

Вінницький національний технічний університет  
Факультет машинобудування та транспорту  
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

**Підвищення ефективності визначення технічного стану кульових шарнірів підвіски легкового автомобіля в умовах станції технічного обслуговування автомобілів «Carman» фізичної особи – підприємця  
Без'язичний Олександр Юрійович**

Графічна частина

до магістерської кваліфікаційної роботи

зі спеціальності 274 – Автомобільний транспорт  
08-29.МКР.004.00.000

Керівник роботи к.е.н., ст. викл.

Огневий В.О.

Розробив студент гр. 1АТ-17м

Вакало В.Ю.

Вінниця ВНТУ 2019

**Метою роботи** є підвищення ефективності визначення технічного стану кулькового шарніра підвіски легкового автомобіля вібраційним способом в умовах СТОА «Carman».

**Для досягнення зазначеної мети в роботі були поставлені наступні завдання:**

1. Розробити математичну модель зміни технічного стану кулькового шарніра передньої підвіски типу «Макферсон» легкового автомобіля.
2. Проаналізувати способи визначення величини осьового зазору в кульковому шарнірі автомобіля.
3. Провести експериментальні дослідження для встановлення взаємозв'язку величини осьового зазору в кульковому шарнірі з величиною віброприскорення в умовах СТОА «Carman» вібраційним способом.
4. Розробити практичні рекомендації по впровадженню способу визначення величини осьового зазору в кульковому шарнірі для легкових автомобілів в умовах СТОА «Carman».
5. Визначити економічний ефект від впровадження способу діагностування величини осьового зазору в кульковому шарнірі автомобіля в умовах СТОА «Carman».
6. Розробити заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

**Об'єктом дослідження** є кульковий шарнір легкового автомобіля.

**Предметом дослідження** є спосіб оцінки величини осьового зазору в кулькових шарнірах шляхом аналізу величини віброприскорення при їх діагностуванні.

**Наукова новизна.** Дістали подальшого розвитку теоретико-методичні підходи щодо оцінки величини осьового зазору в кулькових шарнірах підвіски легкових автомобілів і спосіб, що дозволяє визначити технічний стан кулькових шарнірів.

### **Практична цінність і реалізація роботи:**

На основі результатів теоретичних і експериментальних досліджень запропоновані:

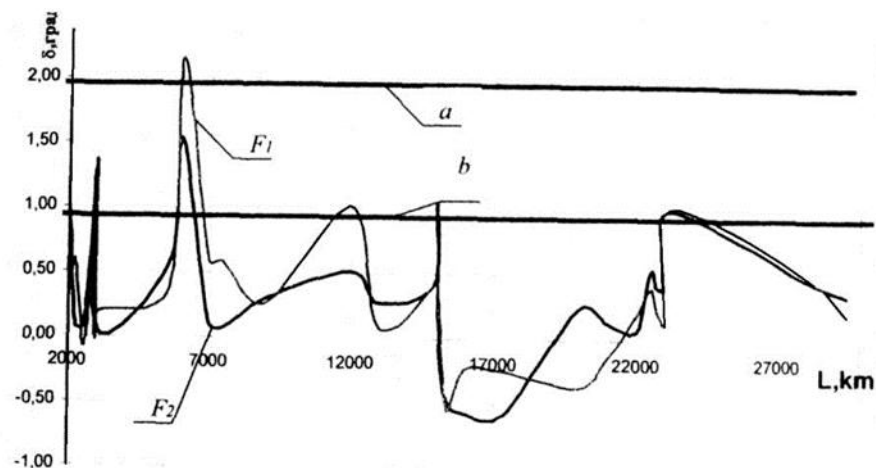
- вібраційний спосіб діагностування величини осьового зазору в кульковому шарнірі автомобіля, що дозволяє визначати зазор в інтервалі від 0,1 мм, до 0,9 мм з похибкою, яка не перевищує 10%.
- спосіб і пристрій для контролю осьового зазору в кульковому шарнірі на стенді для діагностування і випробування елементів підвіски.
- практичні рекомендації щодо впровадження вібраційного способу діагностування величини осьового зазору в кулькових шарнірах в умовах автосервісного підприємства.

## Діаграма видів технічних несправностей автотранспортних засобів, які стають причинами ДТП

4



Графік залежності зміни кутів повздожнього нахилу осі повороту коліс від напрацювання автомобіля



$F1$  и  $F2$  – процес зміни кутів для лівого і правого коліс відповідно,  $\{a, b\}$  – зона номінальних величин кутів установки коліс

## Елементи кулькових шарнірів, які перебували в експлуатації



а)

б)



в)

г)



д)

е)



ж)

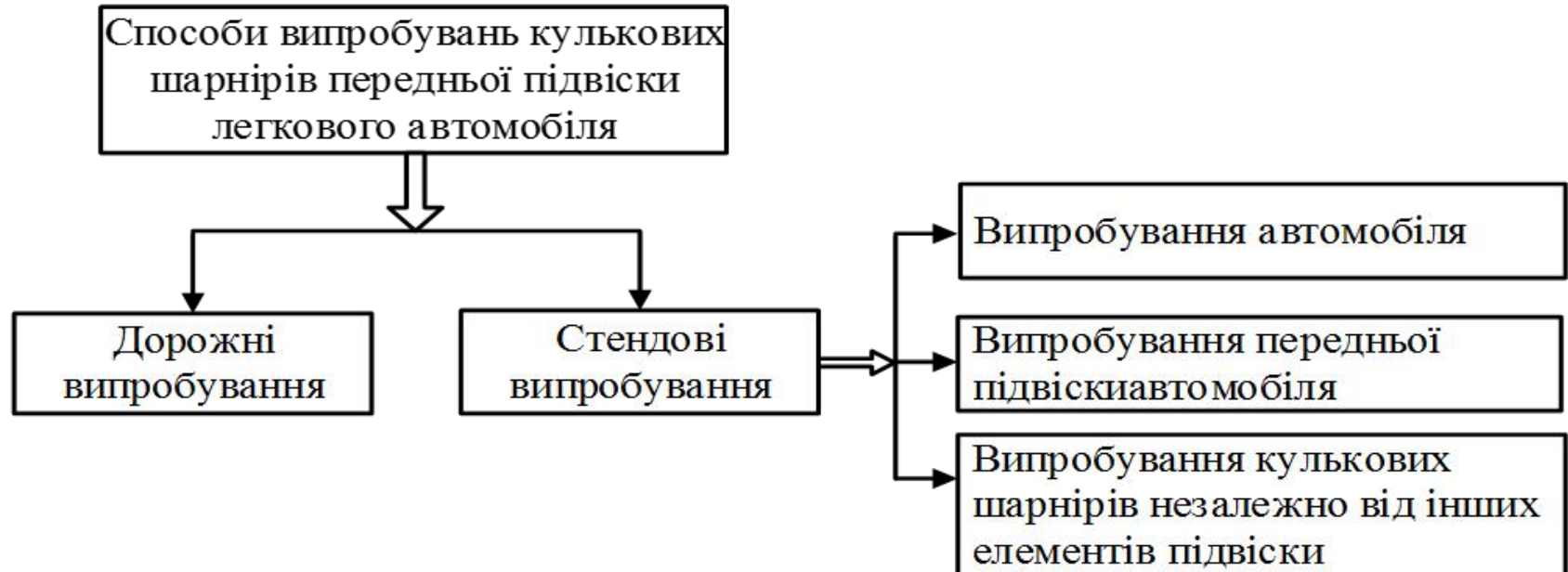
з)

*а, б - корозія кулькового пальця і корпусу кулькового шарніра, абразивний знос кулькового пальця; в - абразивний знос вкладиша, сліди корозії на ньому, корозія корпусу кулькового шарніра; г - корозія кулькового пальця і корпусу кулькового шарніра, абразивний знос кулькового пальця; д, е - корозія кулькового пальця, абразивний знос кулькового пальця у вигляді радіальних канавок на сферичній поверхні; ж - деградація; з - абразивний знос сферичної головки і втомний знос в перерізі переходу сферичної частини в конічну кулькового пальця.*

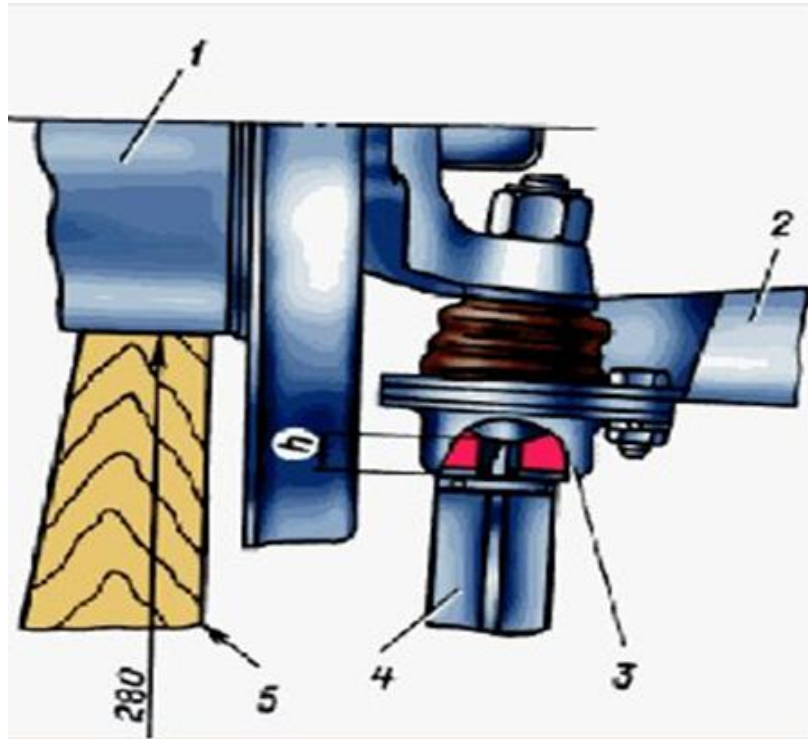
### Типи випробувань пристроїв, механізмів і елементів



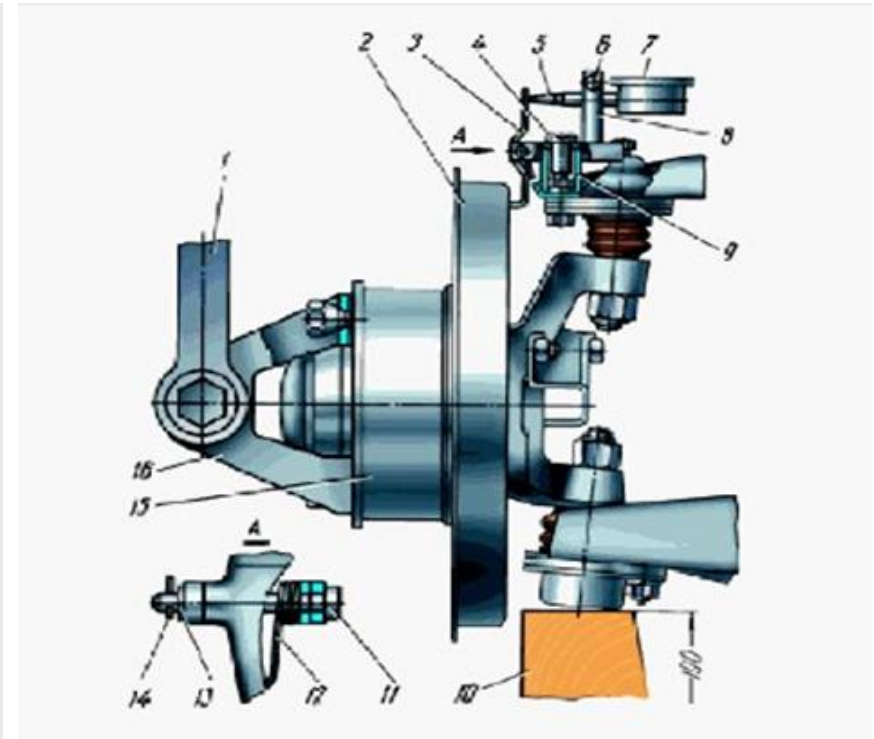
### Способи випробувань і діагностування кулькових шарнірів підвіски автомобілів



## Схема перевірки кулькових шарнірів механічним способом



а)

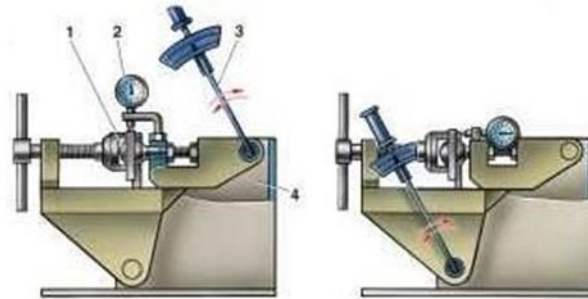


б)

а) замір зазору в верхньому кульковому шарнірі пристосуванням:

1 - динамометричний ключ; 2 - захисний кожух гальма; 3 - важіль; 4 - гвинт; 5 - подовжувач індикатора; 6 - болт; 7 - індикатор; 8 - підставка; 9 - втулка; 10 - колодка; 11 - вісь; 12 - пружина; 13 - шайба; 14 - шплінт; 15 - маточина колеса; 16 - кронштейн;

б) - схема перевірки нижніх кулькових шарнірів: 1 - маточина колеса; 2 - нижній важіль; 3 - нижній кульковий шарнір; 4 - штангенциркуль; 5 - дерев'яна колодка.



а)

б)

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

## Електрогідравлічний детектор люфтів ходової частини



а)

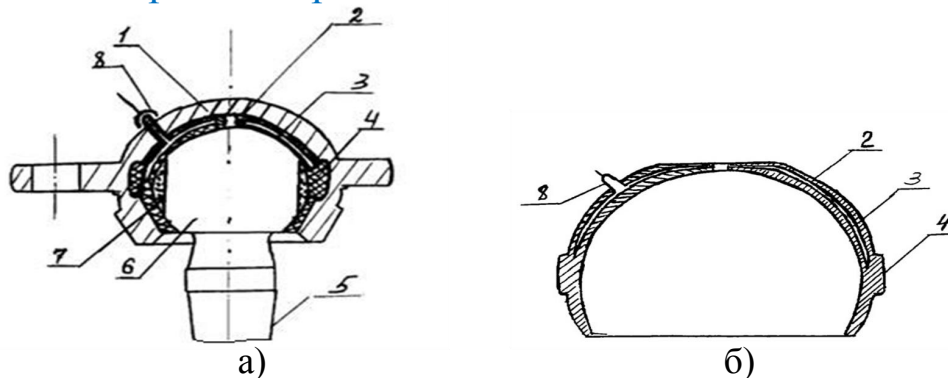


б)

*а) робоча частина детектора зазорів, б) - пульт управління детектором зазорів: 1- вмонтований ліхтар; 2 - вимикач ліхтаря; 3 - вимикач рухомих площадок*



# Будова кулькового шарніра, з вбудованим датчиком контролю напрацювання і зниження коефіцієнта тертя на переході «головка пальця - вкладиш»



а) розріз шарніра, б) розріз вкладиша: 1 - корпус шарніра, 2 - вкладиш з діелектричного матеріалу, 3 - електропровідна ділянка, 4 - виступ вкладиша, 5 - циліндрична частина пальця, 6 - сферична головка пальця, 7 - грані в голівці пальця, 8 - електричний контакт

## Різні варіанти ємнісних вібраційних датчиків

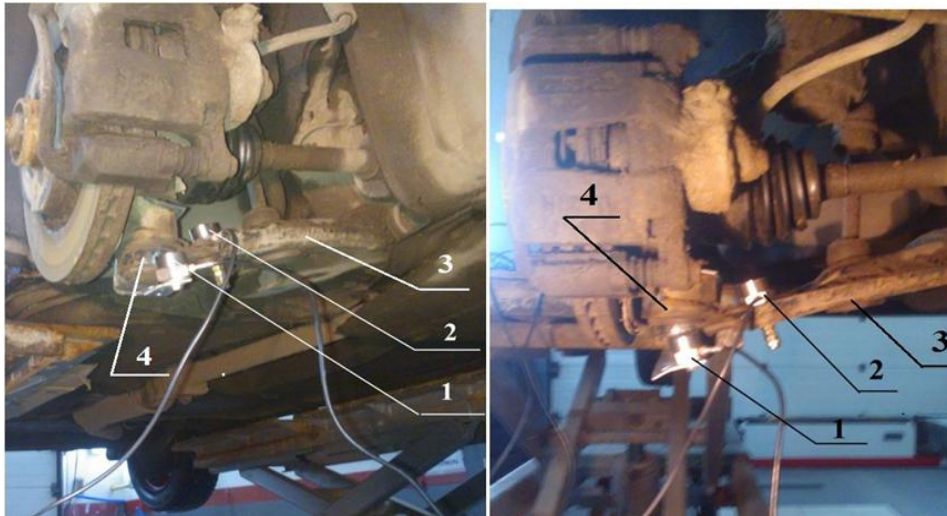


## Розміщення вібродатчиків ДН-3 на діагностованому автомобілі «Daewoo Nexia» в умовах СТО «Carman»



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

## Установка вібродатчиків на діагностований автомобіль

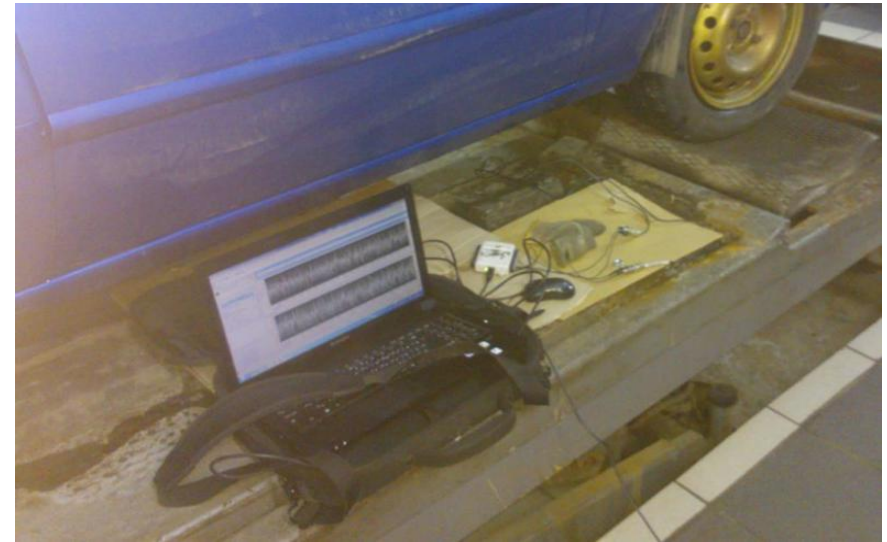


а) вид знизу, б) вид спереду

1 - вібродатчик №1, 2 - вібродатчик №2, 3 - ричаг підвіски, 4 - Кульковий шарнір (досліджуваний зразок)

## Оброблюючі і перетворюючі елементи діагностичного комплексу

10



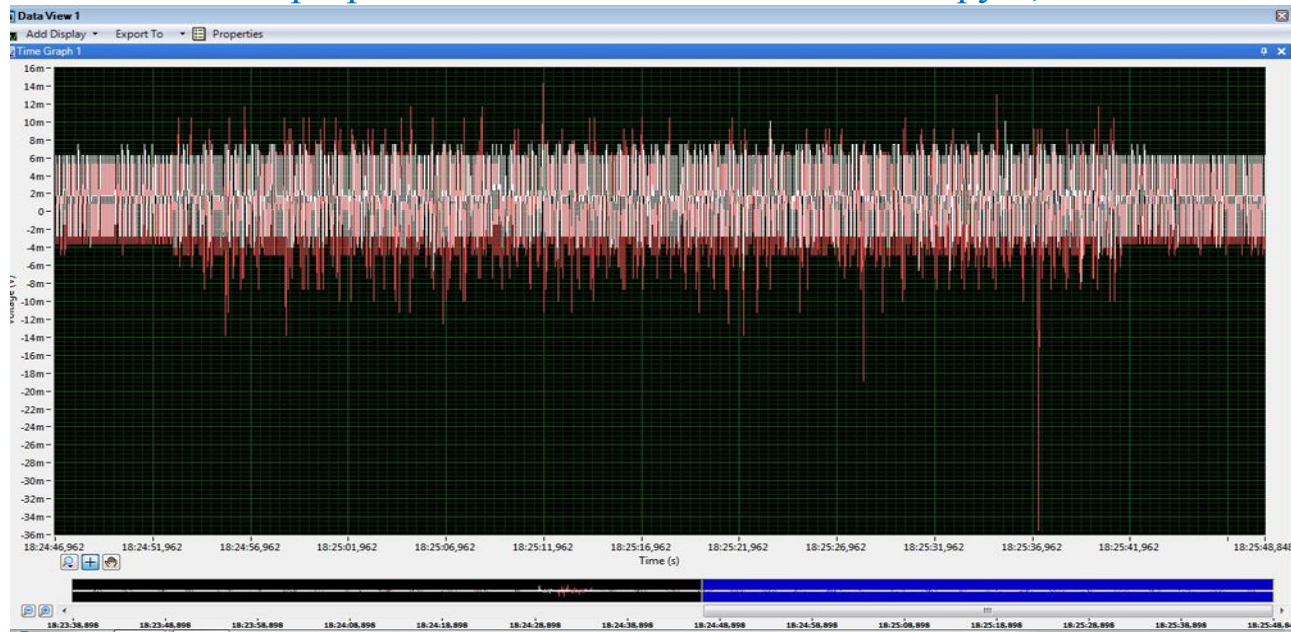
## Загальний вигляд детектора люфтів Zirro 8090 з діагностованим автомобілем



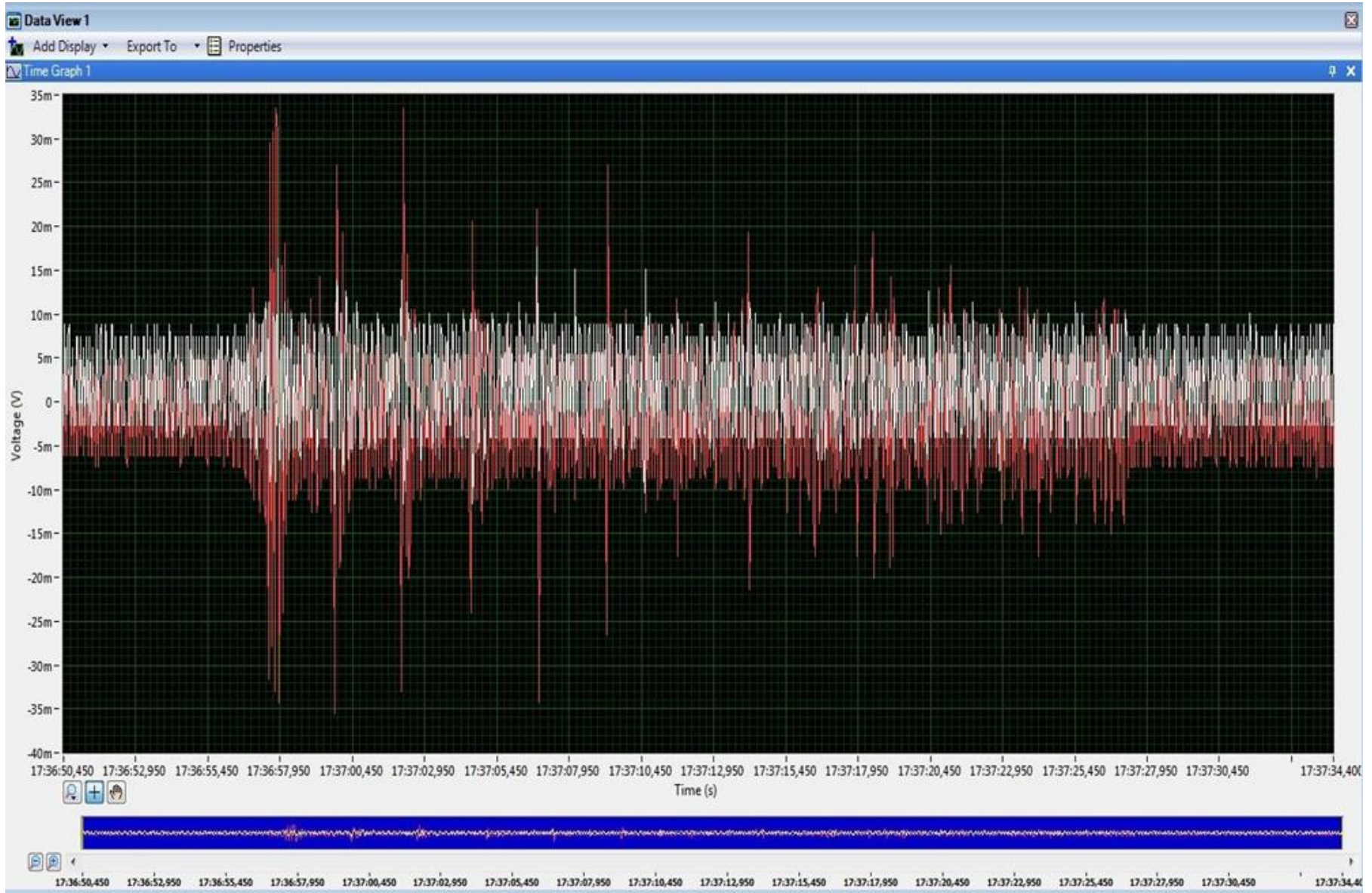
# Характеристики досліджуваних експериментально шарнірів в умовах СТО «Carman»

| Досліджуваний зразок | Величина осьового зазору, мм | Ступінь зносу    | Характеристика зразка   |
|----------------------|------------------------------|------------------|-------------------------|
| 1                    | 2                            | 3                | 4                       |
| №1                   | 0,01                         | відсутня (0,16%) | Новий, без експлуатації |
| №2                   | 0,28                         | 30%              | Взятий із експлуатації  |
| №3                   | 0,46                         | 60%              | Взятий із експлуатації  |
| №4                   | 0,59                         | 73,3%            | Взятий із експлуатації  |
| №5                   | 0,74                         | 106,7%           | Взятий із експлуатації  |
| №6                   | 0,84                         | 123,3%           | Відпрацював свій ресурс |

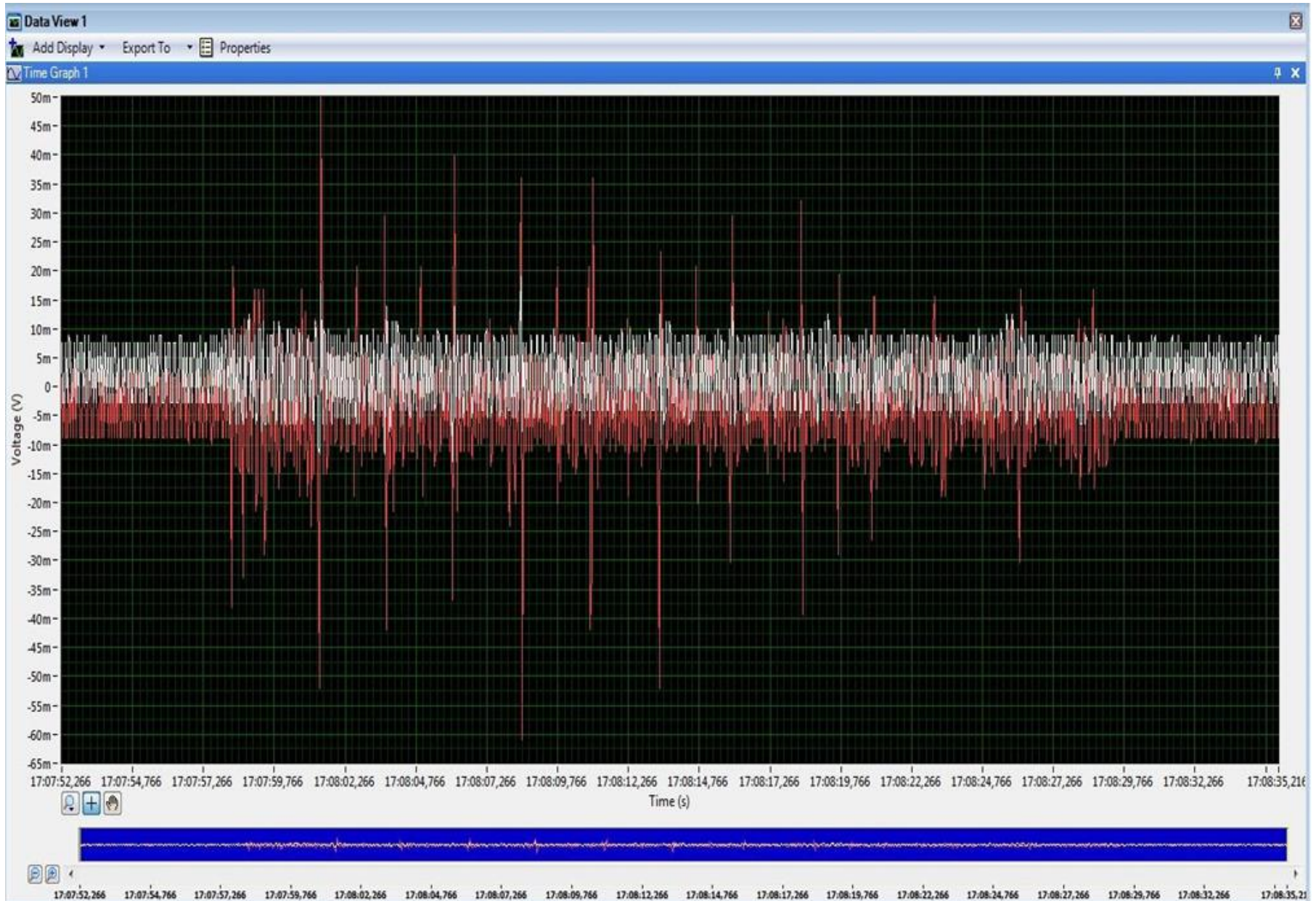
Загальний вигляд спільного графіка залежності вібросприскорення від часу проведення експерименту для шарніра №1 з величиною осьового зазору 0,01мм



# Загальний вигляд спільного графіка залежності віброприскорення від часу проведення експерименту для шарніра №2 з величиною осьового зазору 0,28 мм



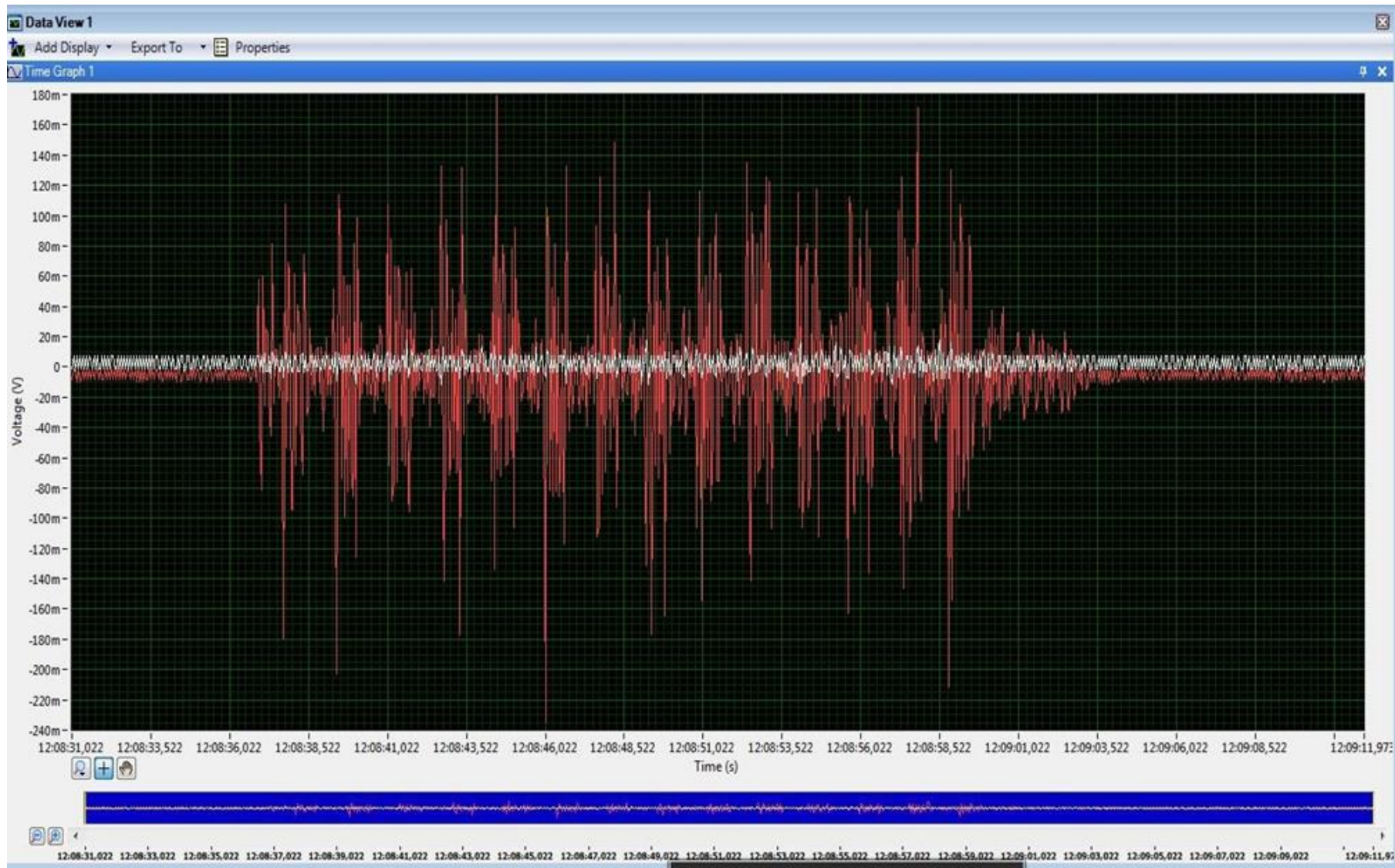
# Загальний вигляд спільного графіка залежності віброприскорення від часу проведення експерименту для шарніра №3 з величиною осьового зазору 0,46 мм



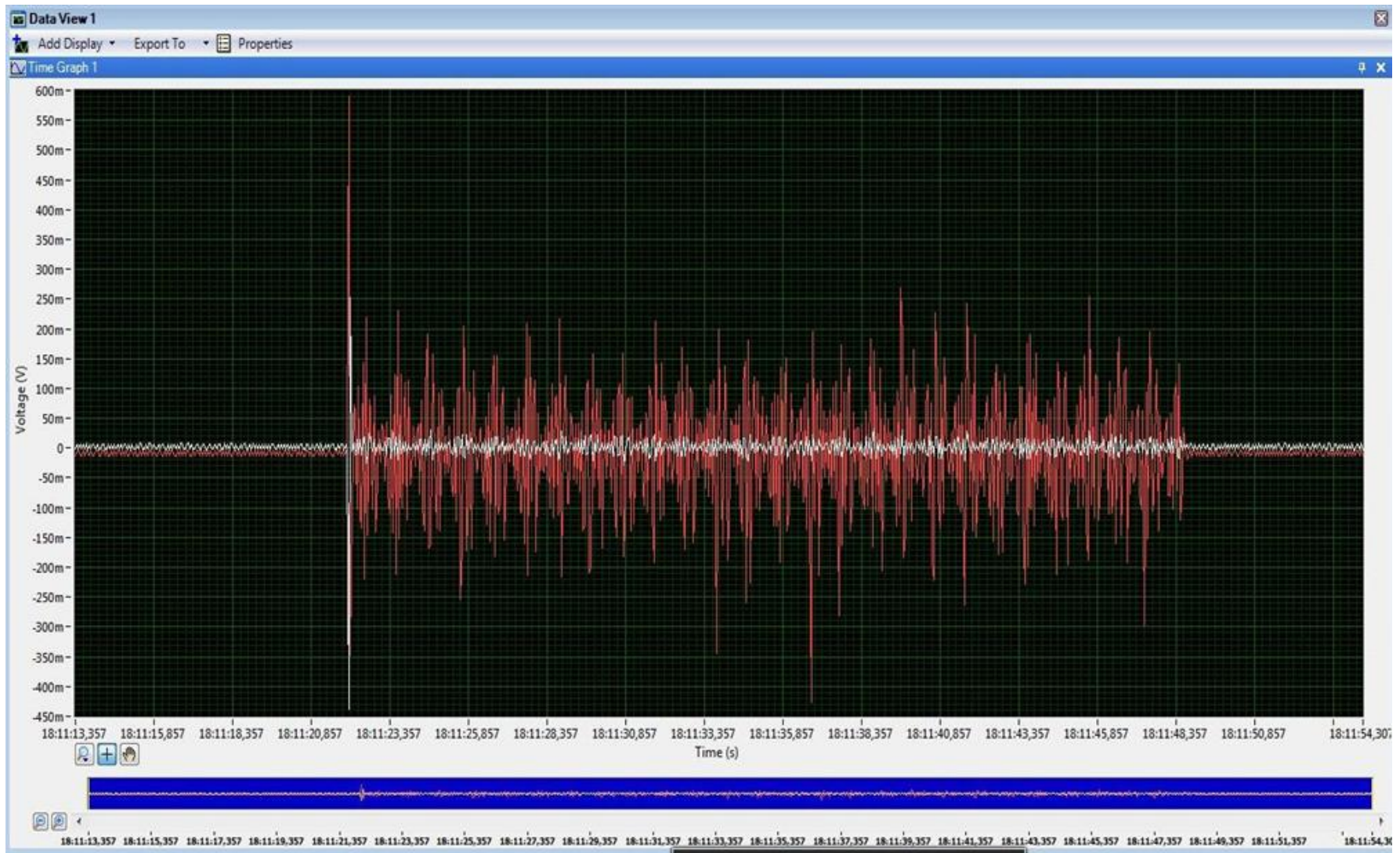
# Загальний вигляд спільного графіка залежності віброприскорення від часу проведення експерименту для шарніра №4 з величиною осьового зазору 0,59 мм



Загальний вигляд спільного графіка залежності віброприскорення від часу проведення експерименту для шарніра №5 з величиною осьового зазору 0,74 мм

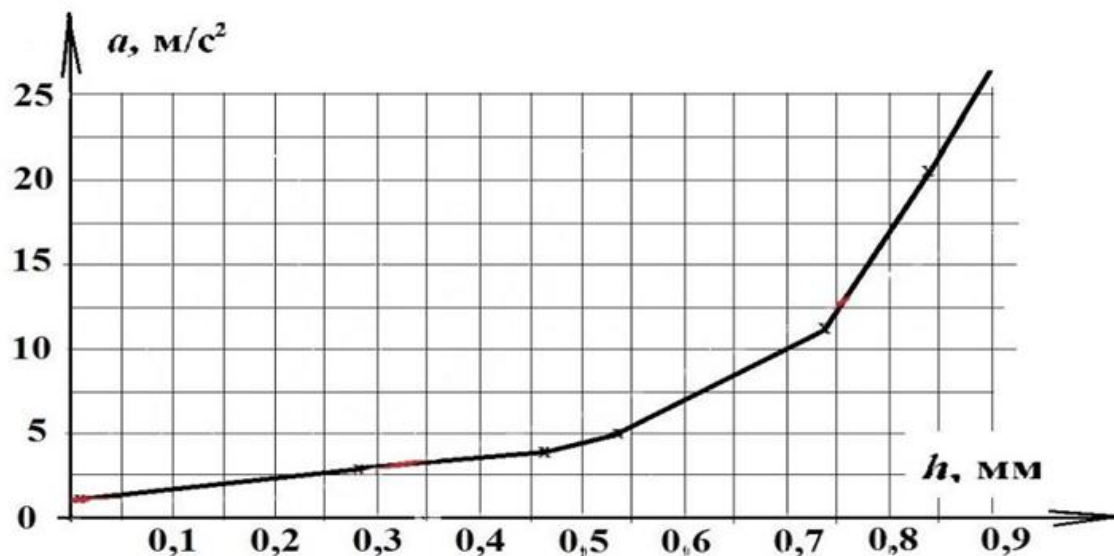


Загальний вигляд спільного графіка залежності віброприскорення від часу проведення експерименту для шарніра №6 з величиною осьового зазору 0,84 мм

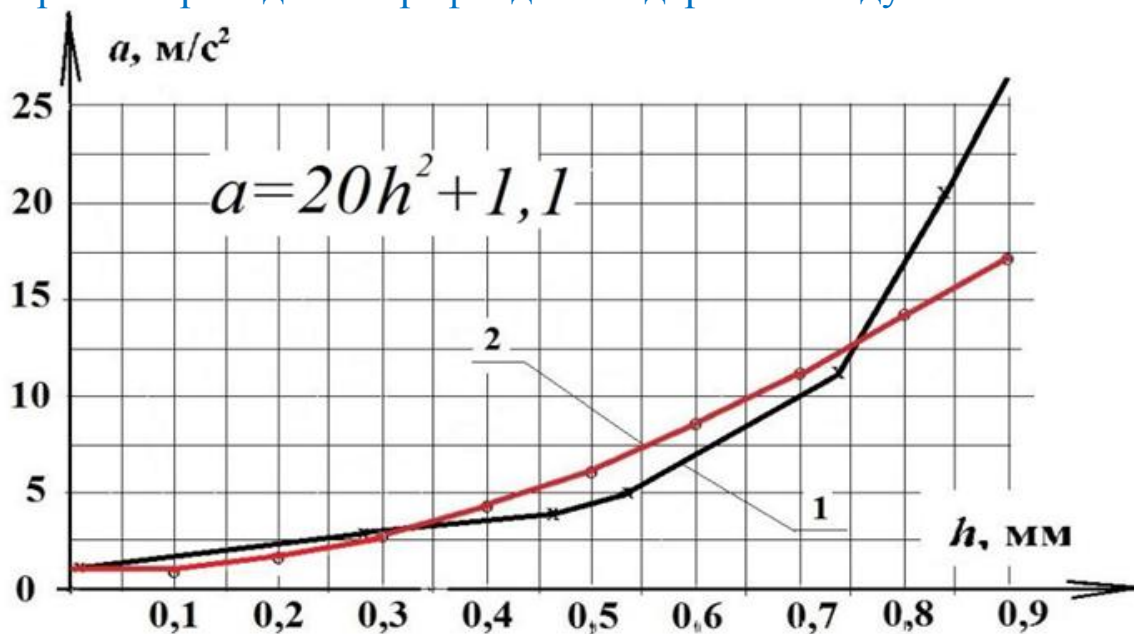




Графік залежності величини віброприскорення від величини осьового зазору досліджуваних зразків отриманий експериментальним шляхом



Графік залежності величини віброприскорення від величини осьового зазору досліджуваних зразків приведений графік до стандартного виду



# Оцінка похибки результатів дослідження в умовах СТОА «Carman» при вимірюванні осьового зазору механічним способом 18

| Досліджуваний зразок | Величина осьового зазору, мм<br>(виміряна контрольним пристроєм) | Величина осьового зазору, мм<br>(виміряна механічним способом) | Похибка, мм | Похибка, %  |
|----------------------|--|--|-------------|-------------|
| 1                    | 2  | 3  | 4           | 5           |
| №1                   | 0,01   | 0,01   | 0           | 0           |
| №2                   | 0,18   | 0,01   | 0,17        | 18,7        |
| №3,4                 | 0,21   | 0,01   | 0,20        | 22,2        |
| №5                   | 0,23   | 0,01   | 0,22        | 24          |
| №6                   | 0,24   | 0,01   | 0,23        | 25,5        |
| №7                   | 0,28   | 0,1  | 0,18        | 20          |
| №8                   | 0,29   | 0,1  | 0,19        | 21,1        |
| №9                   | 0,30   | 0,1  | 0,20        | 22,2        |
| №10                  | 0,31   | 0,1  | 0,21        | 23,3        |
| №11                  | 0,33   | 0,1  | 0,22        | 24          |
| №12                  | 0,36   | 0,1  | 0,26        | 28,9        |
| <b>№13</b>           | <b>0,39</b>  | <b>0,1</b>   | <b>0,29</b> | <b>32,2</b> |
| №14                  | 0,46   | 0,7  | 0,24        | 26          |
| №15                  | 0,54   | 0,7  | 0,16        | 18,2        |
| №16                  | 0,59   | 0,7  | 0,11        | 12,2        |
| №17                  | 0,64   | 0,7  | 0,06        | 7,1         |
| №18,19               | 0,68   | 0,7  | 0,02        | 1,1         |
| №20                  | 0,72   | 0,7  | 0,02        | 1,1         |
| №21                  | 0,74   | 0,7  | 0,04        | 2,4         |
| №22                  | 0,81   | 0,7  | 0,11        | 12,2        |
| №23                  | 0,84   | 0,7  | 0,14        | 15,5        |
| №24                  | 0,86   | 0,7  | 0,16        | 17,2        |
| №25                  | 0,88   | 0,7  | 0,18        | 20          |
| №26                  | 0,89   | 0,7  | 0,19        | 21,1        |
| №27                  | 0,91   | 0,7  | 0,21        | 23,3        |

## Оцінка похибки результатів дослідження в умовах СТОА «Carman» при вимірюванні вібраційним методом

| Досліджуваний зразок | Величина осьового зазору, мм (виміряна контрольним пристроєм) | Величина віброприскорення, для графіка отриманого експериментальним шляхом, mV | Величина віброприскорення для приведенного графіка, mV | Величина осьового зазору, мм (отримана експериментальним шляхом) | Похибка, мм | Похибка, % |
|----------------------|---|--|--|--|-------------|------------|
| 1                    | 2   | 3  | 4  | 5  | 6           | 7          |
| №1                   | 0,01  | 1,1  | 1,1  | 0,01   | 0           | 0          |
| №2                   | 0,18  | 2,1  | 1,8  | 0,10   | 0,08        | 9,9        |
| №3,4                 | 0,21  | 2,4  | 1,9  | 0,09   | 0,06        | 7,7        |
| №5                   | 0,23  | 2,5  | 2,0  | 0,17   | 0,06        | 7,7        |
| №6                   | 0,24  | 2,5  | 2,4  | 0,20   | 0,04        | 5,5        |
| №7                   | 0,28  | 2,6  | 2,5  | 0,26   | 0,02        | 3,3        |
| №8                   | 0,29  | 2,7  | 2,6  | 0,27   | 0,02        | 3,3        |
| №9                   | 0,30  | 3,0  | 2,7  | 0,27   | 0,3         | 4,4        |
| №10                  | 0,31  | 3,0  | 3,0  | 0,31   | 0           | 0          |
| №11                  | 0,33  | 3,1  | 3,1  | 0,33   | 0           | 0          |
| №12                  | 0,36  | 3,1  | 3,5  | 0,40   | 0,04        | 5,5        |
| <b>№13</b>           | <b>0,39</b>   | <b>3,5</b>   | <b>4,4</b>   | <b>0,47</b>  | <b>0,08</b> | <b>9,9</b> |
| <b>№14</b>           | <b>0,46</b>   | <b>3,6</b>   | <b>5,1</b>   | <b>0,54</b>  | <b>0,08</b> | <b>9,9</b> |
| №15                  | 0,54  | 5,1  | 7  | 0,59   | 0,05        | 6,6        |
| №16                  | 0,59  | 7,2  | 8,1  | 0,63   | 0,04        | 5,5        |
| №17                  | 0,64  | 8,2  | 9,8  | 0,57   | 0,07        | 8,8        |
| №18,19               | 0,68  | 9,1  | 11,1   | 0,72   | 0,04        | 5,5        |
| №20                  | 0,72  | 10,1   | 10,2   | 0,74   | 0,02        | 3,3        |
| №21                  | 0,74  | 10,8   | 11,8   | 0,75   | 0,01        | 1,1        |
| №22                  | 0,81  | 17,7   | 14,8   | 0,77   | 0,04        | 5,5        |
| №23                  | 0,84  | 20,5   | 15,4   | 0,78   | 0,06        | 7,7        |
| №24                  | 0,86  | 22,5   | 16,1   | 0,79   | 0,07        | 8,8        |

# Технологічна карта діагностування кулькових шарнірів підвіски автомобіля «Daewoo Nexia» традиційним способом

20

Загальна трудомісткість 0,424 люд.год.

| № пункт | Зміст операції   | Прилади і інструмент                                     | Технічні умови   | Трудомісткість люд.год. |
|---------|--|--|--|-------------------------|
| 1       | Установка автомобіля на опорні платформи люфдетектора, його фіксація на рухомих платформах                   | Детектор люфтів ходової частини для легкових автомобілів |  | 0,03                    |
| 2       | Підйом автомобіля і приведення люфт-детектора в робоче положення   |  |  | 0,02                    |
| 3       | Візуальна перевірка технічного стану кулькових шарнірів  | Слюсарний інструмент, ключі гайкові № 17, 13             | перевірка на наявність герметичності захисного чохла, деформації і тріщин корпусу шарніра, пальця, | 0,03                    |
| 4       | Натиснути кнопки 1 і 2, перевірити люфт в кулькових шарнірах і аналіз отриманої інформації                   | Детектор люфтів, площадки 3 і 4                          | Відсутність зазорів і люфтів, осьовий зазор в кульковому шарнірі не повинен перевищувати 0,7 мм.   | 0,17                    |
| 5       | Відключити кнопки 1 і 2  | Детектор люфтів, площадки 3 і 4                          |  | 0,002                   |
| 6       | Натиснути кнопки 1 і 2, повторно перевірити люфт в кулькових шарнірах, повторний аналіз отриманої інформації | Детектор люфтів, площадки 3 і 4                          | відсутність зазорів і люфтів, осьовий зазор в кульковому шарнірі не повинен перевищувати 0,7 мм.   | 0,17                    |
| 7       | Відключити кнопки 1 і 2  | Детектор люфтів, площадки 3 і 4                          |  | 0,002                   |

## Технологічна карта діагностування кулькових шарнірів підвіски автомобіля «Daewoo Nexia» вібраційним способом

Загальна трудомісткість 0,114 люд.год.

| № пункт | Зміст операції   | Прилади і інструмент                                     | Технічні умови   | Трудомісткість люд.год. |
|---------|--|--|--|-------------------------|
| 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 і приведення люфт-детектора в робоче положення                             |  |  | 0,02                    |
| 3       | Візуальна перевірка технічного стану кулькових шарнірів                                      | Слюсарний інструмент, ключі гайкові № 17, 13             | Перевірка на наявність герметичності захисного чохла, деформації і тріщин корпусу шарніра, пальця, елементів кріплення | 0,03                    |
| 4       | Установка вібродатчиків на кулькові шарніри  | неодимові магніти для установки вібродатчиків            | контакт вібродатчиків з корпусом шарових шарнірів в області досліджуваного спряження                                   | 0,002                   |
| 5       | Натиснути кнопки 1 і 2, перевірити люфт в кулькових шарнірах                                 | Детектор люфтів площадки 3 і 4                           | Відсутність зазорів і люфтів   | 0,02                    |
| 6       | Відключити кнопки 1 і 2  | Детектор люфтів площадки 3 і 4                           |  | 0,002                   |
| 7       | Аналіз отриманої інформації  |  | Осьовий зазор в кульковому шарнірі не повинен перевищувати 0,7 мм.   | 0,01                    |

Приклад установки і орієнтації вібродатчика при діагностуванні шарового шарніра в умовах автосервісних підприємств 22



| № п/п | Обладнання   | Сума, грн. |
|-------|--|------------|
| 1     | Вібродатчик ДН-3   | 2950       |
| 2     | Кабель вібродатчика ДН-3, 3м.  | 750        |
| 3     | Програмне забезпечення - LabVIEW SignalExpress + аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) | 25000      |
| 4     | Мобільний комп'ютер  | 5500       |
| 5     | Неодимовий магніт для кріплення вібродатчика   | 200        |
|       | Сума   | 34400      |

Собівартість впровадження вібраційного способу діагностування величини осьового зазору кулькових шарнірів легкового автомобіля  $C_{д2} = 1500 + 34400 = 35900$  грн.

Економічна ефективність при впровадженні розробленого способу діагностування  $K = 29160$  грн. / рік.

Термін окупності вібраційного способу діагностування величини осьового зазору кулькових шарнірів передньої підвіски легкового автомобіля

$$C_0 = \frac{35900}{29160} = 1,23 \text{ роки.}$$

1. Проведено аналіз існуючих способів визначення технічного стану кульових шарнірів, який виявив їх недоліки - складність виконання, низька точність вимірювання, високі витрати часу і матеріальних засобів на діагностування. Це підтверджує актуальність розробленого вібраційного способу визначення технічного стану кульових шарнірів.

2. Розроблено науково-методичні підходи та математичну модель зміни технічного стану кульового шарніра передньої підвіски типу «Макферсон» легкового автомобіля, яка може бути представлена у вигляді рівняння:

$$\frac{\varepsilon_1}{\eta} \xi + \frac{g_1}{\eta^2} \xi = \frac{\varepsilon_2}{\eta} \cos \tau + \frac{g_2}{\eta^2} \sin \tau$$

3. Запропоновано новий спосіб діагностування величини осьового зазору в кульових шарнірах.

4. Проведено експериментальні дослідження з визначення величини осьового зазору в 30 зразках кульових шарнірах із застосуванням вібраційного способу, отримані чисельні значення віброприскорення і їх відповідність величині осьового зазору для умов автосервісного підприємства від 1,0 м / с<sup>2</sup>, що відповідає величині осьового зазору 0,01 мм до 2,8 м / с<sup>2</sup> - відповідає осьовому зазору 0,9 мм.

5. На основі аналізу графіків залежності максимальної амплітуди віброприскорення та від часу проведення експерименту, в випробувальних зразках з величиною осьового зазору 0,01-0,9 мм, отримані емпіричні залежності для визначення фактичної величини осьового зазору  $h$  для умов автосервісного підприємства:

$$h = \sqrt{\frac{a - 1,1}{20}}$$

6. Зіставлення графіків залежності віброприскорення від величини осьового зазору при математичному моделюванні і при експериментальному дослідженні показало, що найбільша розбіжність між ними не перевищує 10%. Це підтверджує адекватність розробленої математичної моделі зміни технічного стану кульового шарніра.

7. Розроблено практичні рекомендації, які полягають в тому, що для коректного вимірювання віброприскорення в кульовому шарнірі досить застосовувати один вібродатчик ДН-3, що встановлюється в контакт з кульовим шарніром, паралельно поздовжній осі кульового пальця. Практичне значення одержаних результатів проведеної роботи полягає в підвищенні ефективності діагностування підвіски легкових автомобілів вібраційним способом, за рахунок підвищення точності вимірювання в три рази в порівнянні з традиційним способом діагностування та скорочення часу діагностування на 45% від загального часу діагностування традиційним способом. Це дозволяє отримати економічний ефект в розмірі 29160 грн / рік від впровадження розробленого способу в умовах виробництва, розрахований на прикладі СТОА «Carman». Термін окупності запропонованого способу складе 1,23 роки.