

$k=194479$  Н/мм;

– при внутрішньому тиску пневматичного пружного елемента у 1,5 атм  
 $k=117343,9$  Н/мм;

– при внутрішньому тиску пневматичного пружного елемента у 2 атм  
 $k=91085,12$  Н/мм;

– при внутрішньому тиску пневматичного пружного елемента у 2,5 атм  
 $k=66467,52$  Н/мм;

На це безсумнівно додатково впливають гістерезисні властивості гуми з якої зроблений пневматичний пружний елемент та термодинамічні процеси стиску і розширення повітря в ньому.

#### *Література*

1. *Гука закон // Термінологічний словник-довідник з будівництва та архітектури / Р.А. Шмиг, В.М. Боярчук, І.М. Добрянський, В.М. Барабаш ; за заг. ред. Р.А. Шмига. — Львів, 2010. — С. 74. — ISBN 978-966-7407-83-4.*

2. *Опір матеріалів: Навч. посіб. для студентів ВНЗ. Рекомендовано МОН / Шваб'юк В. І. — К., 2009. — 380 с.*

#### **УДК 629.113**

*Сахно Володимир Прохорович, д.т.н., професор  
 Національний транспортний університет*

*Криворот Анатолій Ігорович, к.т.н., доцент,  
 Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

### **ДО ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ ЗАТУХАННЯ КОЛИВАНЬ ПРУЖНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПІДВІСКИ АВТОМОБІЛЯ**

На комфорт водіїв і пасажирів можуть впливати різні фактори, такі як нерівність дороги, система підвіски автомобіля, система підвіски сидінь і система підвіски кабіни (для вантажних транспортних засобів (ТЗ)) [1]. З огляду на значний вплив вібрації на здоров'я людини, автомобільна промисловість надає великого значення проектуванню, переобладнання існуючих типів підвісок ТЗ так і виробництву нових, що знижують вібрацію до мінімуму. Деякі дослідники зосереджуються на вдосконаленні основної системи підвіски автомобіля для зменшення вхідної вібрації від дороги через шасі до тіла людини [2–4], тоді як інші прагнуть покращити конструкцію підвіски автомобільних сидінь [5]. Основним засобом ізоляції вібрації в автомобільних транспортних засобах є певна форма пружинного елемента (циліндри та еліпсоїди), причому найпоширенішими типами є металеві пружини, гідравлічні елементи та пневматичні пружні елементи. Пневматичні пружні елементи вважаються найбільш універсальними серед усіх, і очікується, що пневматична підвіска буде найбільш швидкозростаючим ринком порівняно з іншими системами підвіски.

Мета даної роботи полягає в дослідженні та порівнянні робочих процесів затухання коливань пружинної та пневматичної підвіски транспортних засобів

---

категорії N1 на прикладі автомобіля Opel Vivaro.

Коли пружиний елемент деформується, то виникає сила, яка намагається повернути його в початковий розмір і форму. Ця сила спричинена електромагнітними ефектами між атомами та молекулами матеріалу, з якого складається пружиний елемент. Ця сила називається силою пружності. В залежності від величини цієї сили і буде змінюватися вібропоглинання, або швидкість затухання коливань. Для визначення вібропоглинання було проведено експериментальне дослідження, а саме навантаження пружного елемента тягарцями у 16 кг і додаткове скидання тягарця у 4 кг з висоти у 30 см (рис. 1).



*Рисунок 1 – Процес зняття діаграм затухання.*

Детальне вивчення графічних залежностей на рисунках 2 – 3 дає дійсний час затухання. Для металевого пружного елемента час рівний 3,05 с, а для пневматичного пружного елемента при внутрішньому тиску в 1 атм к – 1,1 с. Аналіз даних показує, що процес затухання у пневматичному пружному елементі при всіх тиска відбувається майже втричі швидше.

---

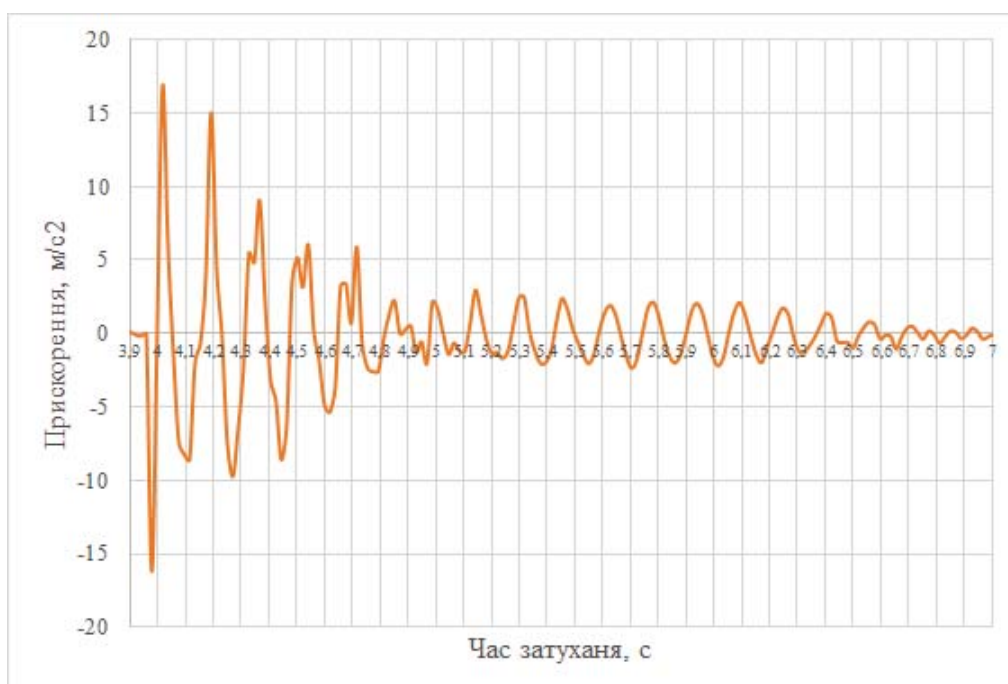


Рисунок 2 – Експериментально визначений процес затухання вертикальних коливань у металевому пружному елементу задньої підвіски автомобіля Opel Vivaro.

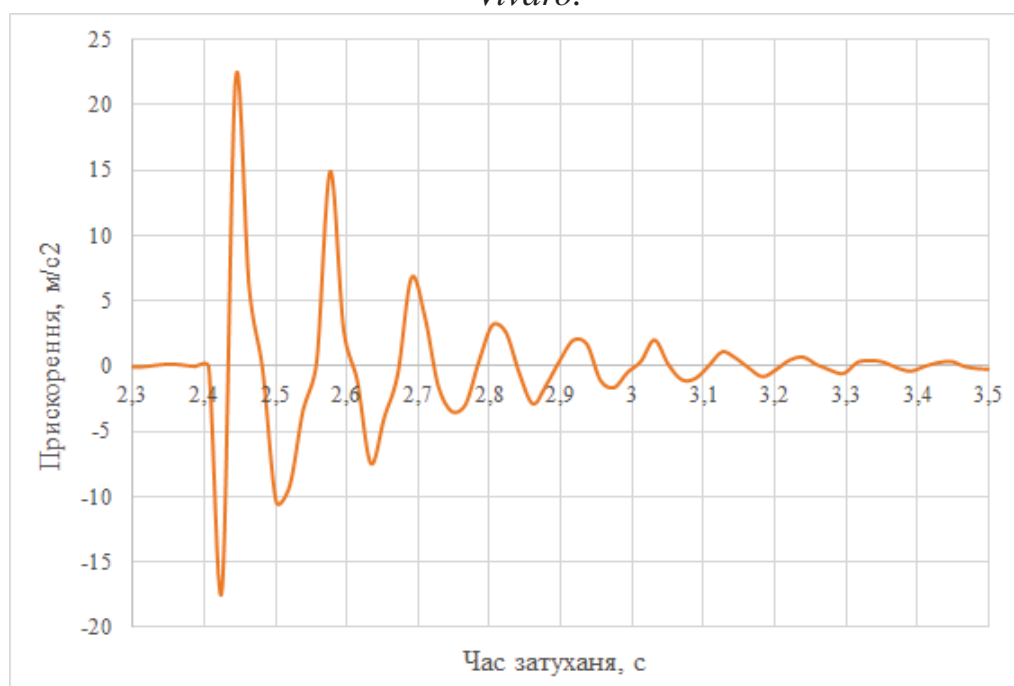


Рисунок 3 – Експериментально визначений процес затухання вертикальних коливань у пневматичного пружного елементу (РБ=1 атм) задньої підвіски автомобіля Opel Vivaro.

З отриманих експериментальних даних було виведено диференційні рівняння (1) для металевого пружного елементу і (2) для пневматичного пружного елементу, які описують процес затухання коливань.

$$x(t) = e^{-3,101t} (-16,19 \cdot \cos 43,04 \cdot t - 1,167 \cdot \sin 43,04 \cdot t) \quad (1)$$

$$x(t) = e^{-5,68t} (-17,07 \cdot \cos 65,45 \cdot t - 1,481 \cdot \sin 65,696 \cdot t) \quad (2)$$

Графічне відображення рішення рівнянь (1) і (2) представлено на рисунках 3 4 і 5 відповідно.

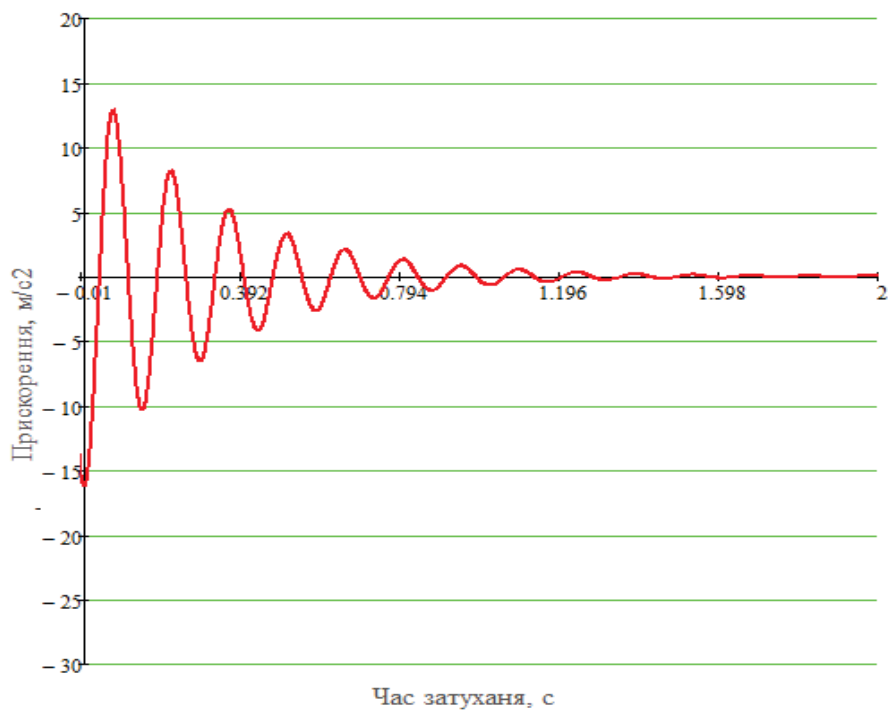


Рисунок 4 – Математично визначений процес згасання вертикальних коливань металевого пружного елемента задньої підвіски автомобіля Opel Vivaro.

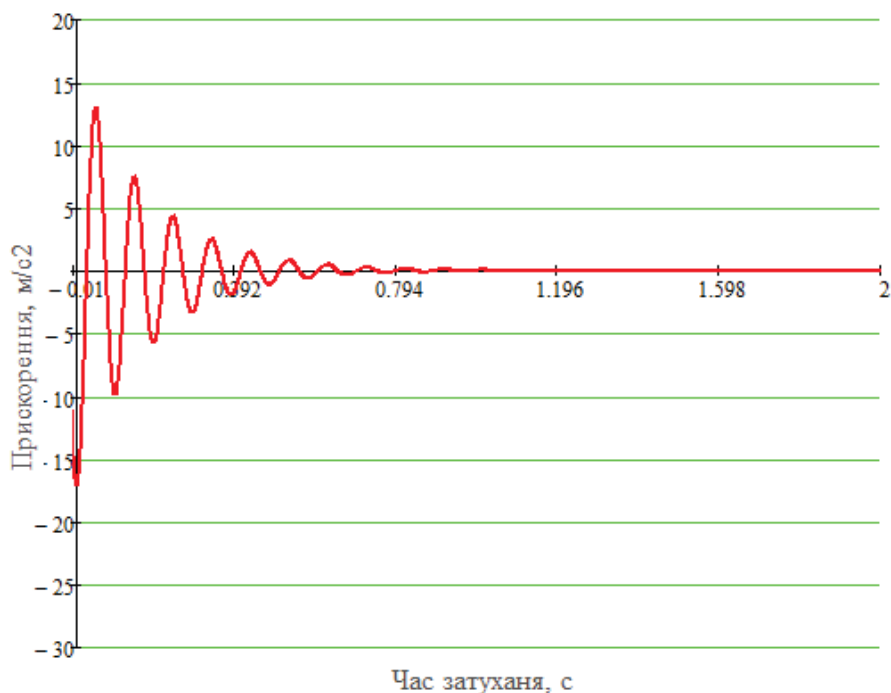


Рисунок 5 – Математично визначений процес згасання вертикальних коливань у пневматичного пружного елемента ( $P_B=1$  атм) задньої підвіски автомобіля Opel Vivaro.

Отримані результати досліджень доводять ефективність використання

пневматичних підвісок для всіх категорій автомобілів. Переобладнання підвісок автомобілів Opel Vivaro на пневматичні пружні елементи відбувається із-за старіння металевих пружних елементів, які під час експлуатації з часом просідають від навантаження і вже не витримують постійний дорожній просвіт. Тим більше, за рахунок використання пневматичного пружного елемента, типу рукав закручування, дозволяє змінювати: кліренс, жорсткість і пружність підвіски лише зміною внутрішнього тиску пневмоелементу, що додатково створює комфортне перебування як водія так і пасажирів з вантажем в даному автомобілі.

Проведені дослідження показали, що процес затухання коливань у пневматичному пружному елементі при всіх тиска відбувається майже втричі швидше ніж у металевому пружному елементі та додатково зменшуються амплітуди коливань.

#### *Література*

1. *INFLUENCE OF THE TECHNICAL CONDITION OF THE RUNNING SYSTEM OF ARTICULATED BUSES ON STABILITY OF THEIR STRAIGHT-LINE MOTION*, Sakhno, V., Polyakov, V., Murovanyi, I., Timkov, O., Mialkovska, L., Popovych, P., Poberezhnyi, L., 2023 , *Communications - Scientific Letters of the University of Žilina* , (1) , B52-B61

2. S. Wen, M. Z. Q. Chen, Z. Zeng, X. Yu, and T. Huang, "Fuzzy control for uncertain vehicle active suspension systems via dynamic sliding-mode approach," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, vol. 47, no. 1, pp. 24–32, 2017.

3. Y. Huang, J. Na, X. Wu, X. Liu, and Y. Guo, "Adaptive control of nonlinear uncertain active suspension systems with prescribed performance," *ISA Transactions*, vol. 54, pp. 145–155, 2015.

4. F. Zhao, S. S. Ge, F. Tu, Y. Qin, and M. Dong, "Adaptive neural network control for active suspension system with actuator saturation," *IET Control :eory and Applications*, vol. 10, no. 14, pp. 1696–1705, 2016.

5. D. Ning, H. Du, S. Sun, W. Li, and W. Li, "An energy saving variable damping seat suspension system with regeneration capability," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 65, no. 10, pp. 8080–8091, 2018.