

ОЦІНКА ВПЛИВУ НЕЛІНІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОНЕНТІВ ПІДВІСКИ, АМОРТИЗАТОРА, НА РЕЗУЛЬТАТИ ЇХ ДІАГНОСТУВАННЯ

Амортизатори в автомобілі є ключовим елементом підвіски, який забезпечує комфорт та безпеку під час руху. Вони працюють у парі з пружним пристроєм, поглинаючи енергію ударів та поштовхів, що виникають при наїзді на нерівність дороги. Амортизатор запобігає розгойдуванню кузова, зменшує вібрацію та забезпечує більш плавний рух кузова. У процесі експлуатації з напрацюванням параметри амортизатора погіршуються, знижується безпека, комфорт, продуктивність автомобіля, погіршується стійкість, збільшується гальмівний шлях, прогресує розгойдування кузова при русі, з'являються стукіт та шуми у підвісці, нерівномірне зношування шин. Це призводить до необхідності періодично контролювати стан амортизаторів засобами діагностики. Широко застосовується безрозбірна діагностика, оскільки монтажні-демонтажні роботи мають велику трудомісткість, вимагають застосування спеціального обладнання та кваліфікованих спеціалістів. На практиці використовується стендове діагностування із застосуванням збудження підвіски періодичним сигналом, при цьому, великою мірою, тестується не амортизатор, а підвіска загалом. Тому, при тестуванні підвіски у зборі, у висновку про тестування амортизатора міститься інформація про інші компоненти підвіски. Це є джерелом помилок під час діагностування амортизаторів. Компоненти підвіски можуть мати як лінійні, так і нелінійні характеристики, причому ті й інші через наявність помилок і несвоєчасну заміну амортизатора можуть обмежувати його фактичну працездатність. У цій роботі, із залученням методу імітаційного моделювання, розглядається вплив нелінійних характеристик, таких як сухе тертя та люфт у підвісці, на похибку діагностування амортизатора.

Ключові слова: амортизатор, діагностування, нелінійні характеристики, похибки, моделювання.

ВСТУП

Підвіска автомобіля здійснює дві найважливіші функції – комфорт та безпеку руху. Комфорт забезпечується правильною характеристикою "швидкість - сила" протягом ходу штока амортизатора при стисненні та віддачі, а безпека - стабільністю контакту шини з дорогою. Характеристика "швидкість - сила" у підвісці автомобіля формується тертям різних видів. Головним чином, це тертя в амортизаторах, пружних елементах, шарнірах важелів підвіски, рульового приводу, шинах. Основні джерела згасання у підвісці: постійне (сухе тертя) у шарнірах підвіски та рульового приводу; тертя, що залежить від відносної швидкості кузова та колеса, що має місце у гідравлічних амортизаторах; міжмолекулярне тертя; тертя, пов'язане з шиною. Тертя всіх видів, за винятком тертя в амортизаторах, негативно впливають на коливання автомобілів, тому в сучасних автомобілях ці види тертя зменшують до мінімуму. З пробігом автомобіля різні види тертя не залишаються незмінними. Більшість видів діють паралельно тертю в амортизаторах, тому визначення їх величин, включаючи тертя в амортизаторах, пов'язане з певними труднощами.

Існує такий стан несправного амортизатора, у якому зміна напрямку руху штока початковий час взагалі не супроводжується зусиллям, тобто має місце люфт. Цей режим і цей стан також цікавий для діагностування амортизатора та оцінки похибок при формулюванні діагнозу.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Відомо достатню кількість методів та засобів діагностування підвісок/амортизаторів, що відрізняються функціональними та метрологічними властивостями [1]. Доступним та найпростішим у використанні є «Тестер амортизаторів на автомобілі SAT USB M-TRONIC», що приводиться в дію м'язовою силою оператора [2]. Як діагностичний параметр пропонувалося відношення двох сусідніх амплітуд. Було знято з виробництва через низьку точність через велику залежність результату діагностування від величини сухого тертя в підвісці.

Найбільш популярний метод та засоби діагностування амортизаторів в Україні свого часу було запропоновано «Асоціацією виробників амортизаторів у Європі» – метод EuSAMA [3]. Тут як діагностичний параметр використовується відношення мінімального за випробування динамічного зусилля колеса на опорну поверхню до статичного зусилля. Є пропозиції щодо вдосконалення методу, зокрема з метою зниження похибок від дії сторонніх факторів [4,5].

У резонансному методі (BOGE, MAXA) як діагностичний параметр використовується амплітуда коливання невіднесеної маси, відсотковий коефіцієнт загасання i , в пізніших версіях, відносний коефіцієнт демпфірування [6,7]. Модифіковані версії методу демонструють зниження похибок методу, у тому числі за рахунок зниження впливу сторонніх чинників.

Останнім часом завдяки розвитку техніки обробки сигналів з'явилися такі методи діагностування амортизаторів:

- метод фазового кута [8];
- ТЕТА - метод (відносний коефіцієнт демпфірування) [9];
- метод половинного кута (потужності) [10].

Першою особливістю дослідження методів є аналіз відповідних діагностичних параметрів, включаючи однозначність, чутливість, похибку від дії сторонніх факторів [7,11]. Основним методом дослідження прийнято моделювання, причому використовуються дво-, тримасові моделі «чверті автомобіля» другого та третього порядків [12,13, 14].

Другою особливістю досліджень слід назвати ігнорування впливу нелінійних характеристик компонентів на результати діагностування підвіски/амортизатора. Винятком є роботи авторів Lozia Z. [15], Zdanowicz, P, [16], які запровадили моделі нелінійних характеристик пружного пристрою підвіски і шини. В результаті дослідження впливу сухого тертя в підвісці на результати діагностування амортизаторів методом EuSAMA автором Zdanowicz, P, було показано, що автомобілі з високими значеннями сухого тертя в підвісках досягають хороших або навіть дуже хороших результатів у тесті, навіть якщо демпфуючі елементи підвісок повністю зношені. Це вказує на необхідність урахування сухого тертя під час діагностування.

Люфт в амортизаторі виникає при нестачі гідравлічної рідини, перегріві або при неправильному монтажі. При тестуванні на стенді проявляється у вигляді стукотів.

Незважаючи на суттєвий вплив нелінійних характеристик компонентів підвіски на результати діагностування, дослідження мають фрагментарний характер та стосуються окремих методів діагностування. Ця ситуація склалася через наявність відомих складнощів інтегрування лінійних диференціальних рівнянь моделі з нелійними елементами у загальному вигляді. Вихід із ситуації можливий в накопиченні приватних рішень із наступним узагальненням. Одним із таких приватних рішень є матеріал цієї статті.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою цієї роботи є визначення амплітудної, фазової реакції невіднесорених частин при тестуванні автомобіля на стенді, залежно від зміни нелінійних параметрів підвіски автомобіля при навантаженні на вісь до 740 кг. Як нелінійні параметри використовувалися сухе тертя і люфт у підвісці. Зі збільшенням пробігу дані параметри не залишаються постійними, як і їх вплив на точність діагнозу. Знання залежностей «нелінійні параметри» - амплітудні, фазові параметри при стендовому тестуванні дозволяють оцінити похибку конкретного методу та його застосування для певних умов.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Як основний метод дослідження прийнято моделювання. У численних дослідженнях підтверджено високий рівень адекватності імітаційної моделі. Насправді двомасова модель є класикою теорії динаміки механічних систем. З іншого боку, моделювання дозволяє суттєво знизити вартість дослідження внаслідок виключення трудомісткої розбирання-складання підвіски та неможливості після чергового складання з повною достовірністю повернути сполучення до початкових параметрів. Моделювання проводилося в часовій області у середовищі MATLAB SIMULINK, рисунок 1. Як об'єкт досліджень був обраний автомобіль SKODA FABIA 1,6. Використовувалася двомасова модель автомобіля [17], в якій модулі b1 та Sign-S були замінені на бібліотечні Covlumb & Viscons Fridom та Backlash відповідно. Перший реалізує нелінійну функцію "сухе тертя", другий - нелінійну функцію "люфт".

Люфт моделювався за допомогою зони нечутливості, тобто частини коефіцієнта демпфірування зі значенням, що дорівнює нулю.

Допущення, прийняті у розрахунку:

- ізолювана «чверть підвіски» автомобіля;
- двомасова модель з двома ступенями свободи;
- лінійна характеристика пружних елементів c1, c2.

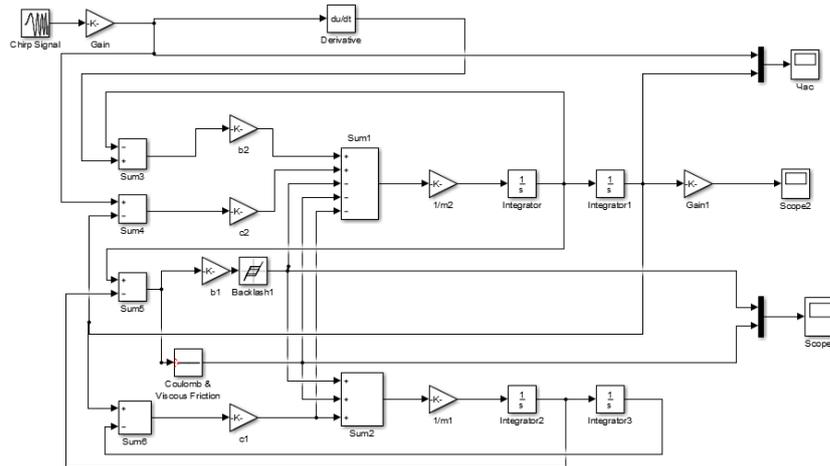


Рисунок 1. Комп'ютерна модель.

Моделювання проводилося для шести значень сухого тертя та шести значень зони нечутливості (люфту) при коефіцієнті демпфірування, що відповідає хорошему, задовільному та незадовільному стану амортизатора, таблиця 1. Вихідні дані для розрахунку представлені в таблиці 2.

Таблиця 1 - Відповідність коефіцієнтів EuSAMA та коефіцієнтів демпфірування амортизаторів при навантаженні на вісь 740 кг: [18]

Оцінка: верхній край діапазону:	Коефіцієнт EuSAMA, %	Коефіцієнт демпфування амортизатора, Н*с/м
«Добре» (Зона А)	70+	1460+
«Досить» (Зона В)	50	700
«Недостатньо» (Зона С)	30	430
«Погано» (Зона D)	20	20
«Погано» (Зона Е)	0-	0

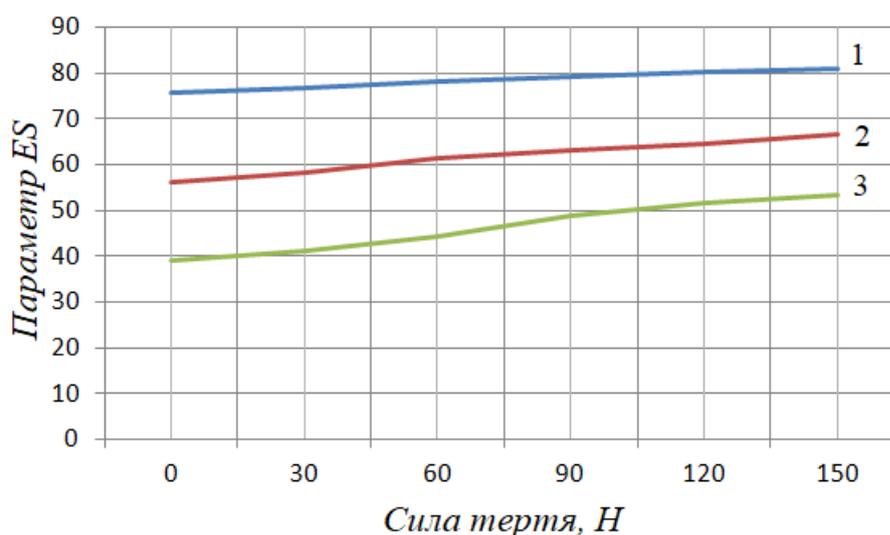
Результати моделювання представлені на рисунках 2 – 9.

Таблиця 2 - Вихідні дані для розрахунку

Показник	Значення	Одиниця виміру
Амплітуда нерівності	$A = 0,003$	м
Маса кузова	$m1 = 376$	кг
Жорсткість пружини	$c1 = 25000$	Н/м
Демпфірування амортизатора	$b1 = 1460...430$	Н*с/м
Підресорена маса	$m2 = 35$	кг
Жорсткість шини	$c2 = 273$	кН/м
Демпфірування шини	$b2 = 200$	Н*с/м
Сухе тертя в підвісці	$s = 0...150$	Н
Люфт (зона нечутливості)	$Y=0...250$	Н*с/м

Парціальні власні частоти підвіски: $\omega1 = 1,3$ Гц; $\omega2=14$ Гц.

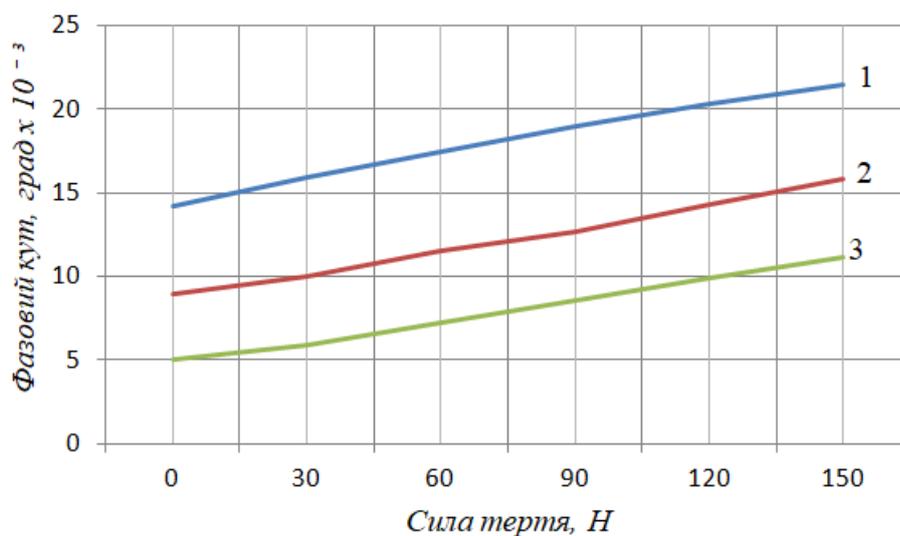
На рисунках 2 – 5 представлені залежності діагностичних параметрів деяких методів від величини сухого (постійного тертя) у підвісці за трьох значень коефіцієнта демпфірування амортизатора.



1 - $b1=1460 \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}$; 2 - $b1 = 700 \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}$; 3 - $b1 = 430 \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}$

Рисунок 2. Вплив сухого тертя на «параметр EuSAMA» при різних значеннях коефіцієнта демпфування амортизатора

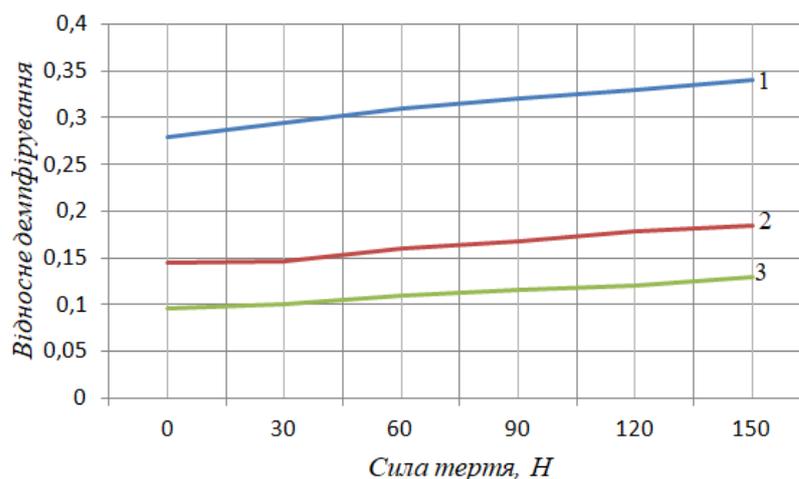
Як випливає з рисунка 2, зі збільшенням значень сухого тертя, «параметр EuSAMA» зростає майже лінійно, причому зі зменшенням коефіцієнта демпфування чутливість «параметра EuSAMA» зростає.



1 - $b1=1460 \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}$; 2 - $b1 = 700 \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}$; 3 - $b1 = 430 \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}$

Рисунок 3. Вплив сухого тертя на параметр «фазовий кут» за різних значень коефіцієнта демпфування амортизатора

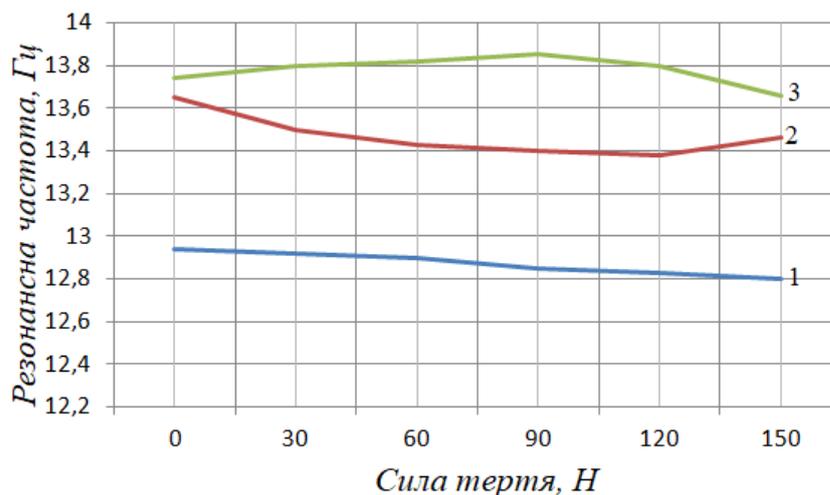
На рис.3 параметр «фазовий кут» демонструє однакову чутливість всім значенням коефіцієнта демпфування амортизатора, про що свідчить однаковий нахил кривих. Абсолютна величина чутливості максимальна серед діагностичних параметрів, що розглядаються, таблиця 3.



1 – $b_1=1460 \text{ Н*с/м}$; 2 - $b_1 = 700 \text{ Н * с / м}$; 3 - $b_1 = 430 \text{ Н * с / м}$.

Рисунок 4. Вплив сухого тертя на параметр «відносне демпфірування» за різних значень коефіцієнта демпфірування амортизатора

Рисунок 4 ілюструє майже лінійне зростання відносного демпфірування зі зростанням сухого тертя при всіх значеннях коефіцієнта чутливості.

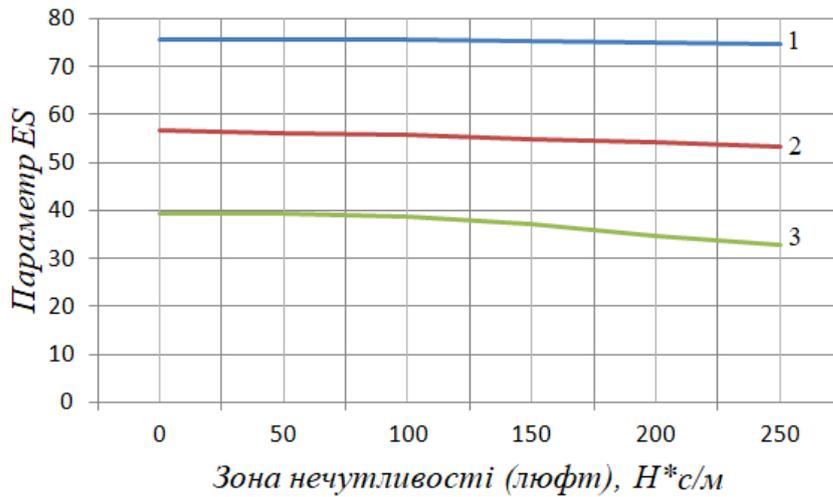


1 – $b_1=1460 \text{ Н*с/м}$; 2 - $b_1 = 700 \text{ Н * с / м}$; 3 - $b_1 = 430 \text{ Н * с / м}$.

Рисунок 5. Вплив сухого тертя на резонансну частоту невіднесеної маси при різних значеннях коефіцієнта демпфірування амортизатора

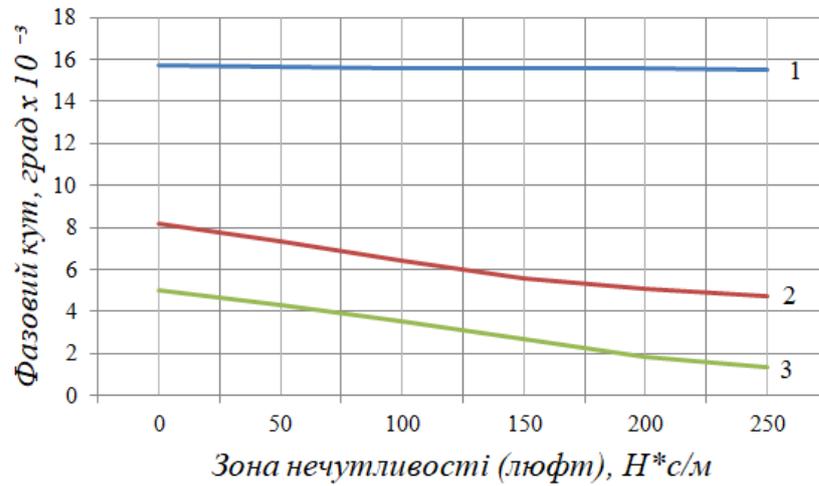
На рисунку 5 представлена залежність резонансної частоти невіднесеної маси від сухого тертя. Резонансна частота не застосовується як самостійний діагностичний параметр, але може бути використана у складних випадках як додаткова інформація.

На рисунках 6 – 9 представлені залежності діагностичних параметрів від зони нечутливості (люфту) у підвісці за трьох значень коефіцієнта демпфірування амортизатора.



1 - $b_1=1460 \text{ Н*с/м}$; 2 - $b_1 = 700 \text{ Н * с / м}$; 3 - $b_1 = 430 \text{ Н * с / м}$

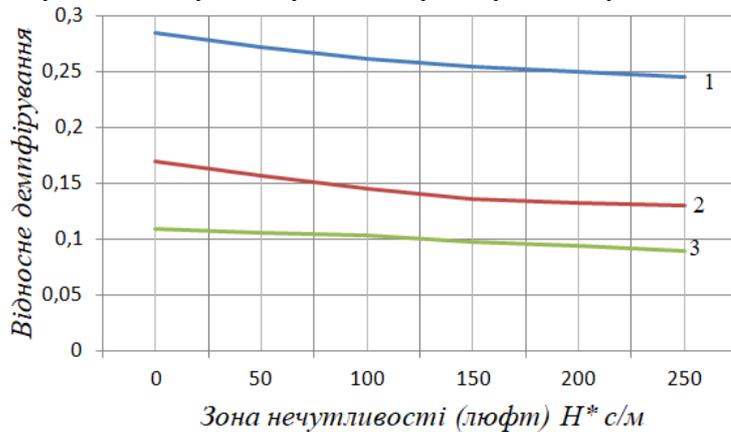
Рисунок 6. Вплив зони нечутливості (люфту) на параметр EuSAMA при різних значеннях коефіцієнта демпфірування амортизатора



1 - $b_1=1460 \text{ Н*с/м}$; 2 - $b_1 = 700 \text{ Н * с / м}$; 3 - $b_1 = 430 \text{ Н * с / м}$

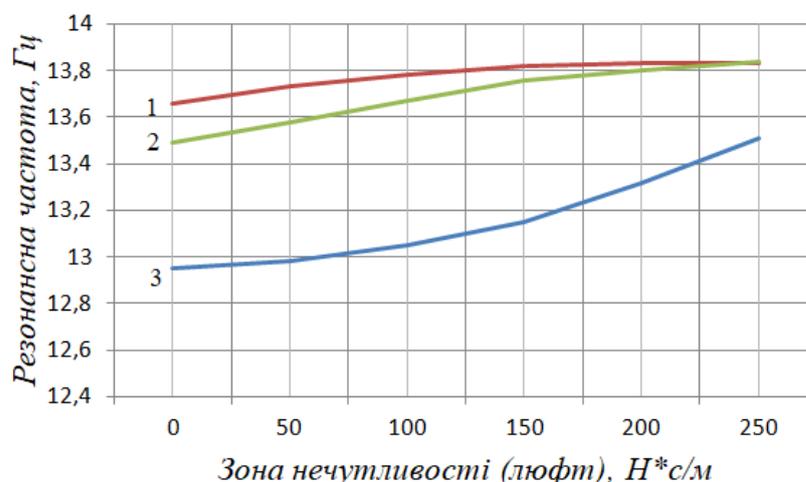
Рисунок 7. Вплив зони нечутливості (люфту) на параметр «фазовий кут» за різних значень коефіцієнта демпфірування амортизатора

На рисунках 6,7,8 показано, що залежності діагностичних параметрів від ширини зони нечутливості (величини люфта) майже лінійні та їх значення знижуються зі збільшенням люфту. Залежність несуттєва для справного амортизатора для «параметра ES» і фазового кута.



1 - $b_1=1460 \text{ Н*с/м}$; 2 - $b_1 = 700 \text{ Н * с / м}$; 3 - $b_1 = 430 \text{ Н * с / м}$

Рисунок 8. Вплив зони нечутливості (люфту) на параметр «відносне демпфірування» за різних значень коефіцієнта демпфірування амортизатора



1 – $b_1=1460 \text{ Н*с/м}$; 2 - $b_1 = 700 \text{ Н * с / м}$; 3 - $b_1 = 430 \text{ Н * с / м}$

Рисунок 9. Вплив зони нечутливості (люфту) на резонансну частоту невіднесеної маси при різних значеннях коефіцієнта демпфірування амортизатора

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Зведена інформація про чутливість діагностичних параметрів до зміни сухого тертя у підвісці та зони нечутливості (люфту) представлена в таблицях 3,4.

Таблиця 3 – Коефіцієнти чутливості діагностичних параметрів до зміни сухого тертя у підвісці

Параметр	Коефіцієнти чутливості при коефіцієнті демпфірування:		
	1460	700	430
ES	0,0145	0,0266	0,1023
Фазовий кут	0,0596	0,1049	0,1317
Відносне демпфірування	0,0508	0,0875	0,1003

Таблиця 4 – Чутливість діагностичних параметрів до зміни зони нечутливості (люфт) у підвісці.

Параметр	Коефіцієнти чутливості при коефіцієнті демпфірування:		
	1460	700	430
ES	-0,0046	-0,0091	-0,0459
Фазовий кут	-0,0042	-0,1376	-0,1733
Відносне демпфірування	-0,0294	-0,0627	-0,0564

Примітка: знак «-» свідчить про спадання функції.

Коефіцієнт чутливості визначався як відношення різниці двох сусідніх значень до меншої їх. У таблиці наведено максимальне значення коефіцієнта чутливості, обране з ряду значень при певному коефіцієнті демпфірування.

Як випливає з таблиці, мінімальний вплив сухого тертя схильний до діагностичного «параметра ES» – метод EuSAMA. Мінімальний вплив також притаманний всім діагностичним параметрам при справній підвісці з $b_1=1460 \text{ Н*с/м}$. В інших умовах параметри «фазовий кут» та «відносне демпфірування» мають приблизно однакову залежність від величини сухого тертя.

«Параметр ES» демонструє мінімальну залежність також і від люфта в підвісці, таблиця 4. Найбільшою мірою впливу люфту піддається параметр «фазовий кут». Параметр «відносне демпфірування» при цьому показує помірну залежність від люфту у підвісці та слабку залежність від стану амортизатора при фіксованому значенні люфту.

Зі зростанням зони нечутливості (люфт) підвіски резонансна частота невіднесених частин також зростає, рис.9.

У таблиці 5 представлені максимальні значення відносної похибки діагностичних параметрів для обох видів нелінійних елементів за тих же коефіцієнтів демпфірування, що й у попередній таблиці. У всіх випадках відносна похибка визначалася на межі діапазону, при цьому як друге діюче значення приймалося значення параметра при нульовому значенні нелінійних елементів.

Таблиця 5. Максимальні значення відносної похибки діагностичних параметрів, %.

Нелінійний елемент	Діагностичний параметр	Коефіцієнт демпфірування:		
		1460	700	430
Суше тертя	Параметр EU	6,96	17,95	36,57
	Фазовий кут	51,41	75,55	123,40
	Відносне демпфірування	21,41	26,89	28,33
Зона нечутливості (люфт)	Параметр EU	1,52	6,144	16,98
	Фазовий кут	1,55	35,82	73,25
	Відносне демпфірування	14,11	23,53	7,95

Як випливає з таблиці, сухе тертя та зона нечутливості (люфт) максимально впливає на діагностичний параметр «фазовий кут». Дані таблиці 5 в окремих випадках можуть бути основою визначення ймовірності формулювання неправильного висновку при тестуванні підвіски.

ВИСНОВКИ

Нелінійні характеристики компонентів підвіски істотно впливають на величину діагностичних параметрів, тим самим викликаючи похибки при діагностуванні.

Суше тертя в підвісці викликає зростання діагностичних параметрів, що може викликати переоцінку властивостей амортизатора з наступною рекомендацією експлуатувати несправний амортизатор.

Зворотний ефект викликає нелінійний параметр – зона нечутливості (люфт) підвіски. З її збільшенням значення діагностичних параметрів знижуються, в результаті можлива недооцінка властивостей демпфірування амортизатора, тобто його надмірна заміна.

Суше тертя та зона нечутливості (люфт) у підвісці максимально впливає на діагностичний параметр «фазовий кут».

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Техническое обслуживание, ремонт и хранение автотранспортных средств: Учебник: В 3 кн. К.: Выща шк., 1991. – Кн. 1. Теоретические основы. / В.Е. Канарчук, А.А. Лудченко, И.П. Курников, И.А. Луйк. – 359 с. : ил.

2. Тестер амортизаторов на автомобиле **SAT USB M-TRONIC** : вебсайт. URL: https://m-ronic-dt.de/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=1&Itemid=6&lang=ru (дата звернення 08.07.2025)

3. EuSAMA TS-02-76, code (1976) ‘Recommendation for performance test specification of car vehicle suspension testing system’, European Shock Absorber Manufacturers Association.

4. Simulation analysis of the EUSAMA Plus suspension testing method including the impact of the vehicle untested side. - K Dobaj 2016 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 148 012034

5. Arbeláez, J.J., Marín, J.P. and Calle, T. (2007) ‘Modelado, diseño y construcción de un banco de pruebas para el análisis de la adhesión en la evaluación en suspensiones de vehículos livianos bajo la norma European Shock Absorber Manufacturers Association (EuSAMA)’, 8th Iberoamerican Congress of Mechanical Engineering, October, Vol. 1, No. 1, pp.141–150.

6. Stoßdämpferprüfstand LON-SA2D/FWT für PKW und Transporter bis 1,1 t Achslast verstärkte Version bis 2,0 t Achslast. Bedienungsleitung. 3. Ausgabe, MAHA Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co. KG. 2003.

7. Tomasz L. Stańczyk, Rafał Jurecki. Analiza porównawcza metod badania amortyzatorów hydraulicznych. - Zeszyty naukowe instytutu pojazdów 4(100)/2014 pp 25-45.

8. Suspension tester and method. Patent USA 5369974A, приор.1992-11-10, публ. 1994-12-06.

9. Описание типа средства измерений. вебсайт. URL: <https://media.belgim.by/grsi/11157.pdf> (дата звернення 24.01.2025).

10. Calvo J.A., San Román J.L., Alvarez-Caldas C.: Procedure to verify the suspension system on periodical motor vehicle inspection. *International Journal of Vehicle Design*. 2013, 63(1), 1–17, DOI: 10.1504/IJVD.2013.055497
11. Gardulski J., Badania diagnostyczne amortyzatorów. - *DIAGNOSTYKA'2* (38)/2006, pp 187-198.
12. Losia Z. Application of modelling and simulation to evaluate the theta method used in diagnostics of automotive shock absorbers/ *Archives of Automotive Engineering - Archiwum Motoryzacji* · June 2022 DOI: 10.14669/AM/150823
13. Lozia, Z., Zdanowicz, P. (2018). Simulation assessment of the impact of inertia of the vibration plate of a diagnostic suspension tester on results of the EUSAMA test of shock absorbers mounted in a vehicle. *KONMOT 2018 Conference. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 421. 022018 IOP Publishing DOI 10.1088/1757-899X/421/2/022018.
14. Дитятьєв О.В. Щодо питання вибору типу вібростенду для діагностування підвіски автомобіля. У науковому журналі «СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ В МАШИНОБУДУВАННІ ТА ТРАНСПОРТІ» №2 (21) ЛУЦЬК 2023 с.91...100. DOI 10.36910/automash.v2i21.1213
15. Zbigniew Lozia and Piotr Zdanowicz. Simulation assessment of the half-power bandwidth method in testing shock absorbers. <https://doi.org/10.1515/eng-2021-0011> Received Jul 13, 2020; accepted Sep 28, 2020.
16. ZDANOWICZ, P. Comparative assessment of vertical vibrations of a vehicle on the road and during the EUSAMA test. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [online]. 2018, 421(2) [accessed 2020-08-07]. ISSN 1757-899X. Available from: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/421/2/022045/pdf>
17. Дитятьєв О.В., Рева В.Б. Про похибку стендового контролю підвіски. У науковому журналі «СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ В МАШИНОБУДУВАННІ ТА ТРАНСПОРТІ» №2 (19) ЛУЦЬК 2022 с.81...88. DOI 10.36910/automash.v2i19.906
18. Дитятьєв О.В. Вплив нетестованого колеса осі на похибку визначення демпфування колеса, що тестується методом EuSAMA - «Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті». *Науковий журнал. – Луцьк: ЛНТУ, 2024.– №1(22).– С. 139 – 146.* DOI 10.36910/automash.v1i22.1354.

REFERENCES

1. Tekhnicheskoe obsluzhyvanye, remont y khraneniye avtotransportnykh sredstv: Uchebnyk: V 3 kn. K.: Vyshcha shk., 1991. – Kn. 1. Teoretycheskye osnovy. / V.E. Kanarchuk, A.A. Ludchenko, Y.P. Kurnykov, Y.A. Luik. – 359 s. : yl.
2. Tester amortyzatorov na avtomobyle SAT USB M-TRONIC : vebsait. URL: https://m-tronic-dt.de/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=1&Itemid=6&lang=ru (data zvernennia 08.07.2025)
3. EuSAMA TS-02-76, code (1976) ‘Recommendation for performance test specification of car vehicle suspension testing system, European Shock Absorber Manufacturers Association.
4. Simulation analysis of the EUSAMA Plus suspension testing method including the impact of the vehicle untested side. - *K Dobaj 2016 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 148 012034
5. Arbeláez, J.J., Marín, J.P. and Calle, T. (2007) ‘Modelado, diseño y construcción de un banco de pruebas para el análisis de la adhesión en la evaluación en suspensiones de vehículos livianos bajo la norma European Shock Absorber Manufacturers Association (EuSAMA), 8th Iberoamerican Congress of Mechanical Engineering, October, Vol. 1, No. 1, pp.141–150.
6. Stoßdämpferprüfstand LON-SA2D/FWT für PKW und Transporter bis 1,1 t Achslast verstärkte Version bis 2,0 t Achslast. Bedienungsleitung. 3. Ausgabe, MAHA Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co. KG. 2003.
7. Tomasz L. Stańczyk1 , Rafał Jurecki. Analiza porównawcza metod badania amortyzatorów hydraulicznych. - *Zeszyty naukowe instytutu pojazdów* 4(100)/2014 pp 25-45.
8. Suspension tester and method. Patent USA 5369974A, pryor.1992-11-10, publ. 1994-12-06.
9. Opysanye tipa sredstva yzmerenyi. vebsait. URL: <https://media.belgim.by/grsi/11157.pdf> (data zvernennia 24.01.2025).
10. Calvo J.A., San Román J.L., Alvarez-Caldas C.: Procedure to verify the suspension system on periodical motor vehicle inspection. *International Journal of Vehicle Design*. 2013, 63(1), 1–17, DOI: 10.1504/IJVD.2013.055497

11. Gardulski J., Badania diagnostyczne amortyzatorów. - DIAGNOSTYKA2 (38)/2006, pp 187-198.
12. Losia Z. Application of modelling and simulation to evaluate the theta method used in diagnostics of automotive shock absorbers/ Archives of Automotive Engineering - Archiwum Motoryzacji • June 2022 DOI: 10.14669/AM/150823
13. Lozia, Z., Zdanowicz, P. (2018). Simulation assessment of the impact of inertia of the vibration plate of a diagnostic suspension tester on results of the EUSAMA test of shock absorbers mounted in a vehicle. KONMOT 2018 Conference. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 421. 022018 IOP Publishing DOI 10.1088/1757-899X/421/2/022018.
14. Dytiatiev O.V. Shchodo pytannia vyboru typu vibrostendu dlia diahnostuvannia pidvisky avtomobilia. U naukovomu zhurnali «SUCHASNI TEKHNOLOHII V MASHYNOBUDUVANNI TA TRANSPORTI» №2 (21) LUTsK 2023 s.91...100. DOI 10.36910/automash.v2i21.1213
15. Zbigniew Lozia and Piotr Zdanowicz. Simulation assessment of the half-power bandwidth method in testing shock absorbers. <https://doi.org/10.1515/eng-2021-0011> Received Jul 13, 2020; accepted Sep 28, 2020.
16. ZDANOWICZ, P. Comparative assessment of vertical vibrations of a vehicle on the road and during the EUSAMA test. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering [online]. 2018, 421(2) [accessed 2020-08-07]. ISSN 1757-899X. Available from: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/421/2/022045/pdf>
17. Dytiatiev O.V., Reva V.B. Pro pokhybku stendovoho kontroliu pidvisky. U naukovomu zhurnali «SUCHASNI TEKHNOLOHII V MASHYNOBUDUVANNI TA TRANSPORTI» №2 (19) LUTsK 2022 s.81...88. DOI 10.36910/automash.v2i19.906
18. Dytiatiev O.V. Vplyv netestovanoho kola osi na pokhybku vyznachennia dempfuvannia kola, shcho testuietsia metodom EuSAMA - «Suchasni tekhnolohii v mashynobuduvanni ta transporti». Naukovyi zhurnal. – Lutsk: LNTU, 2024.– №1(22).– S. 139 – 146. DOI 10.36910/automash.v1i22.1354.

O. Dityatyev. Assessment of the influence of nonlinear characteristics of suspension components, shock absorber, on the results of their diagnostic.

Shock absorbers in a car are a key element of the suspension, which provides comfort and safety when driving. They work in tandem with an elastic device, absorbing the energy of impacts and shocks that occur when driving over uneven roads. The shock absorber prevents body swaying, reduces vibration and provides a smoother movement of the body. In the process of operation, the parameters of the shock absorber decrease, safety and comfort, vehicle performance decrease, vehicle stability deteriorates, braking distance increases, body swaying progresses when driving, knocks and noises appear in the suspension, uneven tire wear. This necessitates periodic monitoring of the shock absorber condition using diagnostics. There is a widespread lack of disassembly diagnostics, fragments of installation and dismantling robots are very labor-intensive, requiring the need for special equipment and qualified specialists. In practice, bench diagnostics are used by activating the suspension with a periodic signal, in which, to a large extent, it is not the shock absorber that is tested, but the suspension. Therefore, when testing the assembled suspension, the shock absorber testing section contains information about other suspension components. This is a source of errors in shock absorber diagnostics. Suspension components can have both linear and nonlinear characteristics, and both of them, through the presence of errors and untimely replacement of the shock absorber, can limit its actual performance. In this paper, using the simulation modeling method, the influence of nonlinear characteristics, such as dry friction and play in the suspension, on the error in shock absorber diagnostics is considered.

Keywords: shock absorber, diagnostics, nonlinear characteristics, errors, modeling

ДИТЯТЬЄВ Олександр Васильович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри експлуатації та сервісу автомобілів, Харківський національний автомобільно-дорожній університет e-mail: alex-dit@ukr.net <https://orcid.org/0009-0004-1897-8813>

Oleksandr DITYATYEV – Ph. D. (Ing.), Senior Research Fellow, Associate Professor of the Department of Technical operation and service of cars, Kharkiv National Automobile and Highway University e-mail: alex-dit@ukr.net <https://orcid.org/0009-0004-1897-8813>

Дата надходження статті до видання: 21.10.2025

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 01.11.2025

DOI 10.36910/automash.v2i25.1920