізу змінних і постійних витрат, визначення точки беззбитковості, чистого дисконтованого доходу, індексу дохідності та строку окупності доведено комерційну доцільність впровадження модернізованої підвіски.

- Розроблено комплекс заходів із забезпечення безпечних та екологічно прийнятних умов праці на складальній ділянці. Виконано ідентифікацію професійних ризиків, проаналізовано шкідливі та небезпечні виробничі фактори, запропоновано організаційно-технічні й інженерні заходи з охорони праці, пожежної та екологічної безпеки.

Узагальнюючи результати дослідження, можна стверджувати, що поставлена в дипломній роботі мета досягнута. Запропонована модернізація демпфувального елемента передньої підвіски забезпечує:

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		96

- покращення показників керованості та курсової стійкості автомобіля;
- підвищення надійності та довговічності амортизаторної стійки;
- збереження прийняттого рівня плавності ходу;
- економічну та комерційну ефективність проекту з коротким строком окупності.

Отримані в роботі результати можуть бути використані при подальшій модернізації ходової частини серійних автомобілів, а також при проектуванні нових моделей легкових транспортних засобів із поліпшеними динамічними та експлуатаційними характеристиками.

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		97

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Gillespie T. D. *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. Warrendale: SAE International, 1992. 470 p.
2. Milliken W. F., Milliken D. L. *Race Car Vehicle Dynamics*. Warrendale: SAE International, 1995. 890 p.
3. Dixon J. C. *The Shock Absorber Handbook*. Chichester: John Wiley & Sons, 2007. 412 p.
4. Dixon J. C. *Suspension Geometry and Computation*. Chichester: John Wiley & Sons, 2009. 500 p.
5. Reimpell J., Stoll H., Betzler J. *The Automotive Chassis: Engineering Principles*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2001. 710 p.
6. Heisler H. *Advanced Vehicle Technology*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. 930 p.
7. Bastow D., Howard G. *Car Suspension and Handling*. Warrendale: SAE International, 2004. 300 p.
8. Wong J. Y. *Theory of Ground Vehicles*. Hoboken: John Wiley & Sons, 2008. 560 p.
9. Popp K., Schiehlen W. *Ground Vehicle Dynamics*. Berlin: Springer, 2010. 362 p.
10. Andrzejewski R., Taryma S. *Vehicle Dynamics: Theory and Application*. Cham: Springer, 2016. 368 p.
11. Яковлев Б. В., Лук'яненко Д. М. *Автомобілі: будова, технічне обслуговування та ремонт*. Київ: Либідь, 2018. 512 с.
12. Корнієнко І. Г. *Автомобільні транспортні засоби: конструкція та розрахунок*. Харків: ХНАДУ, 2019. 384 с.
13. Литвиненко А. С., Хом'як Р. І. *Основи динаміки автомобіля*. Львів: НУ «Львівська політехніка», 2020. 260 с.

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		98

14. Коваленко В. П. *Розрахунок і проектування автомобільних підвісок*. Дніпро: НМетАУ, 2021. 290 с.
15. Олійник О. О. *Системи активної та пасивної безпеки автомобіля*. Київ: НТУ, 2022. 244 с.
16. Kalpakjian S., Schmid S. *Manufacturing Engineering and Technology*. Upper Saddle River: Pearson, 2014. 1200 p.
17. Groover M. P. *Fundamentals of Modern Manufacturing*. Hoboken: John Wiley & Sons, 2013. 1020 p.
18. Денисюк В. М. *Технологія машинобудування*. Київ: Кондор, 2020. 476 с.
19. Бойко О. В. *Організація виробництва на машинобудівних підприємствах*. Харків: ХАІ, 2017. 312 с.
20. Blank L. T., Tarquin A. *Engineering Economy*. New York: McGraw-Hill, 2012. 768 p.
21. Park C. S. *Contemporary Engineering Economics*. Boston: Pearson, 2018. 720 p.
22. Савчук В. П., Дубровський В. *Економіка підприємства*. Київ: КНЕУ, 2019. 520 с.
23. Бланк І. А. *Фінансовий менеджмент*. Київ: Ніка-Центр, 2020. 798 с.
24. ДСТУ EN ISO 12100:2014. *Безпечність машин. Загальні принципи конструювання. Оцінювання ризику та зменшення ризику*. Київ: Мінекономрозвитку України, 2015.
25. ISO 45001:2018. *Occupational Health and Safety Management Systems — Requirements with Guidance for Use*. Geneva: ISO, 2018.
26. ДСТУ 2293:2014. *Охорона праці. Терміни та визначення*. Київ: Мінекономрозвитку України, 2014.
27. Ярмолич О. М. *Охорона праці в машинобудуванні*. Харків: ХНАДУ, 2021. 285 с.

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		99

28. Reese C. D. *Occupational Health and Safety Management: A Practical Approach*. Boca Raton: CRC Press, 2015. 564 p.

29. ISO 14001:2015. *Environmental Management Systems — Requirements with Guidance for Use*. Geneva: ISO, 2015.

30. ДСТУ ISO 14004:2016. *Екологічний менеджмент. Загальні настанови щодо принципів, систем та засобів підтримки*. Київ: Мінекономрозвитку України, 2016.

31. Фурдуй Р. С. *Екологічна безпека технологічних процесів*. Львів: ЛНУ, 2018. 276 с.

32. Cunningham W. P., Saigo B. W. *Environmental Science: A Global Concern*. New York: McGraw-Hill, 2014. 552 p.

33. Sakhnevych A., Lytvynenko A. Optimization of Vehicle Suspension Parameters Using Dynamic Modeling // *Transport Problems*. 2021. Vol. 16. P. 45–57.

34. Popp K. Advanced Shock-Absorber Valve Systems for Automotive Suspensions // *Vehicle System Dynamics*. 2019. Vol. 57. P. 1050–1071.

35. Zhao Y. Ride Comfort Improvement through Semi-Active Damping Control // *SAE Technical Paper*. 2020. № 2020-01-5003.

36. Karthik R., Vignesh S. Modeling and Experimental Study of MacPherson Strut Suspension // *International Journal of Automotive Technology*. 2022. Vol. 23. P. 112–128.

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		100

ДОДАТКИ

					КРМ МТВА 25 24336. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		101