

Хмельницький національний університет  
Факультет інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

## Пояснювальна записка до дипломної роботи бакалавра

Галузь знань: 27 «Транспорт»

Спеціальність: 274 «Автомобільний транспорт»


Освітньо-професійна програма: «Автомобільний транспорт»


на тему: «Вібраційна діагностика зазорів шанірних сполучень підвіски типу  
«МакФерсон» легкового автомобіля»

Шифр: ДРБАТ 23.20108.000. ПЗ

Виконав: студент 3 курсу, група АТс -20-2  В.О. Вавренюк

Керівник

 д.т.н., проф. О.В. Диха

До захисту допускаю:  
Зав. кафедри ТАМ  Диха О.В.

8 06 2023\_р.

Хмельницький, 2023 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр  
Галузь знань: 27 «Транспорт»  
Спеціальність: 274 «Автомобільний транспорт»  
Спеціалізація: «Автомобільний транспорт»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Зав.кафедрою ТАМ  
Диха О.В.  
" 20 " березня 2023 р.

**З А В Д А Н Н Я**  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Вавренюку Віталію Олександровичу

1. Тема проекту:  
«Вібраційна діагностика зазорів шанірних сполучень підвіски типу «МакФерсон» легкового автомобіля»

керівник проекту: Диха Олександр Володимирович, д.т.н., проф.

Затверджено наказом університету від 1.03 2023р. № 5

2. Строк подання студентом проекту на кафедру: 10.06.2023 р.

3. Вихідні дані до проекту:

- 1) Технічні умови на технологію ремонту кульови опор автомобіля.
- 2) Річна програма ремонту деталей.
- 3) Результати літературного огляду і патентного пошуку.

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

1. Огляд конструкцій підвісок, шарнірів, їх несправностей, випробувальних і діагностичних стендів
2. Визначення величини осівого зазору у шарнірах передній підвіски типу «макферсон» легкових автомобілів
3. Методика визначення величини осівого зазору у кульових шарнірах
4. Результати визначення величини осівого зазору у кульових шарнірах
5. Технологія діагностування кульових шарнірів за допомогою вібраційного способу



## РЕФЕРАТ

Обсяг пояснювальної записки – 80 сторінок, кількість рисунків – 52, таблиць – 5, додатків – 1, кількість джерел згідно із переліком посилань – 53.

Студент гр. АТс-20-2 Вавренюк В.О.

**Тема «Вібраційна діагностика зазорів шанірних сполучень підвіски типу «МакФерсон» легкового автомобіля»**

Дана бакалаврська дипломна робота присвячена підвищенню ефективності визначення технічного стану шарового шарніра підвіски легкового автомобіля вібраційним способом.




Для досягнення зазначеної мети в роботі було вирішено такі завдання:

1. Спроекований стенд для діагностування та випробування елементів підвіски легкових автомобілів та визначення технічного стану кульових шарнірів.
2. Розроблений спосіб визначення величини осьового зазору в кульовому шарнірі автомобіля.
3. Проведені експерименти для встановлення взаємозв'язку величини осьового зазору в шаровому шарнірі з величиною віброприскорення.
4. Розроблені практичні рекомендації щодо впровадження способу визначення величини осьового зазору в кульовому шарнірі для легкових автомобілів за умов автосервісного підприємства.

**Перелік ключових слів:** автомобіль, кульова опора, зазор, діагностика, стенд, віброприскорення

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ ПІДВІСОК, ШАРНІРІВ, ЇХ НЕСПРАВНОСТЕЙ, ВИПРОБУВАЛЬНИХ І ДІАГНОСТИЧНИХ СТЕНДІВ.....	8
1.1. Аналіз конструкцій підвісок легкових автомобілів.....	8
1.2. Застосування кульових шарнірів у підвісці легкових автомобілів.....	9
1.3. Аналіз видів пошкоджень кульових шарнірів.....	13
1.4. Методи та способи випробувань та діагностування кульових шарнірів.....	17
1.5. Огляд конструкцій стендів для випробувань кульових шарнірів.....	19
1.6. Механічні способи визначення технічного стану кульових шарнірів підвіски легкових автомобілів.....	21
2. ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ОСІВОГО ЗАЗОРУ У ШАРНІРАХ ПЕРЕДНІЙ ПІДВІСКИ ТИПУ «МАКФЕРСОН» ЛЕГКОВИХ АВТОМОБІЛІВ.....	25
3. МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ОСЬОВОГО ЗАЗОРУ У КУЛЬОВИХ ШАРНІРАХ.....	36
3.1. Обґрунтування вібраційного способу визначення величини осьового зазору в шарових шарнірах підвіски легкових автомобілів.....	36

ДРБАТ 23.20108.000. ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.	Вавренюк			
Перевір.	Диха			
Н.контр.	Бабак			
Затвер.	Диха			
Вібраційна діагностика зазорів шарнірних сполучень підвіски типу «МакФерсон» легкового автомобіля			Літ.	Аркуш
			4	80
			ХНУ, гр. АТс-20-2	

3.2. Проектування стенду для діагностування та випробування елементів підвіски, конструкція, розрахунок, принцип дії.....38

3.3. Пристосування та вимірювальні пристрої для проведення лабораторного стендового експериментального дослідження.....43

3.4. Методика проведення лабораторного стендового експериментального дослідження.....47

4. РЕЗУЛЬТАТИ ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ОСЬОВОГО ЗАЗОРУ У КУЛЬОВИХ ШАРНІРАХ.....57

5. ТЕХНОЛОГІЯ ДІАГНОСТУВАННЯ КУЛЬОВИХ ШАРНІРІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ВІБРАЦІЙНОГО СПОСОБУ.....63

ВИСНОВКИ.....71

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....72

Додатки.....77

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

## ВСТУП

Серед безлічі вузлів підвіски автомобілів, шаровий шарнір є одним з важливих несучих вузлів, працездатність якого безпосередньо залежить від умов експлуатації. Кульові шарніри в підвісці легкових автомобілів визначають надійність роботи всього автомобіля і безпосередньо впливає на його безпеку [1].

Кульові шарніри використовуються для з'єднання елементів підвіски та кермового управління і являють собою кінематичні сполучення, що мають три кутові ступені свободи при переміщенні робочих елементів (важелів) [2]. Такі шарніри є відповідальними поєднаннями, т.к. реалізують у зв'язках високі навантаження: вертикальні – від ваги автомобіля, горизонтальні – від сили тяги, гальмування та повороту автомобіля. Надійність роботи шарнірів значно впливає на безпеку руху автомобіля.

У більшості випадків кульовий шарнір є нерозбірним вузлом [3], що ускладнює визначення технічного стану в умовах автосервісного підприємства. Одним із способів діагностування є лабораторні стендові дослідження шарових шарнірів. Для отримання достовірної інформації про величину зношування кульових шарнірів та розробки методики визначення їх технічного стану в умовах автосервісного підприємства необхідна область лабораторних стендових досліджень. При діагностуванні шарових шарнірів на стенді, він повинен повною мірою імітувати всі рухи та зусилля, що передаються на шарніри в реальних умовах.

Крім того, щоб мати можливість повною мірою довіряти результатам стендових досліджень, необхідна їх перевірка даними, отриманими в умовах виробництва [4].

Дослідження, спрямовані на розробку методів, засобів та

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

алгоритмів визначення технічного стану кульових шарнірів в умовах автосервісного підприємства, є актуальним.

Граничним станом кульового шарніра прийнято вважати стан, при якому осьовий та радіальний зазори пальця в корпусі досягають величини 0,7 мм при додатку до пальця осьового та радіального навантажень  $\pm 981$  Н. Ці величини справедливі для автомобільних кульових пальців з діаметром неповної сфери  $d = 25 - 35$  мм [5, 6].

Враховуючи вищесказане, виникає необхідність у вирішенні проблеми підвищення ефективності діагностування передньої підвіски типу МакФерсон, найбільш поширеного типу серед легкових автомобілів.

**Метою роботи** є підвищення ефективності визначення технічного стану шарового шарніра підвіски легкового автомобіля вібраційним способом.

Для досягнення зазначеної мети в роботі було поставлено такі завдання:

1. Спроекувати стенд для діагностування та випробування елементів підвіски легкових автомобілів та визначення технічного стану кульових шарнірів.
2. Розробити спосіб визначення величини осьового зазору в кульовому шарнірі автомобіля.
3. Провести експериментальні дослідження для встановлення взаємозв'язку величини осьового зазору в шаровому шарнірі з величиною віброприскорення.
4. Розробити практичні рекомендації щодо впровадження способу визначення величини осьового зазору в кульовому шарнірі для легкових автомобілів за умов автосервісного підприємства.

## **1. ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ ПІДВІСОК, ШАРНІРІВ, ЇХ**

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

# НЕСПРАВНОСТЕЙ, ВИПРОБУВАЛЬНИХ І ДІАГНОСТИЧНИХ СТЕНДІВ

## 1.1. Аналіз конструкцій підвісок легкових автомобілів

Підвіска забезпечує пружний зв'язок між кузовом і колесами, пом'якшуючи поштовхи та удари, під час руху автомобіля по нерівностях дороги. Завдяки її наявності підвищується довговічність автомобіля, а водій та пасажери відчуваються комфортно. Підвіска позитивно впливає на стійкість та керуваність автомобіля, його плавність ходу [18]. У залежних підвісках кульові шарніри практично не використовуються, оскільки ліве та праве колесо жорстко пов'язані один з одним, тому використовують простішу конструкцію – шкворневу сполуку [19]. Що стосується незалежної підвіски (рисунок 1.1) при наїзді на нерівність дороги, одне з коліс змінює своє становище, а друге - ні, що підвищує керуваність, стійкість і плавність ходу автомобіля. Незалежні підвіски поділяються на кілька типів:

- підвіска МакФерсона, це підвіска колеса, яка включає один важіль, стабілізатор поперечної стійкості, пружину, а так само амортизатор телескопічного типу, закріпленого у верхній частині до брызговики кузова за допомогою пружного шарніра і має можливість хитатися вгору-вниз ( 1.1 а).
- двоважільна підвіска містить два кульові шарніри на колесо (рисунок 1.1, б).
- багатоважільна підвіска може містити три, чотири кульові шарніри на колесо.

[20] (Рисунок 1.1, в).

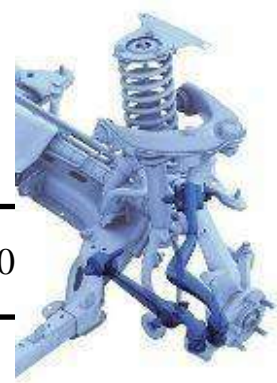
Змн.	Арк.	N



	Дата



20108.0



Арк.
9

Рисунок 1.1 - Типи незалежних підвісок: а) *одноважільний, типу «МакФерсон»*; б) *двоважільна*; в) *багатоважільна*

## 1.2.Застосування кульових шарнірів у підвісці легкових автомобілів

Кульові шарніри, що встановлюються в передній підвісці автомобіля (рисунок 1.4), є відповідальними сполученнями, це пов'язано з тим, що вони сприймають значні зусилля у всіх площинах: вертикальні – від маси автомобіля, поздовжні та поперечні – при гальмуванні, прискоренні та при поворотах . Надійність шарнірів безпосередньо впливає на безпеку руху автомобіля [29].



Рисунок 1.4 - Різні варіанти конструкцій кульових шарнірів, що використовуються в підвісках автомобілів

Кульові шарніри складаються з наступних елементів:

- корпус шарового шарніра - є базовою деталлю, призначений для розміщення та фіксації інших елементів шарового шарніра, а також передачі зусиль від шарового пальця до елементів підвіски або рульового управління [30];

- кульовий палець – основний робочий елемент кульового шарніра призначений передачі зусиль від одних елементів підвіски до інших із компенсацією їх взаємного переміщення у різних площинах шляхом

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

обертання кульової головки пальця в корпусі шарніра [31] (рисунок 1.5);

- вкладиш кульового пальця є підшипником ковзання – призначений зменшення тертя при обертанні головки кульового пальця і продовження ресурсу кульового пальця [32];

- захисний чохол - призначений для захисту пари тертя вкладиш - головка кульового пальця від попадання води, бруду, абразивних частинок, таким чином є незначним, але дуже важливим елементом кульового шарніра, від цілісності якого залежить ресурс шарніра в цілому [33, 34];

- мастило – призначене зменшення тертя у парі вкладиш – головка кульового пальця.

Як полімерна матриця композиційного матеріалу для заповнення простору між вкладишем і корпусом можуть бути використані, наприклад, поліамід, поліімід, поліефір, поліетилен або полібутадієнтерафтолат (рисунок 1.5) [29, 30 - 58].

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

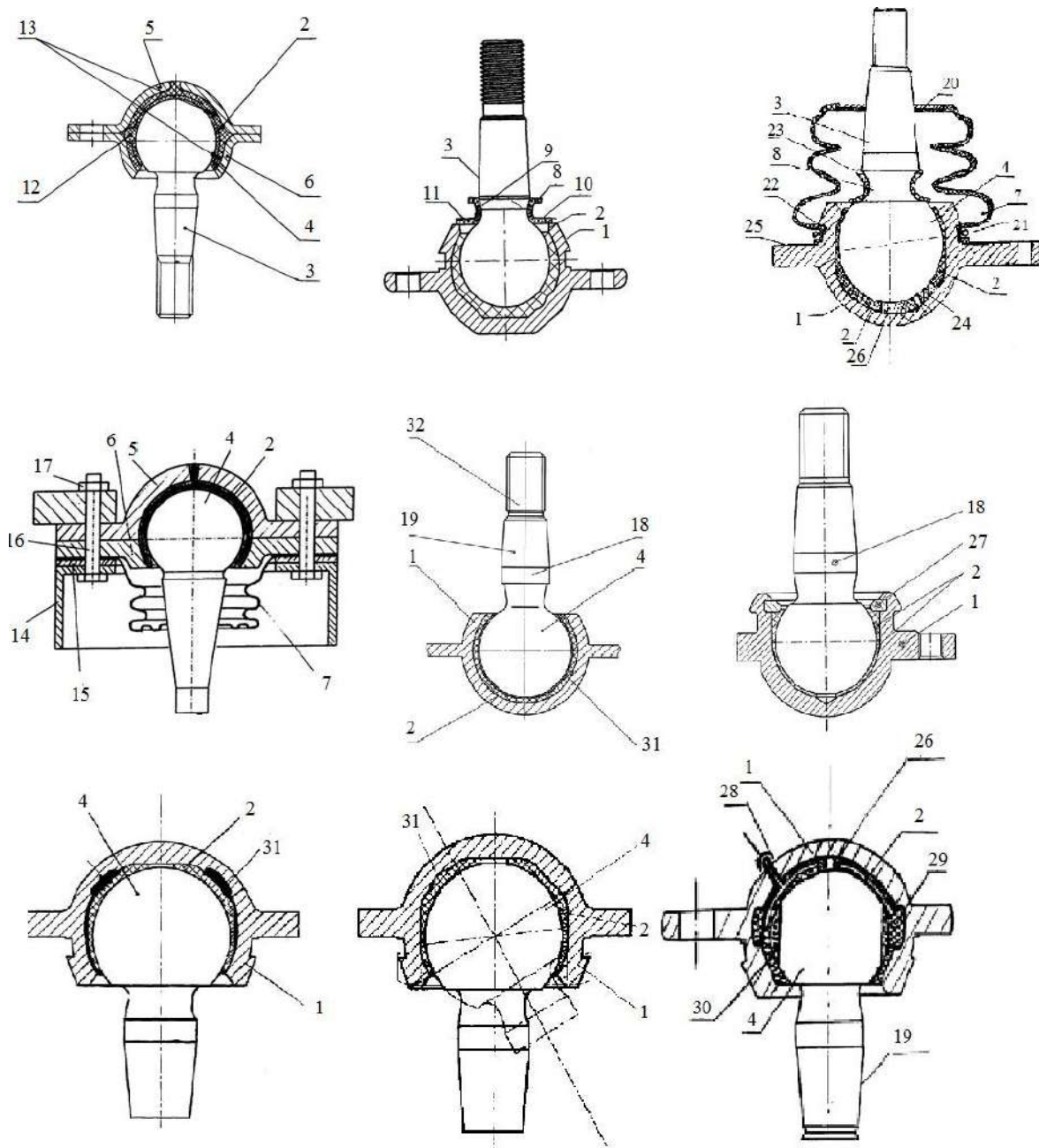


Рисунок 1.5 – Конструкції кульових шарнірів:

1 - монолітний корпус, 2 - полімерний вкладиш, 3 - палець, 4 - сферична головка, 5 - верхній корпус, 6 - нижній корпус, 7 - захисний чохол, 8 - жолобник кульового пальця, 9 - верхня частина конусної частини пальця, 10 - горизонтальний буртик, 11 - ущільнююча втулка, 12 - шар клейового складу, що термоотверждаемого складу, 13 - термоотверждаемый наповнювач, 14 - з'єднує елемент, 15 -

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

*прокладка, 16 - з'єднує 8 болт, 1 пальця, 19 - конічно-циліндричний хвостовик, 20 - пластина жорсткості, 21 - пружинне кільце, 22 - кільцева канавка, 23 - знімна ущільнювальна втулка, 24 - ребро жорсткості вкладиша, 25 - приєднувальний фланець, 2, 28 - датчик вироблення, 29 - виточення в гнізді корпусу, 30 - сегмент сполучення, 31 - виступи на вкладиші, 32 - різьбова частина пальця*

За принципом технічного обслуговування кульові шарніри поділяються на шарніри, що вимагають технічного обслуговування в процесі експлуатації (рисунок 1.6) та шарніри, що не вимагають такого обслуговування (самозмазуються) (рисунок 1.4).



Рисунок 1.6 - Приклад шарового шарніра вимагає технічного обслуговування Кульові шарніри поділяються в залежності від механізму, що використовується, це можуть бути шарнірні головки, сферичні підшипники ковзання, наконечники гідро- та пневмоциліндрів (рисунок 1.7).

Кульові шарніри також використовуються у виготовленні протезів тазостегнового та колінного суглоба людини [14,15]

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13



Рисунок 1.7 - Шарнірні наконечники гідро- та пневмоциліндрів

### 1.3. Аналіз видів пошкоджень кульових шарнірів

Конструкція шарового шарніра повинна забезпечувати кутову рухливість у двох площинах, при цьому осьові сили сприймаються через полімерний вкладиш сферичною поверхнею пальця.

Зазори в сполученнях шарнірів не передбачені, а при їх виробництві це складне завдання. Зібрані шарніри точно обтискають, що дозволяє досягти рекомендованого натягу в парі, який перевіряється в технологічному процесі при виробництві шарнірів шляхом визначення моментів обертання і хитання пальця щодо корпусу [64]. У зв'язку з цим необхідно підвищення якості оцінки величини осьового зазору робочих парах шарнірів, з метою чисельного визначення величини осьового зазору з похибкою не більше 0,09 мм.

Кульові пальці відчують при експлуатації знакозмінні багатоциклові навантаження, що призводить до зниження ресурсу пальця за рахунок абразивного зношування головки пальця і втомного зносу пальця в перерізі переходу сферичної частини в кіничну кульового

пальця (рисунок 1.8, 1.9).

Абразивний знос і корозія кульового пальця та корпусу кульового шарніра, (рисунок 1.8 а, б, г). Причиною є пошкодження захисного чохла, втрата герметичності шарового шарніру, проникнення води, бруду та абразивних частинок між парою тертя палець-вкладиш. Ознаки прояву: візуально - по пошкодженню захисного чохла та наявності на ньому мастила та бруду, при русі автомобіля - по сторонніх стуках та звуках, погіршення керованості автомобіля. Абразивне зношування вкладиша, корозія корпусу кульової опори (рисунок 1.8 в); абразивне зношування кульового пальця у вигляді радіальних канавок на сферичній поверхні (рисунок 1.8 д, е); Підвищення температури, що викликає плинність і перетворення молекул полімеру в газоподібний стан у поверхневих шарах при русі пальця навколо вкладиша через тертя - деструкція [65] (рисунок 1.8 ж). Причиною є тривалий рух по поганих дорогах з високою швидкістю, а також порушення технології виготовлення вкладки, низька якість матеріалу для виготовлення вкладиша. Ознаки прояву: під час руху автомобіля - за сторонніми стуками та звуками, погіршення керованості автомобіля. Абразивне зношування сферичної головки і втомне зношування в перерізі переходу сферичної частини в конічну кульового пальця (рисунок 1.8 з). Втомний знос шийки кульового пальця виникає в результаті перевищення терміну експлуатації кульового шарніра і при порушенні технології виготовлення кульового пальця (брак). Абразивне зношування сферичної головки і втомне зношування в перерізі переходу сферичної частини в конічну кульового пальця (рисунок 1.8 з). Втомний знос шийки кульового пальця виникає в результаті перевищення терміну експлуатації кульового шарніра і при порушенні технології виготовлення кульового пальця (брак). Абразивне зношування сферичної головки і втомне зношування в перерізі переходу сферичної частини в конічну кульового пальця (рисунок 1.8 з). Втомний знос шийки кульового пальця виникає в результаті перевищення терміну експлуатації кульового

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

шарніра і при порушенні технології виготовлення кульового пальця (брак).

Головним фактором виходу з ладу шарового шарніра є знос сполучення

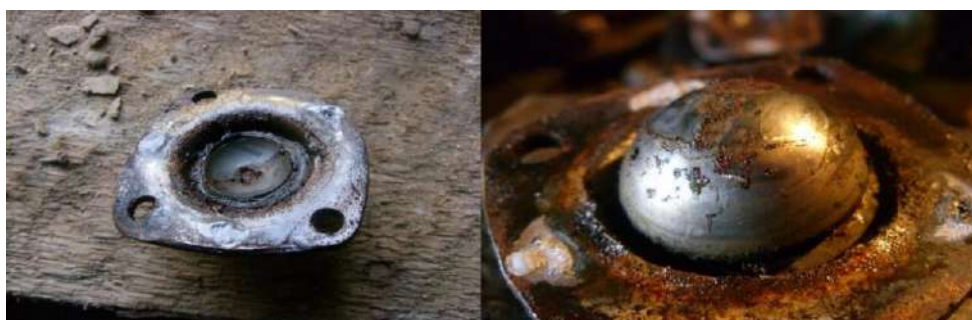
–  
"вкладиш - головка кульового пальця", що призводить до збільшення осьового зазору  $h$ . Процес зносу визначається деякими чинниками і, зокрема, залежить умов тертя [9].

Дослідження зразків кульових шарнірів, демонтованих із підвісок автомобілів, внаслідок досягнення граничного стану, вказують на основну причину відмов – руйнування полімерного шару [65].



а)

б)



в)

г)

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16



д)

е)



ж)

з)

Рисунок 1.8 - Елементи кульових шарнірів, що були в експлуатації:

*а, б - корозія кульового пальця і корпусу кульового шарніра, абразивне зношування кульового пальця; в – абразивне зношування вкладиша, сліди корозії на ньому, корозія корпусу кульового шарніра; г - корозія кульового пальця та корпусу кульового шарніра, абразивний знос кульового пальця; д, е - корозія кульового пальця, абразивне зношування кульового пальця у вигляді радіальних канавок на сферичній поверхні; ж – деструкція; з – абразивний знос сферичної голівки та втомний знос у перерізі переходу сферичної частини в конічну кульового пальця.*

Деформація кульового пальця та корпусу кульового шарніра – зміна форми та геометричних розмірів пальця (корпусу кульового шарніра). Причиною є значні (перевищують розрахункові) знакозмінні

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

навантаження, що виникають у кульовому шарнірі при проїзді великих нерівностей на дорозі з високою швидкістю. Ознаки прояву – зміна кутів установки коліс, нерівномірне та прискорене зношування шин, погіршення керованості автомобіля.

Ушкодження захисного чохла: розтріскування; причинами є якість виготовлення, перевищення терміну служби чохла, потрапляння на поверхню чохла агресивних речовин (розчинники, бензин, кислоти тощо), розриви; причиною є вплив на поверхню чохла твердих, гострих, міцних сторонніх тіл (гілки, дріт, каміння) ослаблення фіксації та втрата герметичності пов'язані з ослабленням фіксуючих елементів, що закріплюють чохол – хомути, клей і т.д.

Ознаки прояву для всіх ушкоджень виявляються візуально - по пошкодженню захисного чохла та наявності на ньому мастила та бруду [66, 67].

#### **1.4.Методи та способи випробувань та діагностування кульових шарнірів**

Працездатність шарнірів визначається величиною зазору в їх поєднаннях. Перевищення допустимих норм цих зазорів визначається водієм суб'єктивно за появою вібрацій на рульовому колесі, стуків та сторонніх звуків від підвіски та ходової частини автомобіля, за втрати керованості автомобіля при русі, проте ці ознаки також з'являються і при несправності інших елементів ходової частини та рульового керування (сайлент -блоки, підшипники, рульові тяги та їх наконечники, амортизатори та шарніри їх кріплення). Вище представлені факти призводять до зниження довговічності роботи підвіски, підвищеного зносу шин та підшипників коліс. Відбувається зниження активної безпеки автомобіля [68].

Однією із завдань даного дослідження є розробка способу

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

діагностування кульових шарнірів з різним ступенем зносу, що надає найбільш достовірну інформацію про їхній технічний стан [69].

Для прогнозування, а також визначення встановленого експлуатаційного ресурсу кульових шарнірів, а також для визначення їх технічного стану автомобільні підприємства проводять різні прискорені дорожні, лабораторні та стендові випробування та дослідження підвісок.

Найбільш ефективним способом дослідження кульових шарнірів є його відтворення у лабораторних умовах. При цьому точність відтворення процесу визначає повноту і достовірність інформації [10].

Випробування передньої підвіски в зборі спрощують випробування шарових шарнірів і дозволяють значно знизити додаткові труднощі, що виникають при створенні необхідних умов проведення випробувань, наближених до реальних умов експлуатації. Це дозволяє отримати результати з високим ступенем достовірності. Недолік таких випробувань – неможливість отримання достовірної інформації про зміну параметрів окремих елементів підвіски таких як кульові шарніри та ін. Негативним моментом є також невиправдані витрати (енерговитрати, тимчасові, матеріальні тощо) на випробування підвіски загалом в умовах, коли необхідно отримати достовірну інформацію характер зміни параметрів певного елемента підвіски [72].

Для отримання необхідної інформації про знос або технічний стан кульових шарнірів необхідні стендові лабораторні дослідження. Випробувальний стенд, що використовується для випробування шарових шарнірів, повинен повністю відтворювати рухи та навантаження, що припадають на шарніри в реальних умовах.

Крім того, щоб мати можливість повною мірою довіряти результатам стендових випробувань, необхідна їх перевірка даними, отриманими в реальних умовах [4].

У цій роботі було запропоновано новий спосіб випробувань та

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

діагностування кульових шарнірів підвіски автомобілів - випробування та діагностування шарнірів спільно з іншими елементами підвіски. Цей спосіб був обумовлений конструкцією випробувального стенду [73].

### 1.5.Огляд конструкцій стендів для випробувань кульових шарнірів

Стенд для випробувань кульових шарнірів або кермових тяг автомобілів на довговічність з імітацією експлуатаційних навантажень та рухів [74]. Стенд включає опорні елементи для кріплення кульового пальця, силову раму, два силових приводи, два механізми для отримання робочих рухів - гойдання корпусу і повороту пальця (рисунок 1.9).

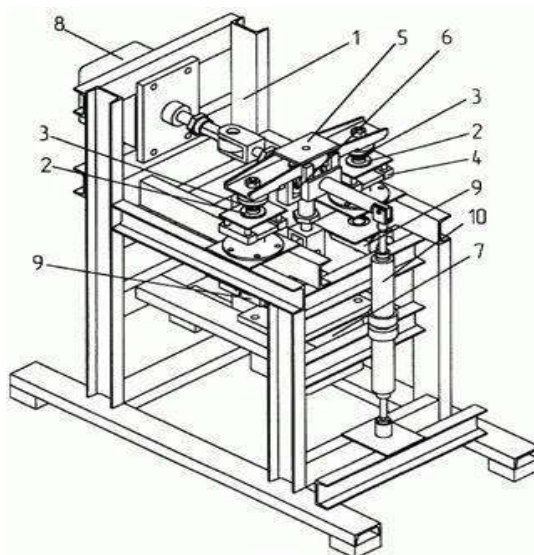


Рисунок 1.9 - Стенд для випробування шарових шарнірів на довговічність:

*1 - рама, 2 - фланці, 3 - шарніри, 4 - поворотні опори, 5 - траверса кочення, 6 - вузол розв'язки зусиль, 7 - силові приводи поздовжнього впливу, 8 - силові приводи поперечного впливу, 9 -привід повороту кульового пальця, 10 - привід кочення траверси*

Недоліком даного випробувального стенду є необхідність підключення до пневмолінії зі стисненим повітрям для роботи.

Відомий стенд для випробування поворотних кулаків транспортних засобів, що включає в свою конструкцію основу із закріпленими на ньому біговими барабанами. Недолік конструкції полягає в тому, що запропонований стенд не має можливості силового навантаження при випробуваннях кульових опор.

Є стенд, спрямований збільшення діапазону навантажень, визначення напрацювання кульового шарніра і має можливість створювати навантаження, відповідні реальним умовам експлуатації автомобіля [75] (рисунок 1.13).

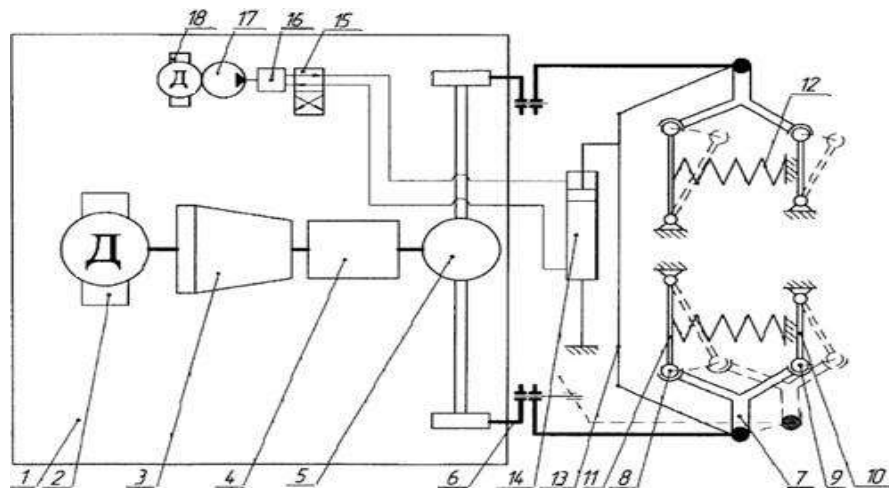


Рисунок 1.10 - Стенд для випробування кульових опор кермових тяг:

1 - станина, 2 - електродвигун, 3 - коробка передач, 4 - коробка передач, 5 - міст, 6 - кривошипно-шатунний механізм, 7 - поворотний кулак, 8, 9 - кульові опори, 10 - верхній поперечний важіль; поперечний важіль, 12 - пружина, 13 - поперечна тяга, 14 - гідроциліндр подвійного дії, 15 – розподільник золотникового типу, 16 – блок автоматичного управління, 17 – гідронасос, 18 – електродвигун

Даний стенд може створювати переміщення поворотного кулака,

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ				21

аналогічно до реальних умов експлуатації автомобіля, створюючи тим самим навантаження на кульові шарніри згідно з реальними умовами експлуатації. На малюнку 1.14 представлений стенд прискорених випробувань кульових опор на відмову від ударного навантаження та матеріалу кульових опор ударним впливом [76]. Недоліком цього стенду є обмеженість його застосування. Він може бути використаний лише для випробувань на відмову (рисунок 1.11).

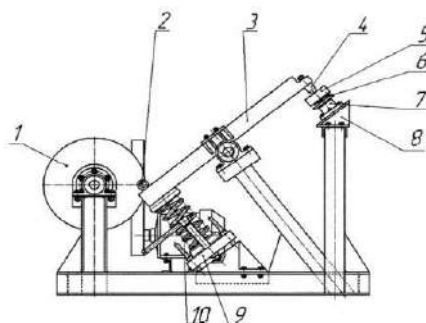


Рисунок 1.11 - Стенд прискорених випробувань кульових опор на відмову від ударного навантаження та матеріалу кульових опор ударним впливом:

*1 - маховик, 2 - ролик, 3 - коромисло, 4 - бойок, 5 - ковадло, 6 - кульова опора, 7 - підставка, 8-упор, 9 - механізм попереднього стиснення пружини, 10 -пружина.*

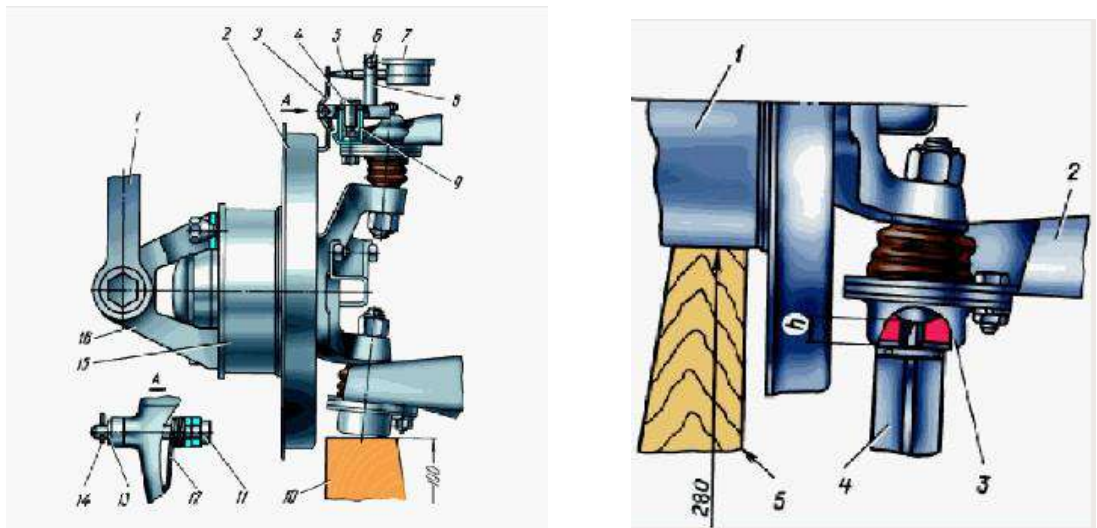
### **1.6.Механічні способи визначення технічного стану кульових шарнірів підвіски легкових автомобілів**

У двохвальної підвісках перевіряються зазори у верхніх та нижніх кульових шарнірах. Зазори для автомобілів сімейства ВАЗ 2101-2107 перевіряються за допомогою пристрою 02.8701.9500 (рисунок 1.12).

Якщо  $h \geq 11,3$  мм (рисунок 1.12 б), шарнір необхідно зняти з

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

автомобіля і ретельно оглянути. Корпус шарніра не повинен мати деформацій, тріщин, а мастилі не повинна містити сторонніх частинок. Присутність у мастилі сторонніх частинок, дефектів на корпусі шарніра, а також значення  $h \geq 11,8$  мм – показує необхідність заміни деталі [78].



а)

б)

Рисунок 1.12 - Схема перевірки кульових шарнірів механічним способом: а) замір зазору у верхньому кульовому шарнірі пристосуванням 02.8701.9500:1 – динамометричний ключ; 2 – захисний кожух гальма; 3 – важіль; 4 – гвинт; 5 - подовжувач індикатора; 6 – болт; 7 – індикатор; 8 - основа; 9 – втулка; 10 – колодка; 11 - вісь; 12 - пружина; 13 – шайба; 14 – шплінт; 15 - маточина колеса; 16 – кронштейн; б) - схема перевірки нижніх кульових шарнірів: 1 - маточина колеса; 2 – нижній важіль; 3 - нижній шаровий шарнір; 4 – штангенциркуль; 5 - дерев'яна колодка

Недоліками даного способу є необхідність встановлення та регулювання додаткових пристроїв, низька точність вимірювання, пов'язана з напрямком навантаження в шарнірі під час перевірки, яка не

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

відповідає осьовому навантаженню.

Інший спосіб перевірки кульових опор за значенням величин осьового та радіального зазорів здійснюється на діагностичному стенді (пристосуванні 02.8701.9502) (рисунок 1.16 а б).

Якщо величина радіального проміжку перевищує 0,7 мм, шарнір необхідно замінити [79]. Аналогічно проводиться перевірка осьового зазору в шарнірі, заздалегідь змінивши його фіксацію в пристрої (рисунок 1.16 б).

Недоліком даного способу є необхідність спеціального діагностичного стенда (пристосування), а також необхідність зняття кульового шарніра з автомобіля для перевірки.

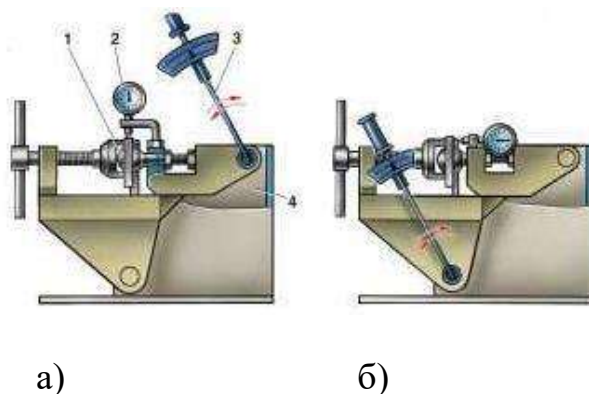


Рисунок 1.13 - Перевірка кульового шарніра на пристрої 02.8701.9502:

*а) схема перевірки радіального зазору; б) - схема перевірки осьового зазору. 1 – кульовий шарнір; 2 – індикатор; 3 – динамометричний ключ; 4 – пристосування 02.8701.9502*

Для визначення зазорів у шарових шарнірах в умовах великих сервісних центрів доцільно застосовувати електрогідравлічні детектори зазорів ходової частини. Такий стенд включає одну або кілька

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

стаціонарно розташованих платформи з нерухомими плитами, що мають антифрикційні налагодження для запобігання ковзання коліс і рухомих майданчиків, які переміщуються навколо осі штоків гідроциліндра (рисунок 1.14, а).

Контроль сполучення в ходовій частині здійснюється візуально виконуючим працівником за допомогою ліхтаря, вбудованого в переносний пульт управління (рисунок 1.14 б).

Управління переміщенням майданчиків здійснюється за допомогою натискання на кнопки розміщеними на переносному пульті управління.

Вищезазначений спосіб діагностики має істотні недоліки - неможливістю визначення чисельної величини зазору.



а)



б)

Рисунок 1.14 - Електрогідравлічний детектор люфтів ходової частини:

*а) робоча частина детектора зазорів; б) - пульт управління детектором зазорів: 1- вбудований ліхтар; 2 – вимикач ліхтаря; 3 - вимикач рухомих майданчиків*

## **2. ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ОСІВОГО ЗАЗОРУ У**

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

## ШАРНІРАХ ПЕРЕДНІЙ ПІДВІСКИ ТИПУ «МАКФЕРСОН» ЛЕГКОВИХ АВТОМОБІЛІВ.

Будь-який технічний об'єкт характеризується певною кількістю основних параметрів, за величиною яких можна з високою достовірністю визначити його технічний стан. Для кульових шарнірів передньої підвіски типу МакФерсон легкового автомобіля таким параметром, що характеризує його технічний стан, є осьовий зазор  $h$ .

Період експлуатації кульового шарніра з моменту установки на автомобіль і до його зняття з автомобіля умовно можна розділити на три періоди: період приробітку, збільшення напрацювання вузла  $N$  і вихід з ладу [10].

У кульових шарнірах передньої підвіски типу «МакФерсон» легкового автомобіля виникають навантаження  $\square\Pi$ , напрямком якого відповідає напрямку поздовжньої осі автомобіля;  $\square B$  - вертикальне навантаження і  $\square B$  - навантаження спрямоване перпендикулярно до поздовжньої осі автомобіля в горизонтальній площині (рисунок 2.1). Розрахунок навантажень зроблений на прикладі автомобіля «Daewoo Nexia», це необхідно при проектуванні стенду для діагностування та випробування елементів підвіски, який повинен створювати відповідні навантаження в кульовому шарнірі, що за величиною перевищують максимальні навантаження, що виникають у кульовому шарнірі автомобіля при його експлуатації.

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

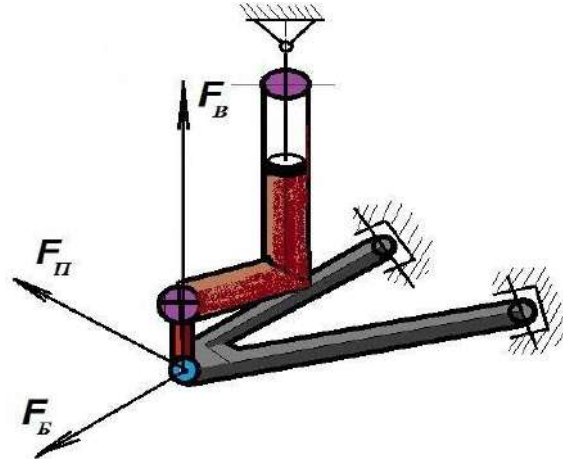


Рисунок 2.1 - Напрям сил, що діють на кульовий шарнір в підвісці типу «МакФерсон»

Для розрахунку передньої підвіски необхідно спочатку визначити діючі сили та моменти. Визначення сил і моментів ґрунтується насамперед на статистичних навантаженнях від підресорених мас автомобіля. При розрахунку підвіски типу «МакФерсон» слід враховувати кут  $\theta$  установки колу в поперечній площині, кут нахилу стійки в поперечній площині  $\theta$  (відповідає поперечному нахилу осі повороту колеса) і кут нахилу нижнього важеля підвіски  $\beta$  [2, 82, 83].

Вихідні дані наведено у таблиці 2.1 [84]

Таблиця 2.1 - Вихідні дані для розрахунку навантажень у

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

кульовому шарнірі передньої підвіски типу "МакФерсон" для автомобіля "Daewoo Nexia"

№ п/п	Параметр	Позначення	Величина	Одиниця виміру
1	2	3	4	5
1	кут установки колеса у поперечній площині	$\gamma_0$	0	градус
2	кут нахилу стійки у поперечній площині	$\delta_0$	13	градус
3	кут нахилу нижнього важеля підвіски	$\beta$	2,18	градус
4	маса автомобіля	$M_a$	1530	кг

5	ширина шини	-	0,185	м
6	висота профілю шини	-	60	% від ширини
7	діаметр колісного диска	-	0,35	м
8	рекомендований тиск у шинах	$p$	2,0	МПа
9	жорсткість шини	$c$	170000	Н/м
10	дозволена максимальна маса на передню вісь	$G$	7900	Н
11	навантаження на колесо	$NG$	3950	Н
12	бічна сила у плямі контакту колеса з дорогою	$\pm S$	2271,3	Н
13	вага колеса та маточини	$UR$	100-	Н

									Арк.
									28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ				

			150	
14	вага всіх безпружинних деталей передньої підвіски	$UV$	420	Н
15	кут подовжнього нахилу осі повороту	$\varepsilon$	2	градус
16	кут зміщення осі амортизатора щодо осі повороту	$\alpha$	6	градус
17	Плечо обкатки	$R_{0st}$	-0,07	м
18	відстань від поверхні дороги до центру кульового шарніра колеса, при статичному положенні автомобіля та максимально допустимого навантаження	$d_{про}$	0,17	м
19	теж при гальмуванні	$d_{0T}$	0,163	м
20	кут нахилу поперечного важеля при гальмуванні	$\beta_T$	- 6, 75	градус
21	Висота розташування підвіски від місця кріплення штока амортизатора в брызговику автомобіля до поверхні дороги при номінальному навантаженні	$H^{ст}$	0,82	м

Верхнє значення нормальної сили становить 6320 Н, нижнє значення нормальної сили 1580 Н.

									Арк.
									29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ				

Бічна сила  $\pm S$ , що діє в плямі контакту колеса з дорогою в протилежних напрямках, відрізняється від мінливої тільки за величиною (через наявність нерівностей на дорозі) і постійною за напрямком вертикальної сили □.

Значення бічної сили становить 2271,3 Н [2].

Для розрахунку сил, що діють на елементи підвіски, розглядаємо умови, за яких зберігається рівновага у вузлах передньої підвіски. Величина та напрямок цих сил задають напругу та тип навантаження для окремих елементів. Розрахунок здійснюється з урахуванням наступних сил, що діють у плямі контакту колеса з дорогою: поздовжня  $L$ , вертикальна  $N$ , бічна  $S$ .

Значення сил  $S$  та  $N$  залежить від якості дорожнього покриття. Поздовжня сила  $L$  залежить від моменту створюваного на колесі, що розглядається при гальмуванні автомобіля. Для знаходження середнього значення величини сил, що діють на кульові шарніри під час руху автомобіля, необхідно проаналізувати два варіанти: при рівномірному прямолінійному русі та при гальмуванні автомобіля з максимальним уповільненням.

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

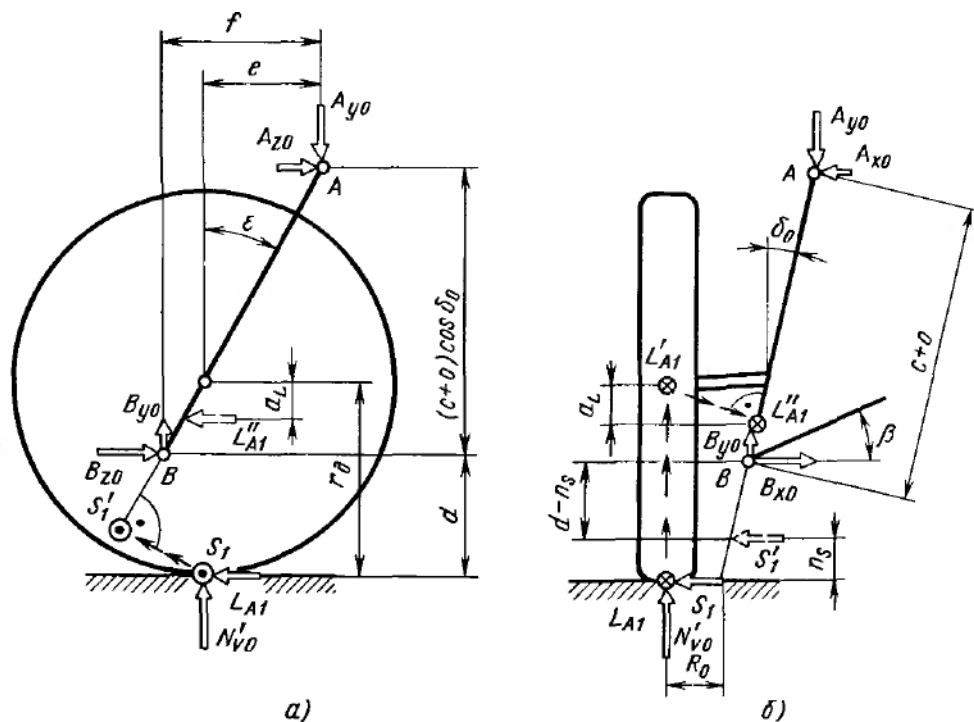


Рисунок 2.2 – Схема дії сил у підвісці, діючих у бік осі Z:

При аналізі інших елементів передньої підвіски застосовують половину маси безпружинних елементів UV. До безпружинних елементів крім колеса зі маточкою можна віднести амортизаційну стійку, гальмівний диск, супорт і колодки, важіль шарніром та зовнішній шарнір рівних кутових швидкостей. Приблизна вага всіх безпружинних деталей передньої підвіски  $UV=420$  Н [2].

$$N'V = 3950 - 210 = 3740 \text{ Н}$$

Вихідні дані для розрахунку навантажень у кульовому шарнірі передньої підвіски типу МакФерсон для автомобіля Daewoo Nexia:

- кут поперечного нахилу осі повороту  $\delta_0 = 13^\circ$  необхідний для переміщення несучого шарніра в область колеса і дозволяє отримати негативне плече обкатки і зменшити відрізок b;
- кут поздовжнього нахилу осі повороту  $\epsilon = 2^\circ$  необхідний

повернення керованих коліс в нейтральне положення після їх повороту.

- кут  $\alpha = 6^\circ$  зміщення осі амортизатора щодо осі повороту необхідний отримання негативного плеча обкатки;

- плече обкатки  $R_0 \text{ ст} = -7$  мм призводить до зниження плеча дії вертикальних зусиль, сил при уповільненні та прискоренні на амортизаторну стійку;

- відстань  $d_{\text{про}} = 0,17$  м (170 мм) від поверхні дороги до центру шарового шарніраколеса, визначається при статичному положенні автомобіля та максимальному навантаженні. При уповільненні автомобіля до  $t = 0,163$  м (163 мм);

- кут нахилу поперечного важеля  $\beta = 2^\circ 15'$  приймається з урахуванням, що при русі автомобіля при мінімальних коливаннях підвіски на рівній дорозі автомобіль матиме максимально стійке положення при колії передніх коліс 1400 мм. При уповільненні  $\beta_t = -6^\circ 45'$ ;

- висота підвіски від точки кріплення штока амортизатора на бризковику крила автомобіля до поверхні дороги при номінальному навантаженні на вісь дорівнює  $H^{\text{ст}} = 820$  мм (без навантаження  $H^{\text{ст}} = 860$  мм.) При уповільненні  $H^{\text{ст}}_t = 730$  мм [84];

- відстань  $(z + o)$ , що визначає довжину амортизаторної стійки при номінальному статичному навантаженні автомобіля, приймаємо рівною 670 мм. При уповільненні 620 мм;

- довжина важеля ВД приймаємо рівною  $L_p = 355$  мм;

- хід підвіски  $S = 158$  мм (рисунок 2.1).

Отримуємо:  $V_y = 4,6$  Н;  $V_x = 1049,3$  Н;  $V_z = 107,9$  Н.

При гальмуванні автомобіля в передній підвісці можуть виникати більші навантаження, ніж під час руху по дорозі з поганим покриттям.

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Розрахунок сил які у передній підвісці при гальмуванні автомобіля зводиться до розрахунку величини навантаження  $\square\square$ , т.к. передня вісь при гальмуванні виявляється більш навантаженою порівняно з прямолінійним рівномірним рухом. Для визначення величини сил, що виникають у передній підвісці автомобіля при гальмуванні, автомобіль необхідно розглянути як систему (рисунок 2.3).

Оскільки координати центру ваги для автомобіля залишаються постійними, то величину можна розглянути для випадку рівномірного прямолінійного руху автомобіля (рисунок 2.4). Отримуємо для рівномірного прямолінійного руху (рисунок 2.4) сума моментів щодо точки В:

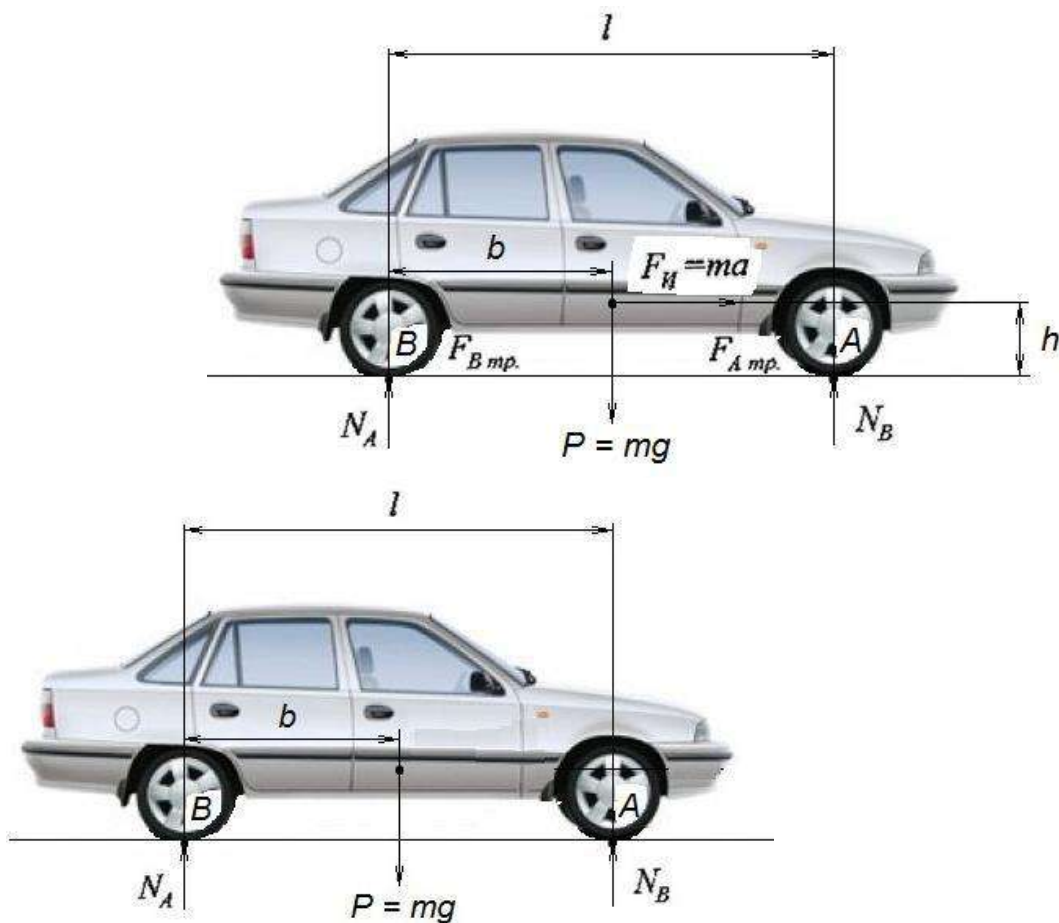


Рисунок 234 – Сили, що діють на автомобіль Daewoo Nexia при

рівномірному прямолінійному русі

Висота центру важкості легкового автомобіля  $h$  приймається 0,5 від ширини колії і не може бути більшим по можливості бічного перевороту при проходженні повороту автомобілем. При перевезенні важких вантажів ця умова може не дотримуватися.

Отримані значення сил, що діють на кульовий шарнір передньої підвіски автомобіля «Daewoo Nexia» представлені у таблиці 2.2 та малюнку 2.1.

Таблиця 2.2 – Навантаження, що діють на шаровий шарнір у підвісці автомобіля

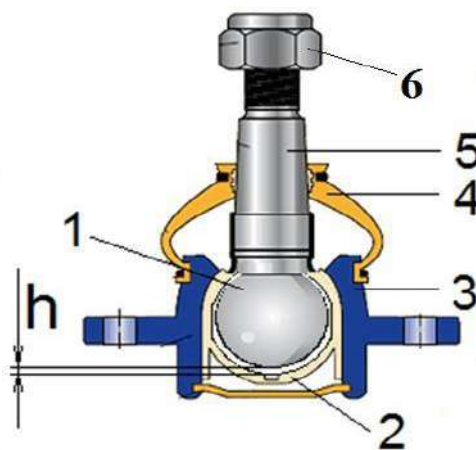
Навантаження, Н	При рівномірному прямолінійному русі	При гальмуванні з максимальним уповільненням
Поздовжня	108	149
Бічна	1049	1512
Вертикальна	4,6	-179

Коливання, що виникають в області середньочастотного діапазону пов'язані з присутністю нелінійних елементів в системі, зміною геометрії кінематичних сполучень, крім того впливає випадкове збудження, що з'являється через вплив кінематичних, регулювальних, технологічних, та інших випадкових факторів. Аналіз динаміки у цьому діапазоні здійснюється під час розкладання системи на окремі підсистеми зі зв'язками, які визначаються параметрами типу імпедансу, динамічної жорсткості, податливості [85].

При визначенні діагностичних ознак основне значення має лише відносна зміну деякого параметра моделі та її вплив на вібросигнал. У наших дослідженнях діагностичним параметром є усунення кульового

пальця всередині корпусу шарніра у вертикальній площині, що обумовлено зазором у поєднанні полімерного вкладиша та кульового пальця.

Стенд складається з наступних елементів: I - діагностований механізм кульового шарніра (важіль підвіски 1, що утворює єдине ціле з корпусом кульового шарніра 3, з іншого боку спирається на раму стенда 12 через рухоме шарнірне з'єднання 6, за рахунок чого важіль може переміщатися щодо шарніра площини II - виконавчий механізм, який включає гідроциліндр 1, палець шарніра 2, гайку кріплення пальця 4, ступичний підшипник 7, поворотний кулак 8 і напрямний елемент 10).



Частота кінематичних збурень виконавчого механізму перебуває в межах 6 - 18  $\square$ -1. Гідроциліндр 1 дозволяє забезпечити імітацію роботи підвіски (рисунок 2.6).

Рисунок 2.5 – Розріз шарового шарніра:

*1 – сферична частина пальця, 2 – вкладиш, 3 – корпус шарніра, 4 – захисний чохол, 5 – палець, h – зазор у поєднанні «вкладиш-головка кульового пальця»*

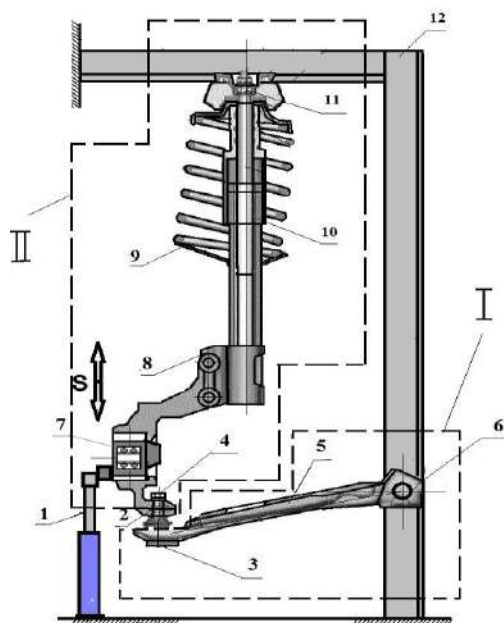


Рисунок 2.6 - Схема механічної частини стенду для діагностування та випробування елементів підвіски легкового автомобіля:

1 – гідроциліндр, 2 – палець кульового шарніра, 3 – корпус кульового шарніра, 4 – гайка кріплення пальця, 5 – важіль, 6 – шарнірне з'єднання, 7 – ступичний підшипник, 8 – поворотний кулак, 9 - пружина, 10 - напрямний елемент, 11 - опорний підшипник, 12 - рама, I – механізм, що сприймає, II - виконавчий механізм

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

### 3. МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ОСІВОГО ЗАЗОРУ У КУЛЬОВИХ ШАРНІРАХ

#### 3.1. Обґрунтування вібраційного способу визначення величини осьового зазору в шарових шарнірах підвіски легкових автомобілів

З точки зору точності вимірювання, інформативності, простоти і швидкості діагностування кульового шарніра, найбільш перспективними, видаються діагностичні способи, засновані на використанні вібраційних ємнісних датчиків (рисунок 3.1), що встановлюються на досліджуваних сполученнях підвіски і ходової частини. Їхнє переміщення призводить до появи вібрації в них, що призводить до утворення електричного сигналу, який можна перетворити на величину зазору. Такі способи діагностування в умовах автосервісних підприємств найбільш ефективно застосовувати разом з електрогідравлічними детекторами [86].



Рисунок 3.1 – Різні варіанти ємнісних вібраційних датчиків

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Досліджуваний параметр, що характеризує технічний стан шарового шарніра - осьовий зазор  $h$  (рисунок 2.5). При зростанні величини осьового зазору до  $h = 0,7$  мм і більше шарнір непридатний для подальшої експлуатації [95-97].

Метою експериментальних досліджень є одержання залежностей між величиною осьового зазору  $h$  у кульових шарнірах та показаннями вібродатчиків встановлених на робочих елементах стенду. На основі отриманих результатів робимо розробку способу, що дозволяє визначати осьовий зазор  $h$  в кульових шарнірах, встановлених на автомобілях, за допомогою вібродатчиків, без розбирання та зняття шарнірів з автомобіля. Наявність вібрації обумовлено присутністю зазорів між сферичною частиною пальця шарового шарніра та полімерним вкладишем. Вібрації з'являються в кульовому шарнірі при русі автомобіля, при різноспрямованих навантаженнях, що з'являються в досліджуваному вузлі при зміщенні колеса, коли воно переїжджає нерівності дорожнього полотна, розгоні, гальмуванні та русі автомобіля на повороті. Вібросміщення (вібропереміщення) вимірюється при низькочастотній вібрації з верхнім кордоном частотних 100-200 Гц. Віброшвидкість, основний параметр вібрації, він характеризує коливальну енергію. Амплітуда складових віброшвидкості в досить широкій смузі частот (10 - 1000 Гц) рівномірна, що спрощує вимірювання та підвищує достовірність [99]. Віброприскорення характеризує динамічний силовий вплив елементів один на одного всередині механізму, що призводить до вібрації, що розглядається. У нашому випадку це взаємодія сферичної частини пальця та полімерного вкладиша у кульовому шарнірі. Застосування віброприскорення обґрунтоване, тому що його не потрібно спеціально перетворювати, воно вимірюється м/сек<sup>2</sup>.

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

### 3.2. Проектування стенду для діагностування та випробування елементів підвіски, конструкція, розрахунок, принцип дії

Аналіз пристрою та принципу дії стендів для випробування та діагностування кульових шарнірів та підвісок, виявив їх недоліки, які були мінімізовані у запропонованій конструкції стенду, що дозволяє проводити діагностичні та ресурсні дослідження елементів підвіски легкового автомобіля, зокрема кульових шарнірів (рисунок 3.4). Розроблений стенд захищений патентом РФ [102], він поєднує в собі компактність, простоту виконання з високим рівнем відповідності реальним умовам експлуатації кульових шарнірів (додаток Б).



Рисунок 3.4 – Загальний вигляд стенду для випробування та діагностування елементів підвіски. Вид з боку електрогідравлічного приводу

Розроблений стенд для випробування та діагностування елементів підвіски можна віднести до нового типу випробувальних стендів, що поєднує в собі випробування передньої підвіски автомобілів та випробування кульових шарнірів незалежно від інших елементів підвіски, володіючи при цьому перевагами обох типів випробувань та

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

мінімізують їх недоліки.

Основа стенду – правий бік модернізованої передньої підвіски типу "МакФерсон" легкового автомобіля "Daewoo Nexia" жорстко закріплена в одній точці на підставі (опорний підшипник стійки) і шарнірно закріплена в двох точках на підставі (сайлент-блок та гумова втулка) (рисунок 3.5, 3.6). Амортизаційна стійка при цьому замінюється на напрямний елемент (поз. 9, рисунок 3.2), що забезпечує вертикальне переміщення без опору. При цьому зберігається кінематика руху та всі навантаження на стенді в порівнянні з автомобілем.

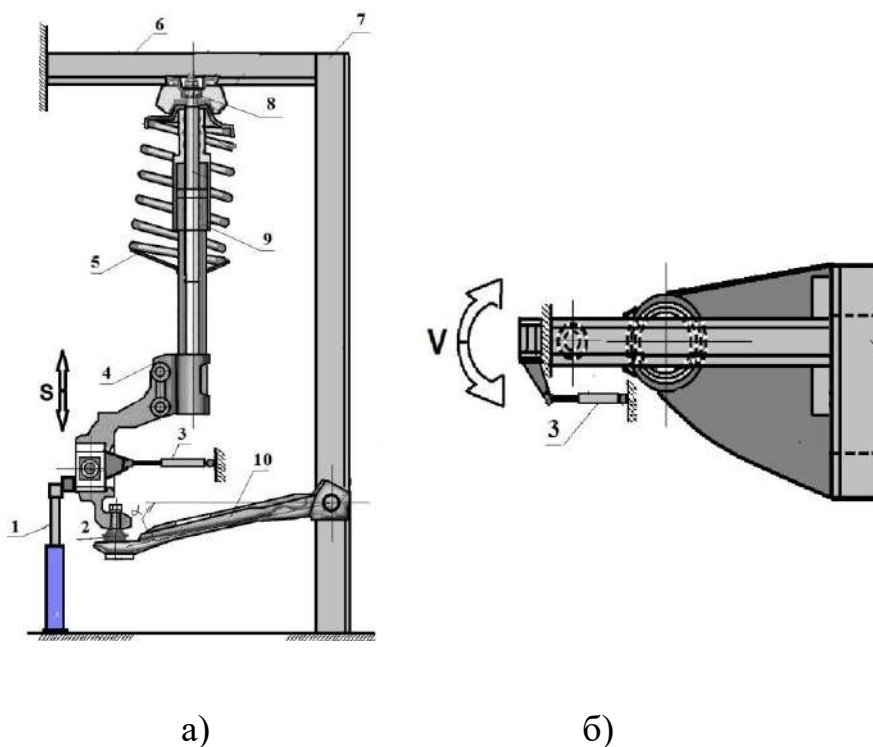


Рисунок 3.5 - Схема механічної частини стенду для діагностування та випробування елементів підвіски: а) Вид збоку; б) вид зверху

1 – Основний гідроциліндр, 2 – кульовий шарнір, 3 – горизонтальний гідроциліндр, 4 – кулак поворотний, 5 – пружина, 6 – верхня рама, 7 – бічна рама, 8 – опорний підшипник, 9 – напрямний елемент, 10 – важіль

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

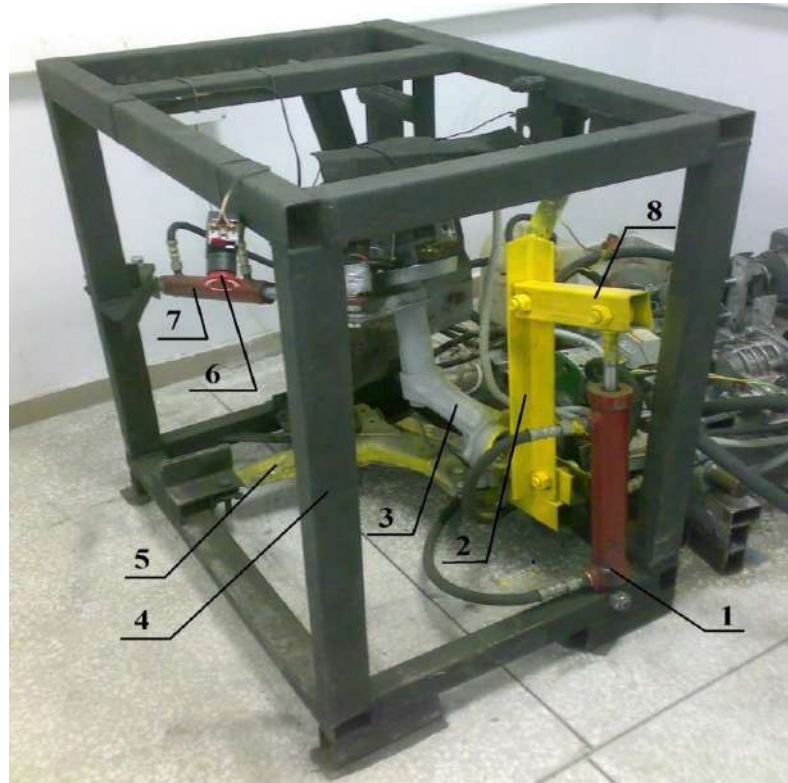


Рисунок 3.6 - Загальний вигляд механічної частини стенду для випробування та діагностування елементів підвіски:

*1 – вертикальний (основний) гідроциліндр, 2 – вертикальний важіль гідроциліндра, 3 – поворотний кулак, 4 – рама стенду, 5 – важіль, 6 – кнопка аварійного відключення стенду, 7 – горизонтальний гідроциліндр, 8 - горизонтальний важіль гідроциліндра*

Джерелом навантажень і рухів у розробленому стенді для випробування та діагностування елементів підвіски є гідравлічний привід.

Вертикальний гідроциліндр під час роботи створює навантаження, аналогічні тим, що виникають у передній підвісці легкового автомобіля при проїзді через нерівності дороги, прискорення, уповільнення, поворот. Від насоса 11 масло подається в розподільник 6, який керує

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

горизонтальним гідроциліндром 3 двосторонньої дії, що переміщає поворотний кулак разом з циліндром відносно нерухомого штока і важеля в кульовому шарнірі. Пружина обертається навколо осі в опорному підшипнику. Робота горизонтального гідроциліндра 3 імітує поворот автомобіля. Зміна тиску в запобіжних клапанах 13 і 20 забезпечує роботу гідроциліндрів з різними частотами та відповідними навантаженнями в шарнірі

Вихідні параметри для визначення навантажень, що виникають у кульовому шарнірі на стенді для випробування та діагностування елементів підвіски:

Основний електродвигун - потужність 3,0 кВт, номінальна кількість оборотів - 2860

хв-1.

Додатковий електродвигун - потужність 0,25 кВт, номінальна кількість обертів - 1000 хв-1.

Параметри насосів НШ-6 та НШ-32 наведені у п.3.2.2.

Основний гідроциліндр двосторонньої дії – Ц 40х250-11-8811. Діаметр поршня

40 мм, хід штока 250 мм. Додатковий горизонтальний гідроциліндр двосторонньої дії Ц 40х250 1100392. Діаметр поршня 40 мм, хід штока 250 мм.

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42



Рисунок 3.7 - Нахил вертикального гідроциліндра в поздовжній площині на кут  $\varphi_{Ц}$

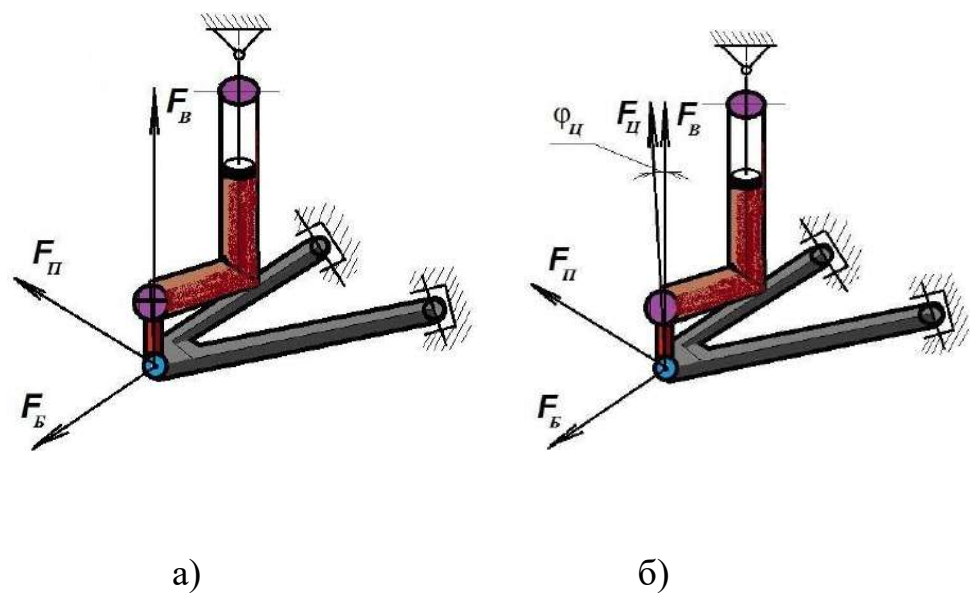


Рисунок 3.7 - Напрямок сил, що діють на шаровий шарнір:

*а) у підвісці автомобіля; б) у стенді для випробування та діагностування елементів підвіски*

При проведенні робіт на стенді для випробування та діагностування елементів підвіски в лабораторних умовах для діагностування величини осьового зазору в шарових шарнірах, тиск в основній гідролінії змінюється і має два фіксованих значення 1,8 і 1,2 МПа. При цьому для значення тиску 1,2 МПа вертикальне навантаження, згідно з формулою 3.4 становить 2709 Н. Запобіжний клапан, що має вбудований регулятор тиску, дозволяє змінювати вертикальне навантаження в межах від 150 до 4063 Н, а поздовжнє навантаження від 12, до 355 Н.

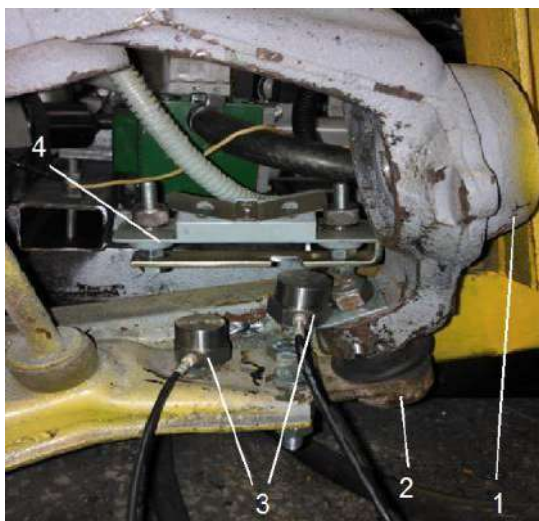
Таблиця 3.1 – Максимальні сили, що діють на шаровий шарнір у підвісці автомобіля та в стенді для випробування та діагностування елементів підвіски

Максимальні сили, Н	Автомобіль «Daewoo Nexia»	Діагностичний стенд
Поздовжня, □п	149	12 - 355
Бічна, □Б	1512	30 - 1591
Вертикальна, □В	179	150 - 4063

### 3.3. Пристосування та вимірювальні пристрої для проведення лабораторного стендового експериментального дослідження

Для проведення експериментальних досліджень використовувався стенд для випробування та діагностування елементів підвіски, два вібрдатчики ДН-3 (рисунок 3.8), з'єднувальні дроти до них, аналого-

цифровий перетворювач (АЦП) зі спеціалізованими схемотехнічними рішеннями, комп'ютер із встановленим програмним забезпеченням для обробки сигналів від вібродатчиків LabVIEW SignalExpress, пристрій для контролю зазору в кульовому шарнірі, що складається з індикатора годинного типу ІЧ-10 з вимірювальним наконечником та пристрій для його встановлення на стенді, тридцять шарових шарнірів з різним ступенем зносу , Загальний вигляд лабораторного комплексу для визначення величини осьового зазору в шаровому шарнірі легкового автомобіля представлений на малюнку.



а)



б)

Рисунок 3.8 – Вимірювальна частина стенду: а) вібродатчики встановлені на стенді; б) загальний вигляд вібродатчика. 1 - поворотний кулак, 2 кульовий шарнір, 3 - вібродатчики ДН-3, 4 - пристрій для вимірювання величини осьового зазору

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

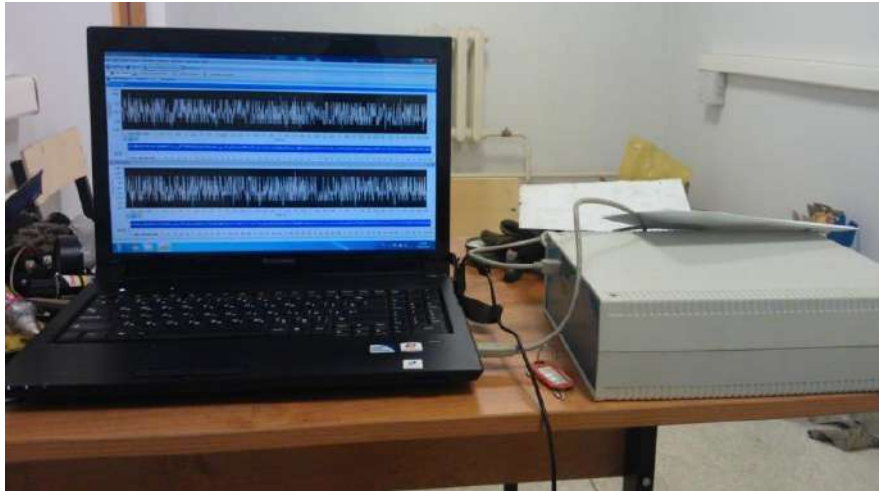
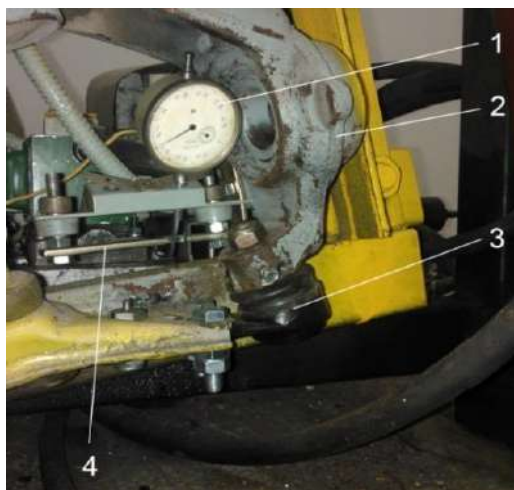
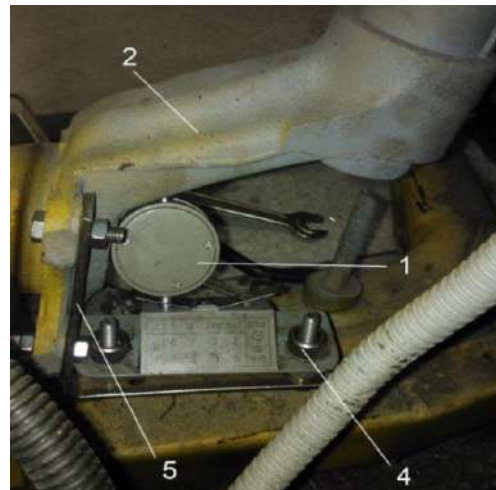


Рисунок 3.9 – Загальний вид перетворювальної та обробної частини лабораторного діагностичного комплексу



а)



б)

Рисунок 3.10 - Пристрій для вимірювання зазору в кульовому шарнірі, встановлений на стенді:

*а) вид спереду; б) вид ззаду; 1 – індикатор годинного типу ІЧ – 10, 2 – поворотний кулак, 3 – кульова опора, 4 – пристрій для вимірювання зазору, 5- кронштейн кріплення пристрою*

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Дослідження показали високу шумованість сигналів при вимірюванні віброприскорення, що тягне за собою необхідність застосування схемотехнічних рішень для мінімізації негативного ефекту. Структурна схема, що реалізує це завдання, представлена малюнку 3.18

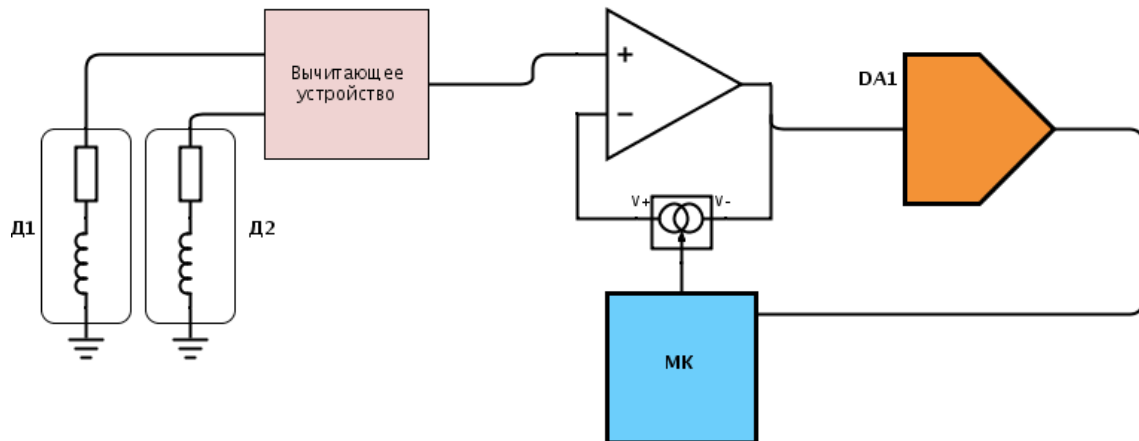


Рисунок 3.11 – Структурна схема пристрою вимірювання вібрації

Сигнали з вібродатчиків Д1 і Д2 надходять на пристрій, що віднімає. Причому Д1 встановлено безпосередньо вздовж робочої осі шарового шарніра, а Д2 встановлено на важелі підвіски. У результаті на виході пристрою, що віднімає, з'являється сигнал з урахуванням зменшення зовнішніх шумових вібрацій, для підвищення точності вимірювання. Слід зазначити, що необхідно забезпечити паралельність робочих осей вібродатчиків. За пристроєм, що віднімає, сигнал надходить на інструментальний підсилювач з змінним коефіцієнтом посилення, керованим мікроконтролером (МК), для нормалізації і попередньої обробки сигналу, для подальшого перетворення АЦП (DA1). Дані з АЦП буферизуються в пам'яті мікроконтролера, потім надходять на комп'ютер для подальшого аналізу.

### 3.4. Методика проведення лабораторного стендового експериментального дослідження

Аналіз таких питань, як контроль стану машин за результатами вимірювань вібрацій на частинах, що не обертаються, системи вимірювань вібрації обертових валів, прилади вібровимірювальні, позначення та одиниці величин вібрацій, установки випробувальні вібраційні, калібрування датчиків вібрації та удару та інші нормативні документи був використаний для розробки способу визначення технічного стану кульових шарнірів, в умовах лабораторних стендових досліджень та в умовах автосервісного підприємства.

Процес проведення експериментів включає:

1. Встановлення шарніру на стенд;
2. Контрольний вимір осьового зазору за допомогою пристрою для вимірювання осьового зазору.
3. Прогрів стенду (робота стенду як малих навантажень протягом 2 хв.). Встановлює випробувальний стенд у робоче положення (точка спрацьовування нижнього робочого кінцевого вимикача).
4. Запуск та налаштування програмного забезпечення, перевірка роботи АЦП та вібродатчиків.
5. Налаштування робочого тиску в основній гідролінії на величину 1,8 МПа за допомогою регульовального штока запобіжного клапана основної гідролінії. Розмір тиску контролюється за показаннями манометра основний гідролінії.
6. Запуск стенду та зняття показань вібродатчиків за допомогою комп'ютера та програмного забезпечення LabVIEW SignalExpress.

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Кількість циклів руху випробувального зразка – 12.

7. Зупинка стенду. Перевірка та збереження отриманих даних за допомогою програмного забезпечення LabVIEW SignalExpress.

Параметри, які потребують настроювання та регулювання перед проведенням досліджень на випробувальному стенді:

1) Місце розташування та орієнтація вібродатчиків щодо один одного та щодо випробувального зразка (кульового шарніра).

Для отримання достовірних результатів випробувань перший вібродатчик необхідно розташовувати в контакті з випробувальним зразком з дотриманням паралельності осей вібродатчика поздовжніх і кульового шарніра. Це дозволяє отримувати інформацію про вібрації, що виникають безпосередньо у випробувальному зразку. Другий вібродатчик повинен сприймати загальну вібрацію, характерну для підвіски. Експериментальним шляхом було встановлено, що найбільш оптимальним місцем розташування другого вібродатника є верхня площина підвісного важеля (рисунок 3.19) на відстані  $l=15$  см. від першого вібродатника [86]. Обидва вібродатчики встановлені в одній площині.

2) Місце розташування робочих кінцевих вимикачів та кут їх нахилу визначають:

- момент їхнього спрацьовування при випробуваннях;

- робочий хід штока гідроциліндра і відповідно частоту його роботи, та частоту роботи всього стенду;

- відстані до робочої верхньої та робочої нижньої мертвих точок щодо максимальних верхньої та нижньої мертвих точок (рисунок 3.20).

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

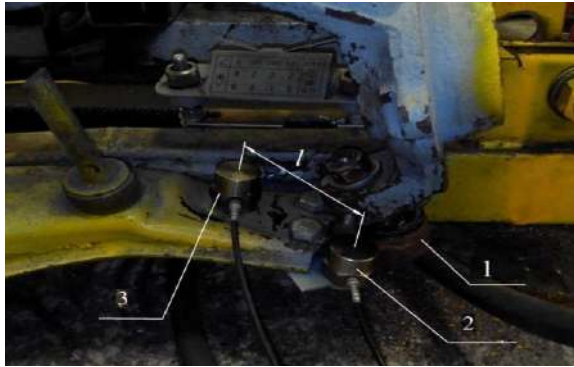
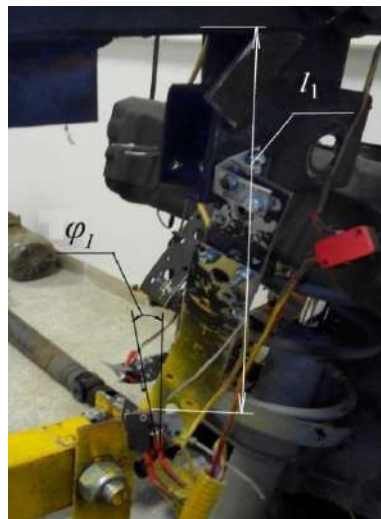
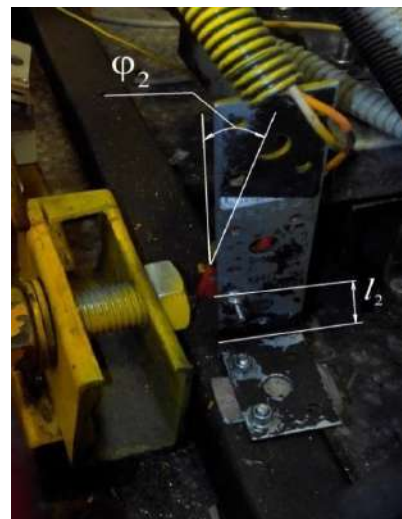


Рисунок 3.12 - Схема розташування вібродатчиків щодо один одного та робочих елементів стенду:

$l$  – відстань між вібродатниками; 1 - випробувальний зразок - шаровий шарнір; 2 – вібродатчик №1; 3 - вібродатчик №2



а)



б)

Рисунок 3.13 - Схема розташування робочих кінцевих вимикачів:

а) - верхній кінцевий вимикач; б) - нижній кінцевий вимикач;

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Експериментальним шляхом встановлено, що нижній робочий кінцевий вимикач повинен бути встановлений на відстані  $l_2 = 3$  см. від нижнього профілю рами (рисунок 3.20 б) під кутом  $\alpha_2 = 20$  градусів. Верхній робочий кінцевий вимикач повинен бути встановлений на відстані  $l_1 = 30$  см. від верхнього профілю рами (рисунок 3.20 а) під кутом  $\alpha_1 = 15$  градусів, що відповідає робочому ходу штока гідроциліндра в 140 мм. Частота роботи стенду у своїй становить 1,8- 2,2 Гц. Відстань від максимальної нижньої мертвої точки до робочої нижньої мертвої точки становить 35 мм. Відстань від максимальної верхньої мертвої точки до робочої верхньої мертвої точки становить 55 мм.

3) Поєднання верхнього поперечного важеля і поздовжнього важеля визначають:

Під час проведення експериментальних досліджень з урахуванням програмного забезпечення LabVIEW SignalExpress маємо графіки залежності величини віброприскорення, від часу проведення експерименту.

Обробка результатів експериментів відбувається так: кожен отриманий графік аналізується, зокрема фіксуються показання кожного циклу – максимальні значення віброприскорення, середні значення віброприскорення, скачки віброприскорення. Таким чином, для аналізу використовуються такі характеристики сигналу

– амплітуда (верхнє та нижнє значення), подвійна амплітуда (пікове та середнє значення), період.

Кожен експеримент складається із 12 циклів (зона б) рисунок 3.14. Цикл – це робота стенду у проміжку часу між повторними спрацьовуваннями одного робочого кінцевого вимикача (зона 2) (у нашому випадку – нижнього).

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

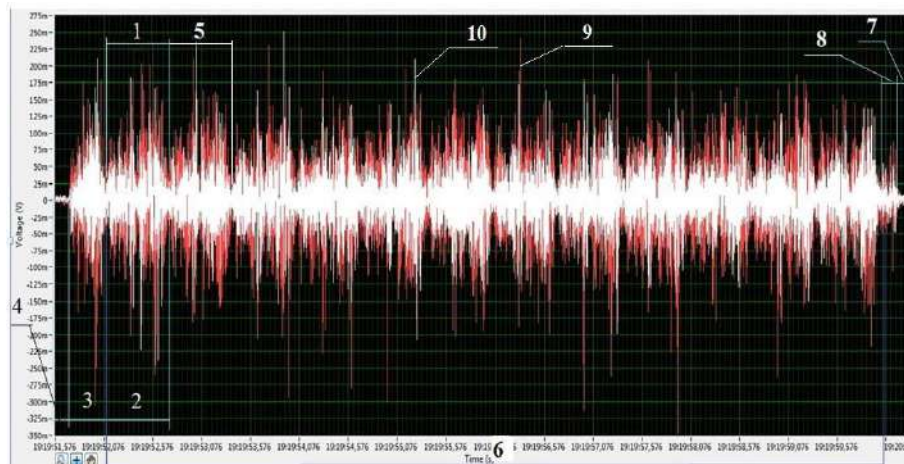


Рисунок 3.14 – Основні характеристики експерименту:

*1 - фаза один, 2 цикл, 3 - початкова фаза, 4 - сигнал попередній включенню стенда (проведення випробувань), 5 - фаза два, 6 - робочі цикли експерименту, 7 – сигнал після вимкнення стенда (завершення випробувань), 8 - кінцева фаза, 9 - графік відповідний датчику, встановленому на випробувальному зразку - кульовий опорі; 10 - графік відповідний датчику, встановленому на важелі підвіски стенду для діагностування та випробування елементів підвіски*

При оцінці отриманих графіків для виключення впливу похибок пов'язаних з пропусками сигналів та хибними сигналами при проведенні експериментів, у кожному графіку оцінюються та порівнюються між собою кожен із 12 циклів. Це дозволяє виключити стрибки сигналів пов'язані з хибними сигналами та пропусками сигналів з подальшого аналізу графіків.

Цикл складається із двох фаз. Фаза один – це проходження верхньої мертвої точки та спрацьовування верхнього робочого кінцевого вимикача (зона 1).

Таблиці даних з експериментів (додаток 1) мають такі позначення:

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

1 - Верхнє максимальне значення амплітуди (середнє арифметичне від усіх фаз експерименту значення максимальної позитивної величини сигналу, без урахування максимальної (пікової) величини сигналу);

2 - Середнє значення верхньої амплітуди (середнє арифметичне від усіх фаз експерименту значення середньої позитивної величини сигналу, без урахування максимальної (пікової) величини сигналу);

3 – нижнє максимальне значення амплітуди (середнє арифметичне від усіх фаз експерименту значення максимальної негативної величини сигналу, без урахування максимальної (пікової) величини сигналу);

4 - Середнє значення нижньої амплітуди (середнє арифметичне від усіх фаз експерименту значення середньої негативної величини сигналу, без урахування максимальної (пікової) величини сигналу);

На другому етапі відбувається порівняльний аналіз трьох експериментів у кожному циклі випробувань та обчислення середніх показників усіх характеристик.

На етапі проводиться порівняльний аналіз усереднених показників показників всіх випробувальних зразків.

У результаті отримуємо по взаємозв'язок величини осьового зазору  $h$  кожного кульового шарніра з усіма характеристиками, отриманими та обробленими в ході проведення експерименту, а також виявляємо більш значущі характеристики та менш значущі характеристики на які впливає осьовий зазор  $h$ .

Для застосування методу діагностування в умови автосервісного підприємства використовуємо за основу метод стендового лабораторного дослідження з внесенням до нього відповідних поправок.

Для проведення експериментального дослідження в умовах автосервісного підприємства використовувався автомобіль «Daewoo Nexia» (рисунок 3.15) та випробувальні зразки - кульові шарніри із свідомо відомими зазорами в поєднанні кульовий шарнір

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

– полімерний вкладиш, два вібродатчики ДН-3 (рисунок 3.25), з'єднувальні дроти до них, аналого-цифровий перетворювач (АЦП), комп'ютер із встановленим програмним забезпеченням – програмою для обробки сигналів від вібродатчиків LabVIEW SignalExpress. При цьому використовувалися ті ж шарніри, що і при проведенні стендового лабораторного дослідження.

Установка датчиків на шарнірах на автомобілі здійснювалася аналогічно встановленню їх на стенді для випробування та діагностування елементів підвіски.



Рисунок 3.15 – Автомобіль Daewoo Nexia, який використовується для проведення досліджень в умовах автосервісного підприємства.

Як джерело зворотно-поступальних рухів підвіски і відповідно вібрацій виникають у кульовому шарнірі використовувався вібраційний стенд для перевірки підвіски легкових автомобілів Zippo 8090.

Методика проведення експериментів за умов автосервісного підприємства аналогічна методики проведення експериментів у лабораторних умовах.

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54



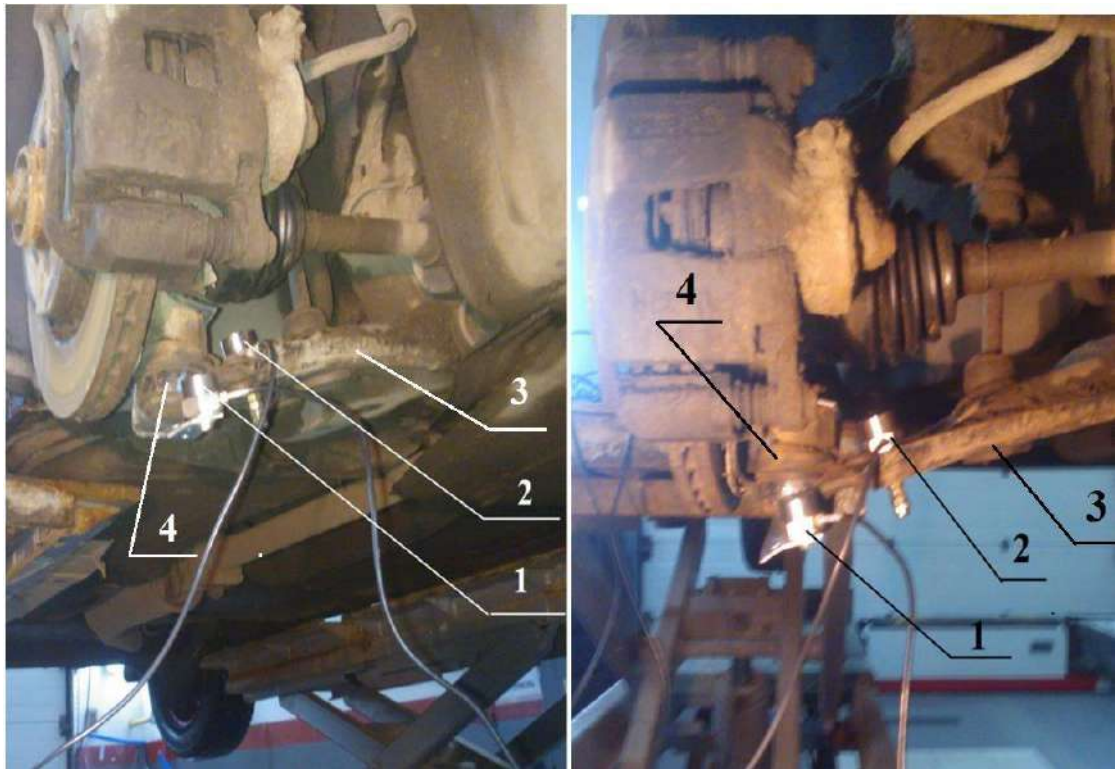
Рисунок 3.16 – Розташування вібродатчиків ДН-3 на автомобілі, що діагностується:

*1 – вібродатчик №1; 2 – вібродатчик №2; 3 – платформа люфт-детектора*



Рисунок 3.17 – Обробні та перетворювальні елементи діагностичного комплексу

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55



а)

б)

Рисунок 3.18 – Встановлення вібродатчиків на автомобіль, що діагностується: а) вид знизу; б) вид спереду 1 - вібродатчик №1, 2 - вібродатчик №2, 3 - важіль підвіски, 4 - Кульовий шарнір (випробувальний зразок)

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

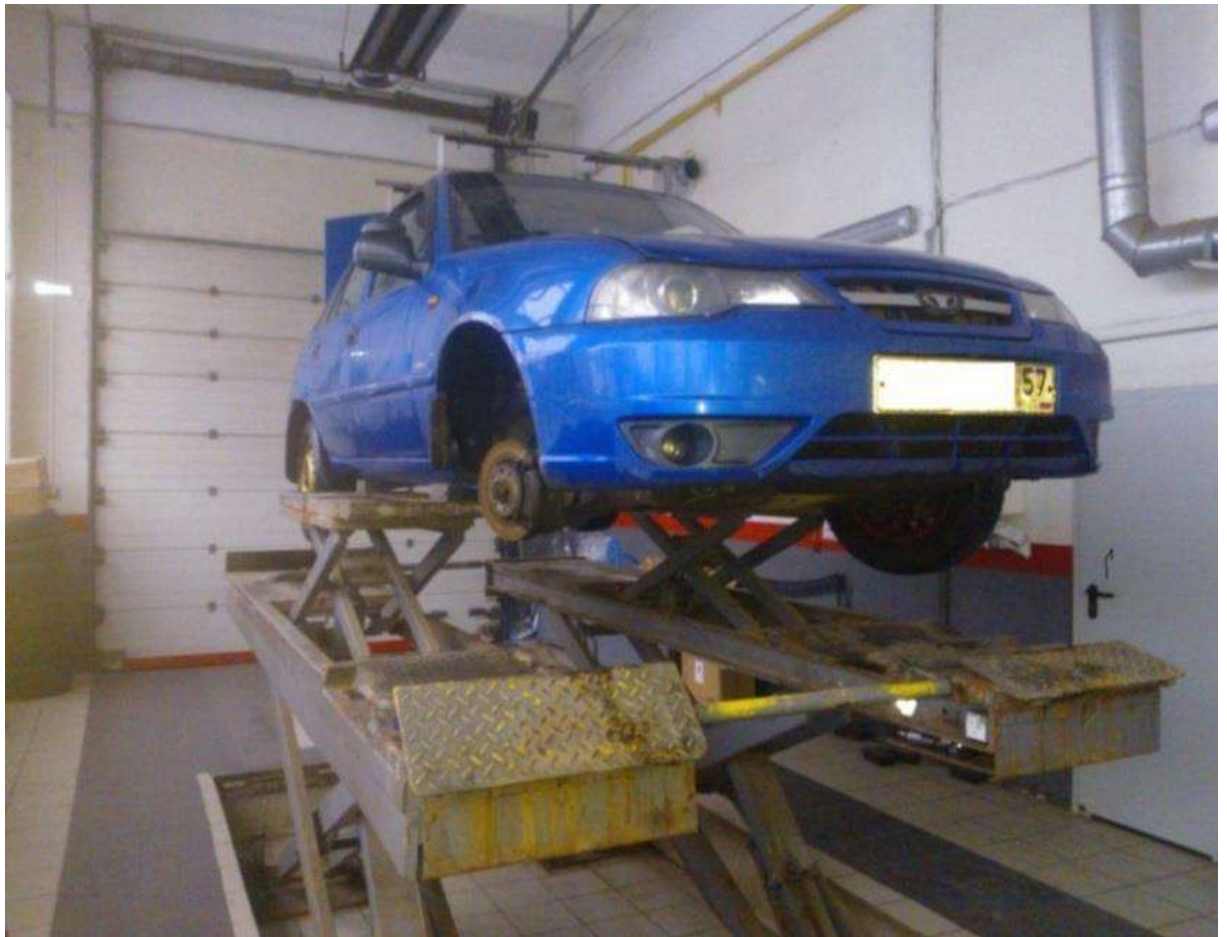


Рисунок 3.19 – Загальний вигляд детектора люфтів Zippo 8090 з автомобілем, що діагностується.

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

#### 4. РЕЗУЛЬТАТИ ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ОСЬОВОГО ЗАЗОРУ У КУЛЬОВИХ ШАРНІРАХ

Для експериментального дослідження використовували тридцять шарових шарнірів з різним ступенем зношеності. Як зразок використовувалася кульовий шарнір №1. Осьовий зазор всіх шарнірів був замірний на стенді механічним способом за допомогою спеціалізованого пристосування. Кожен із шарнірів був пронумерований.

Аналіз даних показав, що подальші дослідження доцільно проводити для шарнірів, представлених у таблиці 4.2, оскільки вони найбільш повно відображають досліджуваний інтервал осьового зазору кульових шарнірів від нового без експлуатації з величиною зазору 0,01 мм, до виробив свій ресурс з величиною зазору більше 0 7 мм.

Таблиця 4.2 - Досліджувані характеристики шарнірів для експериментів для аналізу

Кульовий шарнір	Величина осьового зазору, мм	Ступінь зносу	Характеристика зразка
№1	0,01	відсутня (0,16%)	Новий, без експлуатації
№2	0,24	23,3%	Вилучений з експлуатації
№3	0,39	48,3%	Вилучений з експлуатації
№4	0,54	73,3%	Вилучений з експлуатації

№5	0,68	96,7%	Вилучений з експлуатації
№6	0,81	118,3%	Виробив свій ресурс

Експерименти вважатимуться успішними за умови, що величина осьового зазору до і після експериментів виміряна з допомогою контрольного пристрою відрізняється лише на 10%.

Зразок №1 – кульовий шарнір з величиною осьового зазору  $h = 0,01$  мм, новий без експлуатації на автомобілі. Цей шарнір прийнятий за зразок.

Обробка результатів експериментів представлена при величині тиску гідросистемі 1,8 МПа (частота руху експериментального зразка 2 Гц).

Для наочності зображення на графіках представлені залежності з обрізанням початкової та кінцевої зон (період від початку запису сигналу, до моменту запуску стенда і період від зупинки стенду до моменту закінчення запису відповідно), а також зони руху, що не встановився (момент від початку руху стенду, до точки початку відліку сигналу).

На рисунках 4.1 та 4.2 представлені графіки залежності віброприскорення від часу проведення експерименту для шарніра №1 з осьовим зазором 0,01 мм. Шарнір без експлуатації на автомобілі прийнятий за зразок.

Аналіз графіків показує мінімальні значення віброприскорення характерні для білого, імпульсного та інших випадкових шумів, що виникають у вібродатчиках, сполучних кабелях та аналого-цифровому перетворювачі. Величина напруги одержуваного від вібродатчика при цьому складає у віховому діапазоні 14 - 16 mV, в нижньому діапазоні від -10 до -18 mV. Відсутність віброусокіння в шарнірі пояснюється

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

відсутністю переміщення корпусу шарніра щодо кульового пальця та мінімальним зазором встановленим конструктивно для можливості обертання пальця щодо корпусу шарніра.



Рисунок 4.1 – Загальний вигляд графіка, залежність віброприскорення від часу проведення експерименту, шарнір №1, величина осьового зазору 0,01 мм. Експеримент №1

Аналіз результатів експериментів всіх шарнірів дозволить визначити, якою мірою розроблений спосіб застосуємо для діагностування осьового зазору в кульових шарнірах легкових автомобілів.

Проведений аналіз отриманих залежностей максимальної та середньої амплітуд віброприскорення від величини осьового зазору в шарнірах показав, що отримані дані можуть бути основою для розробленої методики визначення величини осьового зазору в шарових шарнірах.

Отримані експериментальні дані описують основні процеси, що відбуваються у шарнірах під час проведення досліджень. На основі цих даних встановлені такі положення:

- віброприскорення, викликане наявністю зазору в шарнірі, при проведенні досліджень фіксується першим датчиком, встановленим безпосередньо в контакт з шарніром під час першої фази руху, коли шарнір проходить мертву верхню точку і починає рухатися вниз;

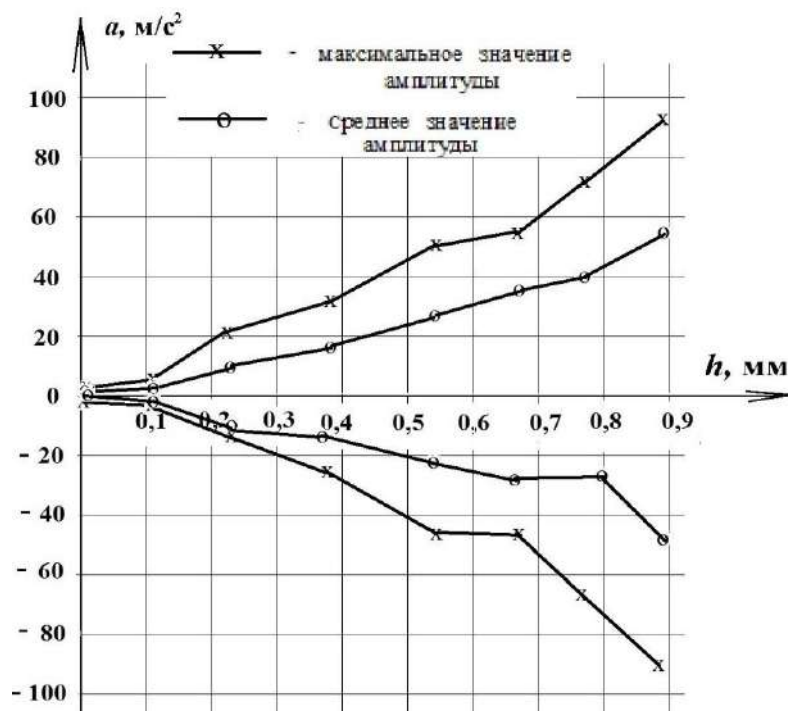


Рисунок 4.2- Графіки залежності максимальної та середньої амплітуд віброприскорення від величини осевого зазору, в шарнірах фаза 1

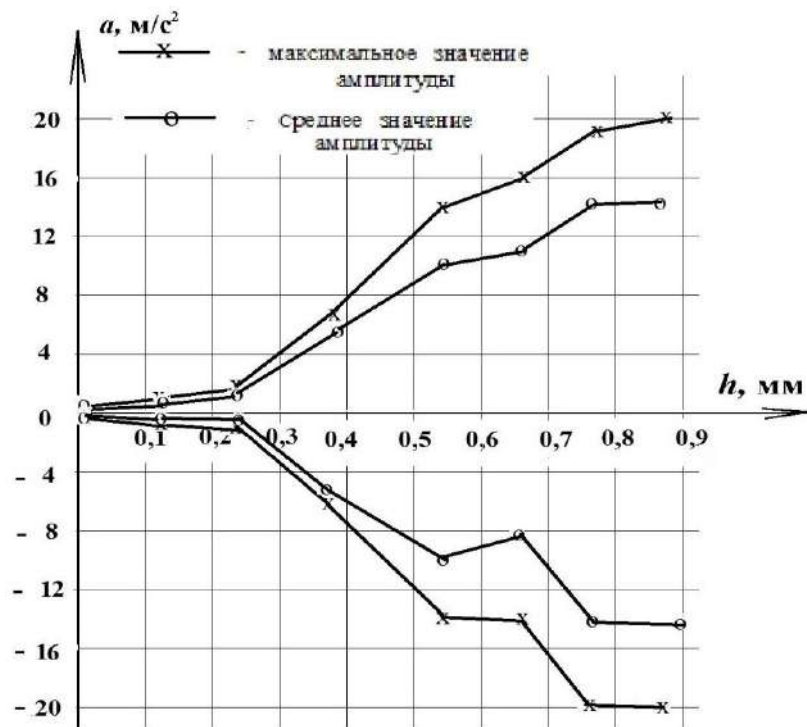


Рисунок 4.3 - Графіки залежності максимальної та середньої амплітуд віброприскорення від величини осевого зазору, у шарнірах фаза 2

- віброприскорення, викликане наявністю зазору в шарнірі, під час проведення досліджень фіксується першим датчиком, під час другої фази руху, коли шарнір проходить нижню мертву точку і починає рухатися вгору. При цьому величина віброприскорення на порядок нижча, ніж для першої фази. Це пов'язано з тим, що при русі від верхньої точки вниз додатково до зусилля гідроциліндра з'являється зусилля пружини, ці сили мають однаковий напрямок, а при русі від нижньої точки вони мають протилежний напрямок, що знижує віброприскорення в парі шарнірів, що досліджується. Отримані дані можуть бути основою для створення методики визначення зазору, оскільки явна залежність проявляється при величині зазору в діапазоні від 0,01 мм до 0,9 мм, тобто для всіх шарнірів, представлених в експериментальному дослідженні;

- вібродатчик №2, встановлений на важелі підвіски (рисунок 3.18)

не фіксує віброприскорення викликане наявністю зазору в шарнірі при проведенні досліджень для обох фаз. Це пов'язано з тим, що віброприскорення, що виникає в шарнірі, має невеликі значення, тому що частково гаситься полімерним вкладишем і поширюючись далі від корпусу шарніра швидко згасає.

- зміна тиску в гідросистемі ніяк не позначається на отриманих залежностях, відбувається лише пропорційна зміна величин основних показників. Тому в дослідженнях представлені експерименти, проведені при максимальному тиску гідросистеми 1,8 МПа.

Аналіз графіків показав, що найбільш явну залежність величини віброприскорення від величини осьового зазору шарнірах мають графіки максимального і середнього верхніх значень амплітуди для фази 1. Для подальших досліджень використовуємо графік максимального верхнього значення амплітуди як ближчого до квадратичної залежності.

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

## 5. ТЕХНОЛОГІЯ ДІАГНОСТУВАННЯ КУЛЬОВИХ ШАРНІРІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ВІБРАЦІЙНОГО СПОСОБУ

Розроблений стенд для випробування та діагностування елементів підвіски (п. 3) також може бути використаний на підприємствах, що виробляють елементи ходової частини автомобілів для контролю їх якості.

Діагностування передньої підвіски легкового автомобіля традиційним способом за допомогою люфт-детектора в умовах автосервісного підприємства представлено у таблиці 5.1

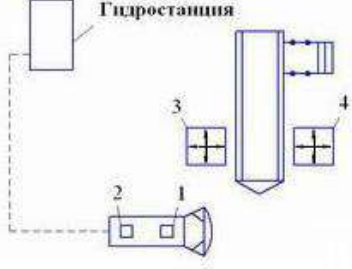
[127] і складається з наступних етапів:

- 1) встановлення автомобіля на опорні платформи люфт-детектора;
- 2) підйом люфт-детектора разом з автомобілем та його встановлення у робоче положення (рисунок 4.50);
- 3) виконуючий працівник управляє з допомогою пульта роботою люфт – детектора. Платформи переміщуються, аналогічно руху автомобіля дорогою. Підвіска автомобіля починає працювати відповідно до руху автомобіля по дорозі. У комплект детектора входить ліхтар, який дозволяє розглянути всі елементи підвіски, крім того, за допомогою пульта керування оператор може окремо навантажувати різні елементи підвіски або кермового управління.
- 4) далі перед виконуючим працівником постає завдання визначити елементи підвіски, рульового управління і шасі автомобіля, що мають люфт і потребують ремонту або заміни. Ця операція проводиться органолептичним способом.
- 5) далі виконуючий працівник повторює п.4 підтвердження чи спростування отриманої інформації.

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

б) виконуючий працівник проводить аналіз отриманих даних, на основі яких він визначає технічний стан елементів, що діагностуються.

Таблиця 5.1 Технологічна карта діагностування кульових шарнірів підвіски автомобіля Daewoo Nexia традиційним способом

				Пункт технічного огляду
			Загальна трудомісткість 0,424	контролер (ліцензований ванний)
№ пункта	зміст операції	Прилади та інструмент	Технічні умови	Трудомісткість чол.
1	Установка автомобіля на опорні платформи люфт-детектора, його фіксація на рухомих платформах	Детектор люфтів ходової частини для легкових автомобілів		0,03
2	Підйом автомобіля та приведення люфт-детектора у робоче положення			0,02
3	Візуальна перевірка технічного стану кульових шарнірів	Слюсарний інструмент, ключі гайкові № 17, 13	перевірка на наявність герметичності захисного чохла, деформації та тріщин корпусу шарніра, пальця, елементів кріплення	0,03

4	Натиснути кнопки 1 і 2, перевірити люфт у шарових шарнірах та аналіз отриманої інформації	Детектор люфтів, майданчики 3 та 4	відсутність зазорів та люфтів, осьовий зазор у кульовому шарнірі не повинен перевищувати 0,7мм.	0,17
5	Вимкнути кнопки 1 та 2	Детектор люфтів, майданчики 3 та 4		0,002
6	Натиснути кнопки 1 і 2, повторно перевірити люфт у шарових шарнірах, повторний аналіз отриманої інформації	Детектор люфтів, майданчики 3 та 4	відсутність зазорів та люфтів, осьовий зазор у кульовому шарнірі не повинен перевищувати 0,7мм.	0,17
7	Вимкнути кнопки 1 та 2	Детектор люфтів, майданчики 3 та 4		0,002

Аналіз автосервісних підприємств з обслуговування різних легкових автомобілів малого середнього класу, а також автомобіля Daewoo Nexia показав, що середня тривалість діагностики підвіски з використанням люфт-детекторів становить від 0,4 до 1,0 години. У деяких випадках можливі складнощі при діагностиці підвіски [134], що призводить до збільшення часу діагностики на 20-40%.

При цьому витрати часу при діагностуванні розподіляються наступним чином: 5-10% - підготовка автомобіля та люфт-детектора до діагностування, налаштування обладнання;

40-50% - безпосередньо діагностування підвіски;

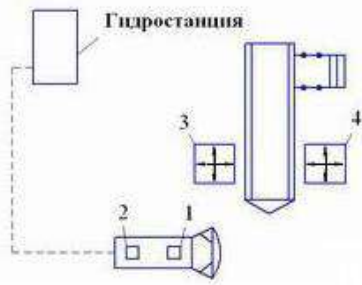
40-45% - аналіз діагностування, включаючи повторне діагностування, пробну поїздку (за потреби), постановка діагнозу.

Таким чином, витрати часу пов'язані з недосконалістю існуючої технології діагностування можуть досягати до 45% від загального часу діагностування, що в перекладі на хвилини може становити 20-30 хв. і більше залежно від ситуації на кожен автомобіль, що діагностується малого і середнього класу.

Діагностування передньої підвіски легкового автомобіля вібраційним способом за допомогою люфт-детектора та спеціалізованого обладнання відрізняється від діагностування традиційним способом тим, що виконуючий працівник після проведення етапу 3 (п. 5.2.1) дає висновок про стан шарнірів на основі отриманих графіків з точністю не менше 90%. Технологічна карта діагностування кульових шарнірів підвіски автомобіля Daewoo Nexia вібраційним способом представлена в таблиці 5.2 і складається з наступних етапів:

- 1) Встановлення автомобіля на платформи люфт-детектора;
- 2) підйом люфт-детектора разом з автомобілем та його встановлення у робоче положення (рисунок 4.50);
- 3) виконуючий працівник наводить в дію платформи, які переміщуються, аналогічно руху дорожнім полотном.

Таблиця 5.2 Технологічна карта діагностування кульових шарнірів підвіски автомобіля Daewoo Nexia вібраційним способом

				Пункт технічного огляду
			Загальна трудомісткість 0,114	контроле р (ліцензований)
№ пу	зміст операції	Прилади та інструмент	Технічні умови	Трудомісткість

нкта				чол.
1	Встановлення автомобіля на опорні платформи люфт-детектора, його фіксація на рухливих платформах	Детектор люфтів ходової частини для легкових автомобілів		0,03
2	Підйом автомобіля та приведення люфт-детектора в робоче становище			0,02
3	Візуальна перевірка технічного стану кульових шарнірів	Слюсарний інструмент, ключі гайкові № 17, 13	перевірка наявності герметичності захисного чохла, деформації та тріщин корпусу шарніра, пальця, елементів кріплення	0,03
4	Встановлення вібродатчиків на кульові шарніри	неодимові магніти для встановлення вібродатчиків	контакт вібродатчиків з корпусом шарових шарнірів в області досліджуваного сполучення	0,002
5	Натиснути кнопки 1 і 2, перевірити люфт у кульових шарнірах	Детектор люфтів майданчики 3 та 4	відсутність зазорів та люфтів	0,02
6	Вимкнути кнопки 1 та 2	Детектор люфтів майданчика 3 та 4		0,002
7	Аналіз отриманої інформації		осьовий зазор у кульовому шарнірі не повинен перевищувати 0,7 мм.	0,01

4) виконуючий працівник, підставляє отримані значення

									Арк.
									68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ				

віброприскорення рівняння (4.8) і обчислює фактичне значення величини осьового зазору в шарнірі з похибкою не перевищує 10% витрати часу при цьому не перевищують 5 хв.

5) аналізуючи отримані дані, виконуючий працівник робить висновок про технічний стан елементів, що перевіряються.

Практична значимість результатів проведеної роботи полягає у підвищенні якості діагностування підвіски легкових автомобілів за рахунок вібраційного діагностування. Це дозволяє визначати технічний стан шарових шарнірів за величиною осьового зазору з похибкою до 10%.

До критеріїв ефективності діагностування розробленого способу належать:

- підвищення точності вимірювання осьового зазору в шарових шарнірах;
- зниження часу діагностування підвіски автомобіля на 20-30 хв (до 45%).
- універсальність - можливість застосування способу широкого спектру легкових автомобілів з передньою підвіскою типу «МакФерсон».

Для визначення періодичності діагностичних впливів на шаровий шарнір необхідно знати його ресурс. Аналіз різних конструкцій і виробників кульових шарнірів, а також досвід їх експлуатації на різних легкових автомобілях, оснащених передньою підвіскою типу МакФерсон показав, що ресурс кульових шарнірів знаходиться в межах величини пробігу автомобіля 25 000 - 120 000 км. Такий великий розкид ресурсу можна пояснити такими причинами:

- якість дорожнього покриття, у якому відбувається експлуатація автомобіля. При проїзді великих нерівностей дорожнього покриття (ями, горби, купини та ін.) на високій швидкості, ресурс кульових шарнірів та інших елементів підвіски може скорочуватися до кількох десятків разів;

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

- якість виготовлення самого шарового шарніра, значною мірою може впливати на його ресурс. Зокрема цей вплив визначається якістю мастильного матеріалу всередині шарніру, якістю матеріалу виготовлення та кріплення захисного чохла, спочатку встановленим зазором у поєднанні «головка пальця – полімерний вкладиш» та ін.

- режими експлуатації автомобіля, до них можна віднести: ступінь завантаження автомобіля та швидкісні режими руху (визначають навантаження, що виникають у кульових шарнірах), кліматичні умови (використання реагентів, піску, солі для боротьби з ожеледицею, дощ, перепади температур) призводять до передчасного зношування захисного чохла шарового шарніра та його кріплення до шарніра.

Враховуючи вищесказане, періодичність діагностування підвіски легкових автомобілів за допомогою розробленого вібраційного способу рекомендується встановлювати при кожному технічному обслуговуванні автомобіля, а також додатково між технічними обслуговуваннями з появою сторонніх звуків, шумів і скрипів від підвіски автомобіля або при погіршенні керованості автомобіля.

Для коректного вимірювання віброприскорення в шаровому шарнірі при діагностуванні в умовах автосервісних підприємств необхідно виконати ряд умов, до яких належать:

- установка вібродатчика повинна проводитися в контакт з шаровим шарніром в області сполучення корпусу шарніра з полімерним вкладишем і сферичною частиною шарового пальця, паралельно поздовжньої осі шарового пальця. Аналіз конструкцій шарових шарнірів, проведений у п. 1.3.1 показав, що для більшості конструкцій шарнірів найбільш оптимальним розташуванням вібродатчика є бічне.

- спосіб кріплення вібродатчика - за допомогою неодимового магніту завтовшки не більше

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

4мм. При неможливості використання магніту допускається використання пластини з отворами для кріплення до штатних місць установки шарового шарніра і отвором для кріплення вібродатчика, що виготовляється індивідуально для кожної конструкції підвіски.

- режим роботи діагностичного стенду – повинен забезпечувати коливання шарового шарніра та елементів підвіски з частотою 1,8 – 2,2 Гц.



Рисунок 5.1 – Приклад встановлення та орієнтації вібродатчика при діагностуванні кульового шарніра в умовах автосервісних підприємств

Для підтвердження коректності розробленого вібраційного способу діагностування шарових шарнірів були проведені експериментальні дослідження для автомобіля середнього класу Volkswagen Passat B5. Вони показали, що залежність величини віброприскорення від осьового зазору, а також її чисельні значення зберігаються, за умови дотримання виробничих рекомендацій, особливо забезпечення коливань шарового шарніру та елементів підвіски з частотою 1,8 - 2,2 Гц при проведенні діагностування.

## Висновки

1. Проведено аналіз конструкцій передніх підвісок легкових автомобілів, він показав, що 80% легкових автомобілів мають передню підвіску типу «МакФерсон» та аналіз існуючих способів визначення технічного стану кульових шарнірів.

2. Запропоновано оригінальну конструкцію стенду для випробувань та діагностування елементів передньої підвіски легкових автомобілів та новий спосіб діагностування величини осьового зазору в кульових шарнірах.

3. Проведено визначення величини осьового зазору в кульових шарнірах із застосуванням вібраційного способу.

4. Розроблено практичні рекомендації, які полягають у тому, що для коректного вимірювання віброприскорення в кульовому шарнірі достатньо застосовувати один вібродатчик ДН-3, який встановлюється в контакті з кульовим шарніром, паралельно поздовжній осі кульового пальця.

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Раймпель, Й. Шасі автомобіля: Елементи підвіски/Й. Раймпель; Пров. з ни А. Л. Карпукіна. - : Машинобудування, 1987. - 288 с.
2. Ротенберг, Р. Ст. Теорія підвіски автомобіля / Р. В. Ротенберг. - : Машинобудування, 1972. - 392 с.
3. Пальці кульові передньої підвіски автомобілів ВАЗ у зборі. Технічні умови ТУ 4591-002-50791834-2003. Дата запровадження 02. 08. 2003 р.
4. Ossa, EA Файлування analysis of a car suspension system ball joint / EA Ossa, CC Palacio,
5. MA Paniagua // Engineering Failure Analysis. - 2011. - № 18. - P. 1388-1394.
6. Fischer, IS Нумерична analysis displacements in spatic mechanisms with ball joints / Ian S. Fischer // Mechanism and Machine Theory. - 2000. - № 35. - P. 1623-1640.
7. Fischer, IS Velocity analysis of mechanisms with ball joints / Ian S. Fischer // Mechanics Research Communications. - 2003. - № 30. - P. 69-78.
8. Kang, J. Theoretical model ball joint squeak / Jaeyoung Kang // Journal of Sound and Vibration. - 2011. - № 330. - P. 5490-5499.
9. Chen, J. Три-dimensional vibration of buckled elastica supported by spherical hinges / Jen-San Chen, Joyce Fang // International Journal of Solids and Structures. - 2014. - № 51. - P. 35-40.
10. Підвіска автомобіля [Електронний ресурс] / Авто тут: ТОВ «Світ Інтернет». - Режим доступу: <http://www.avtotut.ru/repair/equipment/Podveska> вільний. (Дата звернення: 14.01.2014).
11. Види підвісок автомобілів [Електронний ресурс] / Інтернет магазин Alter Vita Studio. - Режим доступу: [http://udtuning.ru/masterskaya/pnevmpodveski/vidy\\_podvesok](http://udtuning.ru/masterskaya/pnevmpodveski/vidy_podvesok) вільний. (Дата звернення: 14.01.2014).
12. Несправність транспортного засобу як причина ДТП [Електронний ресурс]

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

- 13./[StatsData.RU](http://www.statsdata.ru) цікава статистика та цікаві факти. - Режим доступу:<http://www.statsdata.ru/content/view/36-18.html> вільний. (дата звернення 14.01.2014).
- 14.ГОСТ Р52302-2004.Автотранспортні засоби, керованість та стійкість. Технічні вимоги. Методи випробувань. - Введ. 01.01.2006. - : Вид-во стандартів, 2006. - 37 с.
- 15.ГОСТ Р51814.2-2001.Системи якості у автомобілебудуванні. Метод аналізу видів та наслідків потенційних дефектів. - Введ. 02.10.2001. - : Вид-во стандартів, 2001. - 19 с.
- 16.Шарнірні головки, сферичні підшипники ковзання, і наконечники гідро- та пневмоциліндрів/ FLURO-Gelenklager GmbH Siemensstrasse 13 D-72348 Rosenfeld. - Germany, 2011. - 80 с.
- 17.Розрахунок підшипників ковзання з напівсухим або напіврідинним тертям[Електронний ресурс] / Метизи та кріплення: інформація, розрахунки, калькулятори, ГОСТи. - Режим доступу: [http://www.metiz-krepej.ru/podshipnik/raschet\\_podshipnikov\\_skolzheniia\\_s\\_polusuhim\\_ili\\_poluzhidkostnym\\_treniem.html](http://www.metiz-krepej.ru/podshipnik/raschet_podshipnikov_skolzheniia_s_polusuhim_ili_poluzhidkostnym_treniem.html) вільний. (дата звернення 23.01.2014).
- 18.Чернавський, С. А.Підшипники ковзання [Текст]/С. А. Чернавський. - Л.: Машгiз, 1963. - 245 с.
- 19.Кульові шарніри та шарнірні з'єднання[Електронний ресурс]/Підшипник.ру. - Режим доступу: [http://www.podshipnik.ru/analyst/797/element\\_3281.html](http://www.podshipnik.ru/analyst/797/element_3281.html) вільний. (дата звернення 23.01.2014).
- 20.Тебекін, Д.Прискорені випробування кульових опор передньої підвіски легкових автомобілів/Д. Тебекін, А.А. Катунін, О. Новіков // Світ транспорту та технологічних машин. - 2011. - №1 (32). - С.41-44.
- 21.Аналіз пошкоджень кульових шарнірів/ Д. Тебекін [та ін] // Світ транспорту та технологічних машин, 2012. - №1 (36). - С.8-14.
- 22.Ахмадімов, Р.Новий підхід у конструюванні кульового шарніру

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

підвіски автомобіля / Р. Ахмадімов, Н. Фількін // Сучасні наукомісткі технології. – 2009. – №4. - С.23 - 25.

23.Звягін, А. А.Автомобілі ВАЗ: зношування та ремонт [Текст] / А. А. Звягін, А. Мотін, Б. В. Прохоров. - Л. Політехніка, 1991. - 255 с.

24.Розбирання та складання вузлів підвіски[Електронний ресурс] / [www.2114.ru](http://www.2114.ru). клуб аматорів Ваз-2114. - Режим доступу: <http://www.2114.ru/content/view/317/109>, вільний. (дата звернення 27.01.2014).

25.Тебекін, Д.Проблеми експлуатації кульових опор легкових автомобілів [Текст]/Д. Тебекін, А.А. Катунін, О. Новіков // Світ транспорту та технологічних машин. – 2010. – №3(30). – С.42-45.

26.Тебекін, Д.Вібродіагностика як спосіб визначення технічного стану кульових елементів підвіски автомобілів [Текст] / Д. Тебекін, А.А. Катунін, О. Новіков // Автотранспортне підприємство. -2014. - №11. - С.25-27.

27.Ротенберг, Р. Ст.Підвіска автомобіля [Текст]/Р. В. Ротенберг. -: Машинобудування, 1972. - 392 с.

28.Диваков, О.«Сперечаємося?» [Текст]/А. Диваков, П. Карін // Авторевю. - 2008. - № 19 (412). – С. 18–25.

29.«Daewoo Nexia випуску з 2008 р. Пристрій, експлуатація, обслуговування, ремонт» / під. ред. А. Ревіна. - : «За кермом», 2012.- 272 с.

30.Тебекін Д.Методика проведення стендових експериментів щодо визначення технічного стану кульових опор [Текст] / Д. Тебекін, А.А. Катунін, О. Новіков // Світ транспорту та технологічних машин. - 2014. - №2 (45). - С.14-20.

31.Лашка, А. Г.Обґрунтування раціональних параметрів вібраційної

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

- ковзанки з пневмошинним робочим органом для ущільнення ґрунтів: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.04. - Омськ, 2012. - 179 с.
32. Воскобойніков Ю.Є. Фільтрація сигналів та зображень: Фур'є та Вейвлет алгоритми / Ю. Є. Воскобойніков, А. В. Гочаков, А. Б. Колкер. - Новосибірськ: Темплан, 2010. - 195 с.
33. Блейхут, Р. Швидкі алгоритми цифрової обробки сигналів [Текст] / Р. Блейхут. - : Вид-во "Світ", 1989. - 448 с.
34. Брейсуелл, Р. Перетворення Фур'є [Текст] / Р. Брейсуелл // У світі науки. - 1989. - №8. - С. 48-56.
35. Голд, Бі. Цифрова обробка сигналів [Текст] / Бі. Голд, Ч. Рейдер. За ред. А. Трахтмана. - : Вид-во «Рад. радіо», 1973. - 368 с.
- а. 92 . Гольденберг, Л. Цифрова обробка сигналів [Текст] / Л. Гольденберг, Б. Д. Матюшкін, Н. Поляк. - : Вид-во Радіо і зв'язок, 1985. - 312 с.
36. Математичне моделювання технічного стану кульового шарніру в умовах стендових випробувань / Д. Тебекін [та ін] // Світ транспорту та технологічних машин. - 2014. - №4(47). - С. 39-46.
37. Галузевий стандарт ОСТ 37.001.613-2002. Шарніри кульові автотранспортні засоби. Загальні технічні вимоги та методи випробувань. - М: ФГУП «НАМИ», 2002. - 230с.
38. ГОСТ Р 52433-2005. Шарніри кульові - Введ. 28.12.2005. - : Вид-во стандартів, 2005. - 7 с.
39. Колодочкін, Про пальці не так на пальцях [Текст] / Колодочкін // За кермо - 2003. - № 2. - С. 24-27.
40. Смірнов, В. А. Основи вимірювання вібрації [Електронний ресурс] / Вібродіагностика для початківців та спеціалістів «ІНКОТЕС». Діагностика машин та механізмів. - Режим доступу: [http://www.vibration.ru/osn\\_vibracii.shtml](http://www.vibration.ru/osn_vibracii.shtml) вільний. (дата звернення 28.01.2014).

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

41. Тебекін, Д. Гідравлічний привід стенда для випробування
- а. елементів передньої підвіски легкових автомобілів / Д. Тебекін, А. А. Катунін, А. Н. Новіков // Світ транспорту та технологічних машин, 2011. - № 2 (33). - С.6-8.
42. Анур'єв, В. І. Довідник конструктора-машинобудівника в 3 т. Т. 3. [Текст] / В. І. Анур'єв // Під ред. В. Н. Жесткової - : Машинобудування, 2001. - 864 с.
43. Анур'єв, В. І. Довідник конструктора-машинобудівника в 3 т. Т. 2. [Текст] / В. І. Анур'єв // Під ред. В. Н. Жесткової - : Машинобудування, 2001. - 912 с.
44. Павленко, П. Д. Простий спосіб підвищення втомної міцності фланцевих з'єднань [Текст] / П. Д. Павленко, Х. А. Фасхієв, В. К. Дурандін // Автомобільна промисловість, 1996. - №7. - С.26 - 27.
45. Aumala, Про. Automatic Multivariate signal Analysis / О. Aumala, Н. Ihalainen, Н. Jokinen, К. Heinola // Proc. IMEKO TC7 Intern. Symp. on AIMaC'91, Kyoto, Japan: SICE. - 1991, P. 161 - 172.
46. Lang, G. S&V Geometry 101 / George Fox Lang // Journal of Sound and Vibration. - 1999. - № 30 (5). – P. 12–19.
47. Загуділлін, Р. Multisim, Labview, Signal Express. Практика автоматизованого проектування електронних пристроїв [Текст] / Р. Загуділлін. - : Вид-во Гаряча лінія - Телеком, - 2009. - 368 с.
48. Вібростенди для діагностики підвіски автомобіля [Електронний ресурс] / Автошкола. - Режим доступу: <http://www.autoshcool.ru/5334-vibrostandy-dlya-diagnostiki-podveski-avtomobilya.html> вільний. (Дата звернення 04.02.2014).
49. Люфт-детектор (тестер перевірки люфтів) DELUR [Електронний ресурс] / ТОВ "АйТіМоторс". - Режим доступу: <http://www.itmotors.ru/oborudovanie/luft-detector-delux> вільний. (дата звернення 17.02.2014).

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

50. Діагностика Honda Civic [Електронний ресурс] / 2008–2014 Техцентр JapAuto. - Режим доступу: [http://japauto.ru/models/honda/honda\\_civic/diagnostika\\_honda\\_civic](http://japauto.ru/models/honda/honda_civic/diagnostika_honda_civic), вільний. (дата звернення 17.02.2014).
51. ТО для Daewoo Nexia [Електронний ресурс] / 2012 Сандра Моторс. Ремонт Daewoo та Chevrolet. - Режим доступу: <http://www.sandra-motors.ru/tehcenter/daewoo/nexia>, вільний. (дата звернення 17.02.2014).
52. Ремонт Daewoo Nexia [Електронний ресурс] / Техцентр КАРТЕКС Ремонт та обслуговування автомобілів: OPEL, DAEWOO, CHEVROLET. - Режим доступу: <http://www.cartex.ru/remont/daewoo/daewoo-nexia>, Вільний (Дата звернення 17.02.2014).
53. Усунення важко діагностованого стуку Golf 5 [Електронний ресурс] / [Форум Volkswagen Technical Site](http://vwts.ru/forum/index.php?showtopic=110483). - Режим доступу: <http://vwts.ru/forum/index.php?showtopic=110483>, вільний (Дата звернення 17.02.2014).

					ДРБАТ.23.20108.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78