

І.Б. Гевко, проф., д-р техн. наук, **О.Л. Ляшук**, проф., д-р техн. наук,
Р.М. Рогатинський, проф., д-р техн. наук, **А.Й. Матвіїшин** доц., канд. техн. наук,
Р.В. Хорошун, асист.

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль,
Україна*

e-mail: roman_086@ukr.net

Синтез підвіски автотранспортних засобів

З метою створення прогресивних конструкцій автомобільних амортизаторів, які б забезпечували підвищений комфорт і безпеку водіння за рахунок поглинання ударів і коливань, що виникають під час руху по дорозі, нами було проведено їх структурно-схемний синтез методом ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу. Загальна кількість базових генерованих варіантів підвіски автотранспортного засобу становитиме 167 варіантів, а кількість базових варіантів в залежності від типу амортизаційного принципу коливатиметься у межах від 96 до 148 варіантів. Використовуючи даний метод синтезу нами було розроблено і досліджено конструкцій гідропневматичних амортизаторів з активним пневмобалоном та демпфуючими елементами, які у порівнянні з традиційними стійками володіли високою адаптивністю та вібраційною стійкістю.

структурно-схемний синтез, адаптивна підвіска, автотранспортний засіб, конструктивні ознаки елементів, морфологічний аналіз

Постановка проблеми. Автомобільні амортизатори є важливими елементами підвіски автомобілів, які впливають на комфорт і безпеку водіння. Вони призначені для поглинання ударів і коливань, які виникають під час руху по дорозі. Проблеми з автомобільними амортизаторами можуть призвести до різних негативних наслідків, включаючи погіршення керованості автомобіля, знос інших деталей підвіски, а також збільшення ризику дорожньо-транспортних пригод. Проблема полягає в тому, що автомобільні амортизатори піддаються зносу і втраті ефективності внаслідок різних чинників, таких як нерівність доріг, великі навантаження, агресивна експлуатація і час. Недіагностовані та необслуговані амортизатори можуть створити низку проблем:

Погіршення комфорту водіння: Зношені амортизатори не можуть ефективно поглинати удари і коливання, що призводить до незручностей для водія та пасажирів під час руху по нерівних дорогах.

Втрата керованості: Погіршення стабільності та керованості автомобіля може виникнути через недостатню дію амортизаторів. Це може призвести до небезпеки на дорозі та збільшення ризику дорожньо-транспортних пригод.

Знос інших компонентів підвіски: Недіагностовані амортизатори можуть призвести до зносу інших деталей підвіски, таких як пружини, опорні підшипники, та інші елементи, що впливають на ефективність та безпеку водіння.

Збільшення витрат на паливе: Погіршення динаміки автомобіля і збільшення опору на дорозі може призвести до збільшення споживання пального, що впливає на економічну ефективність експлуатації автомобіля.

Для їх створення і подальшого дослідження необхідно здійснити розроблення окремих раціональних конструкцій, які б відповідали відповідним параметрам у царині досягнення якісних показників процесу, а також прийнятної собівартості виготовлення, експлуатації та обслуговування таких конструкцій. Задля цього і доцільно скористатись методикою структурно-схемного синтезу методом ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу для отримання відповідних технічних рішень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Провідні автовиробники для підвищення плавності ходу автотранспортних засобів у їх конструкціях використовують керовані системи підвіски [10, 12, 14, 16], які позитивно впливають на плавність ходу і знижують коливні процеси, що спричиняються різноманітними факторами (нерівностями дороги, різкими поворотами тощо). У роботах [3, 5, 7, 13, 15, 17, 18] проведено дослідження коливань, спричинених різноманітними факторами, та засобів підвищення віброзахисних властивостей підвісок із застосуванням пневматичних, гідропневматичних і гідравлічних амортизаторів.

Розробці способів та методів пошуку нових ідей технічного спрямування загалом, й зокрема у галузі автомобілебудування, присвячені праці В. Одріна, С. Картавова [4], Ю. Кузнєцова [2], Б. Гевка [6], М. Левковича [1] та інших. На базі використаних методик було розроблено стендове обладнання для проведення досліджень підвіски автомобіля при статичному та динамічному навантаженнях [8, 9, 11]. Проте враховуючи потреби у покращенні безпеки та комфорту водіння, підвищення надійності і довговічності роботи елементів трансмісії автомобіля, а також економії витрат на його ремонт актуальним питанням залишається генерування прогресивних конструкцій підвіски автотранспортних засобів з подальшим їх дослідженням і використанням.

Постановка завдання. Метою роботи є генерування конструкцій підвіски автотранспортних засобів на основі застосування структурно-схемного синтезу методом ієрархічного групування за допомогою морфологічного аналізу.

Виклад основного матеріалу. З метою створення прогресивних конструкцій автомобільних амортизаторів, які б забезпечували підвищений комфорт і безпеку водіння за рахунок поглинання ударів і коливань, що виникають під час руху по дорозі, нами було проведено їх структурно-схемний синтез методом ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу [1, 6]. Здійснивши аналіз роботи підвіски автотранспортного засобу було визначено окремі конструктивні ознаки та елементи підвіски та їх взаємозв'язки. Це дало змогу здійснити побудову відповідної морфологічної таблиці конструктивних ознак та елементів (табл. 1), з якої, в подальшому, експертним методом було створено модель механічної системи «Підвіска автотранспортного засобу» (рис. 1).

При цьому було виділено такі базові морфологічні конструктивні ознаки та елементи:

- амортизаційний принцип, який включає такі ознаки: тип амортизаційного принципу; тип амортизаційної речовини; отвори протікання гідравлічної речовини в поршні (їх площу і кількість); кількість камер; розташування камер; кількість електромагнітних котушок;

- тип пружного елемента, що складається з двох основних ознак, а саме пружина, до конструктивних ознак якої віднесено наступні ознаки: конструкція; геометричний переріз; жорсткість; направленість; кількість; розташування; та пневмобалон, до конструктивних ознак якого віднесено наступне: геометричні параметри; керованість (адаптивність); конструкція; наповнення; жорсткість;

- демпфуючий елемент, який включає такі ознаки: розташування; кількість; матеріал; поєднання; конструктивні параметри.

Загальна кількість базових синтезованих варіантів при використанні даного методу визначається по формулі [1, 6]:

$$N = \sum_{z=1}^l \sum_{x=1}^q \prod_{i=1}^m K_i, \quad (1)$$

Таблиця 1 – Морфологічна таблиця конструктивних ознак та елементів підвіски автотранспортного засобу

Амортизаційний принцип	1. Тип		1.1. Гідравлічний; 1.2. Гідропневматичний; 1.3. Пневматичний; 1.4. Магніторідинний; 1.5. Гідровакуумний; 1.6. Пневмовакуумний.
	2. Тип амортизаційної речовини		2.1. Гідравлічні речовини низької в'язкості; 2.2. Гідравлічні речовини середньої в'язкості; 2.3. Гідравлічні речовини високої в'язкості; 2.4. Гідравлічні речовини з металевими частинками; 2.5. Гази низької в'язкості; газы середньої в'язкості; 2.6. Газы високої в'язкості.
	Отвори протікання гідравлічної речовини в поршні	3. Площа	3.1. Мала; 3.2. Середня; 3.3. Велика.
		4. Кількість	4.1. Низька; 4.2. Середня; 4.3. Значна.
	5. Кількість камер		5.1. Дві; 5.2. Три; 5.3. Чотири; 5.4. Більше чотирьох.
	6. Розташування камер		6.1. Послідовне; 6.2. Паралельне; 6.3. Послідовно-паралельне; 6.4. З бічним розташуванням.
	7. Кількість електромагнітних котушок		7.1. Дві; 7.2. Три; 7.3. Більше трьох.
Тип пружного елемента	Пружина	8. Конструкція	8.1. Циліндрична; 8.2. Конічна; 8.3. Еліпсна; 8.4. Телескопічна 8.5. Стрічкова стиснення; 8.6. Тарілчаста; 8.7. Кільцева; 8.8. Вигину.
		9. Геометричний переріз	9.1. Круглий; 9.2. Трикутний; 9.3. Квадратний; 9.4. Еліпсний; 9.5. Прямокутний; 9.6. Трапецеїдальний.
	10. Жорсткість		10. 1. Низька;

Пневмобалон		10.2. Середня. 10.3. Висока.
	11. Направленість	11.1. Лівнонаправлена; 11.2. Правоноправлена.
	12. Кількість	12.1. Одна; 12.2. Дві; 12.3. Більше двох; 12.4. Комплект.
	13. Розташування	13.1. По зовнішньому контуру амортизатора; 13.2. У внутрішній частині амортизатора; 13.3. Збоку амортизатора.
	14. Геометричні параметри	14.1. Циліндричні; 14.2. Конічні; 14.3. Еліпсні; 14.4. Гофровані. 14.5. Фасонні.
	15. Керованість (адаптивність)	15.1. Не регульовані; 15.2. Регульовані; 15.3. Активні.
	16. Конструкція	16.1. Однокамерні; 16.2. Двокамерні; 16.3. Багатокамерні.
	17. Наповнення	17.1. Одинарні; 17.2. Подвійні (один в одному); 17.3. З додатковим внутрішнім елементом.
	18. Жорсткість	18.1. Низька; 18.2. Середня. 18.3. Висока.
	Демпфуючий елемент	19. Розташування
20. Кількість		20.1. Один; 20.2. Два; 20.3. Три.
21. Матеріал		21.1. Гума високоеластична; 21.2. Гума низькоеластична; 21.3. Гума поліреутанова; 21.4. Гума армована; 21.5. Пневмоподушка; 21.6. Масляна подушка; 21.7. Пружина.
22. Поєднання		22.1. Однотипне; 22.2. Двотипне; 22.3. Багатотипне.

	23. Конструктивні параметри	23.1. Круглий профіль; 23.2. Трикутний профіль; 23.3. Квадратний профіль; 23.4. Еліпсний профіль; 23.5. Прямокутний профіль; 23.6. Трапецеїдальний профіль; 23.7. Гофровані. 23.8. Фасонні.
--	-----------------------------	--

де z – ієрархічний рівень;
 l – кількість ієрархічних рівнів;
 x – певна підгрупа відповідного ієрархічного рівня;
 q – кількість підгруп відповідного ієрархічного рівня;
 K_i – альтернатива конструктивної ознаки чи елемента певної підгрупи відповідного ієрархічного рівня;
 m – кількість альтернатив конструктивної ознаки чи елемента певної підгрупи відповідного ієрархічного рівня.

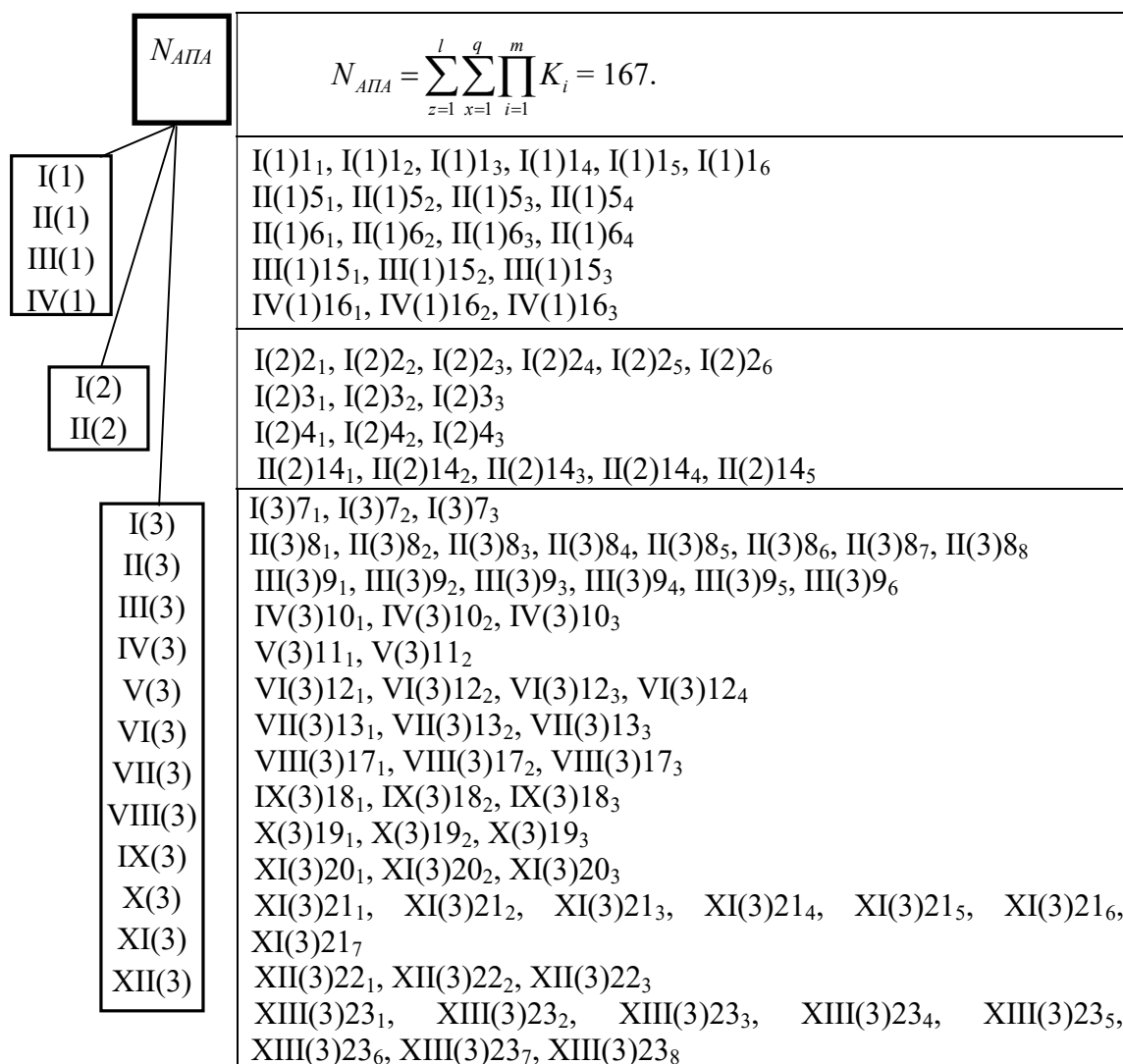


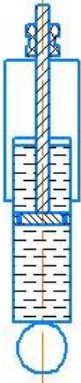
Рисунок 1 – Модель механічної системи «Підвіска автотранспортного засобу»:
 I - XIII – підгрупи ієрархічного рівня; (1) - (3) – відповідні ієрархічні рівні





Використавши дані моделі механічної системи «Підвіска автотранспортного засобу» (рис. 1) загальна кількість базових генерованих варіантів підвіски автотранспортного засобу становитиме:


$$\begin{aligned}
 N_{АПА} = & \begin{array}{|c|} \hline 1.1 \\ \hline 1.2 \\ \hline 1.3 \\ \hline 1.4 \\ \hline 1.5 \\ \hline 1.6 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline 5.1 \\ \hline 5.2 \\ \hline 5.3 \\ \hline 5.4 \\ \hline \end{array} \cap \begin{array}{|c|} \hline 6.1 \\ \hline 6.2 \\ \hline 6.3 \\ \hline 6.4 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline 15.1 \\ \hline 15.2 \\ \hline 15.3 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline 16.1 \\ \hline 16.2 \\ \hline 16.3 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline 2.1 \\ \hline 2.2 \\ \hline 2.3 \\ \hline 2.4 \\ \hline 2.5 \\ \hline 2.6 \\ \hline \end{array} \cap \begin{array}{|c|} \hline 3.1 \\ \hline 3.2 \\ \hline 3.3 \\ \hline \end{array} \cap \begin{array}{|c|} \hline 4.1 \\ \hline 4.2 \\ \hline 4.3 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline 14.5 \\ \hline 14.5 \\ \hline 14.5 \\ \hline 14.5 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline 7.1 \\ \hline 7.2 \\ \hline 7.3 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline 8.1 \\ \hline 8.2 \\ \hline 8.3 \\ \hline 8.4 \\ \hline 8.5 \\ \hline 8.6 \\ \hline 8.7 \\ \hline 8.8 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline 9.1 \\ \hline 9.2 \\ \hline 9.3 \\ \hline 9.4 \\ \hline 9.5 \\ \hline 9.6 \\ \hline \end{array} + \\
 & + \begin{array}{|c|} \hline 10.1 \\ \hline 10.2 \\ \hline 10.3 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline 11.1 \\ \hline 11.2 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline 12.1 \\ \hline 12.2 \\ \hline 12.3 \\ \hline 12.4 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline 13.1 \\ \hline 13.2 \\ \hline 13.3 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline 17.1 \\ \hline 17.2 \\ \hline 17.3 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline 18.1 \\ \hline 18.2 \\ \hline 18.3 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline 19.1 \\ \hline 19.2 \\ \hline 19.3 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline 20.1 \\ \hline 20.2 \\ \hline 20.3 \\ \hline \end{array} \cap \begin{array}{|c|} \hline 21.1 \\ \hline 21.2 \\ \hline 21.3 \\ \hline 21.4 \\ \hline 21.5 \\ \hline 21.6 \\ \hline 21.7 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline 22.1 \\ \hline 22.2 \\ \hline 22.3 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline 23.1 \\ \hline 23.2 \\ \hline 23.3 \\ \hline 23.4 \\ \hline 23.5 \\ \hline 23.6 \\ \hline 23.7 \\ \hline 23.8 \\ \hline \end{array} = 167.
 \end{aligned}$$

При генерування конструкцій окремих типів підвіски автотранспортного засобу з основним типам проєктованих амортизаторів ми розділили конструктивні ознаки та елементи з морфологічної таблиці 1 у відповідності до кожного типу (табл. 2).

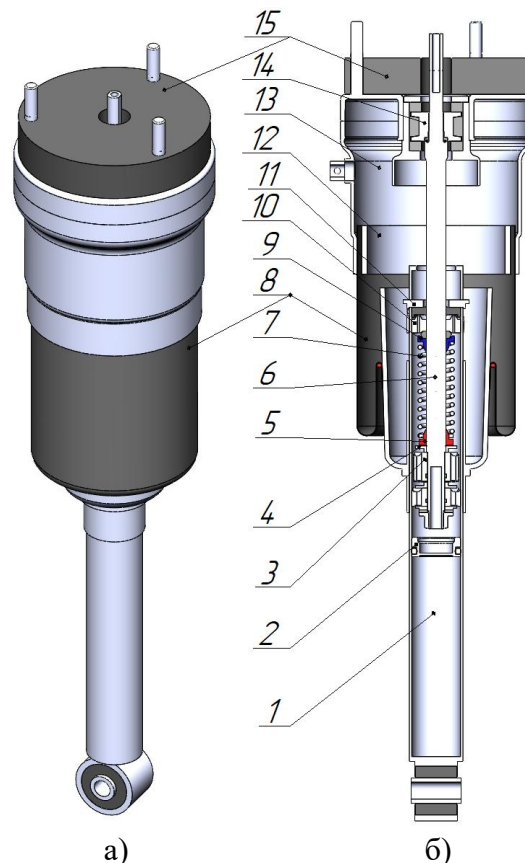
Таблиця 2 – Відповідність конструктивних ознак та елементів підвіски автотранспортного засобу з основним типам проєктованих амортизаторів

№	Тип	Приклади схем з конструктивними елементами	Кодовані конструктивні ознаки та елементи з табл. 1	Загальна кількість базових генерованих варіантів
1	2	3	4	5
1	Гідравлічний		2.1-2.4; 3.1-3.3; 4.1-4.3; 5.1-5.4; 6.1-6.4; 8.1-8.8; 9.1-9.6; 10.1-10.3; 11.1; 11.2; 12.1-12.4; 13.1-13.3; 14.1-14.5; 15.1-15.3; 16.1-16.3; 17.1-17.3; 18.1-18.3; 19.1-19.3; 20.1-20.3; 21.1-21.7; 22.1-22.3; 23.1-23.8.	$N_{ГПА} = 130.$

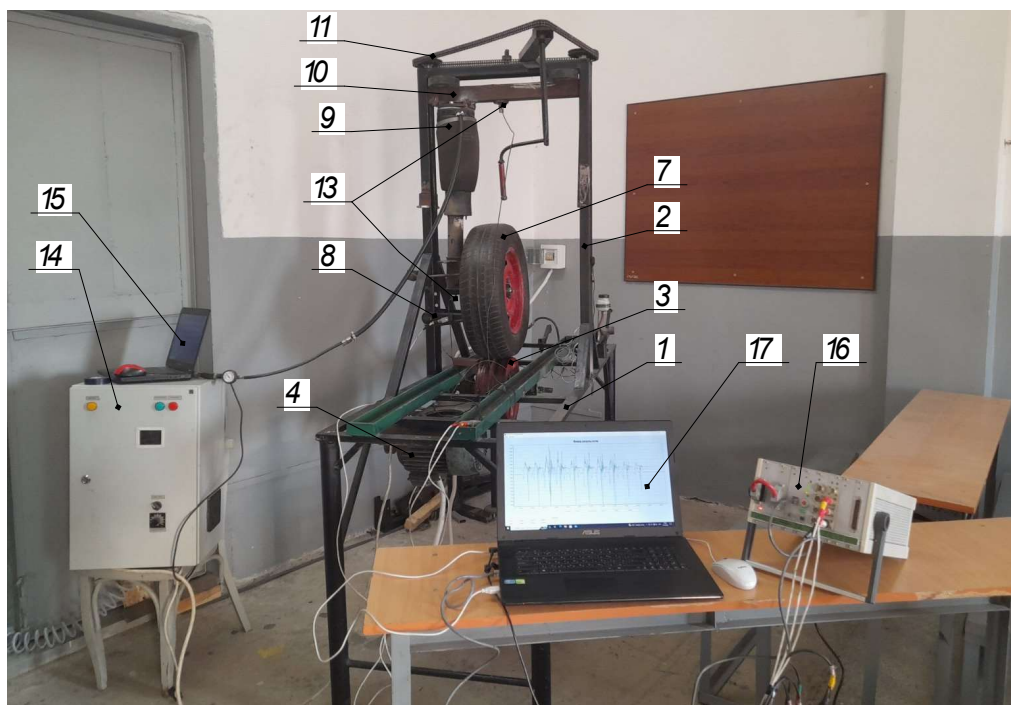
2	Гідро- пневматичний		2.1-2.6; 3.1-3.3; 4.1-4.3; 5.1-5.4;6.1-6.4; 8.1-8.8; 9.1-9.6; 10.1-10.3; 11.1; 11.2; 12.1-12.4;13.1-13.3; 14.1-14.5; 15.1-15.3; 16.1- 16.3; 17.1-17.3; 18.1-18.3; 19.1-19.3; 20.1-20.3; 21.1- 21.7; 22.1-22.3; 23.1-23.8.	$N_{ГПАПА} = 148.$
3	Пневматичний		2.5; 2.6; 5.1-5.4;6.1-6.4; 8.1-8.8; 9.1-9.6; 10.1-10.3; 11.1; 11.2; 12.1-12.4;13.1- 13.3; 14.1-14.5; 15.1-15.3; 16.1-16.3; 17.1-17.3; 18.1- 18.3; 19.1-19.3; 20.1-20.3; 21.1-21.7; 22.1-22.3; 23.1- 23.8.	$N_{ПАПА} = 96.$
4	Магніто- рідинний		2.1-2.4; 3.1-3.3; 4.1-4.3; 5.1-5.4;6.1-6.4; 7.1-7.3; 8.1-8.8; 9.1-9.6; 10.1-10.3; 11.1;11.2; 12.1-12.4;13.1- 13.3; 14.1-14.5; 15.1-15.3; 16.1-16.3; 17.1-17.3; 18.1- 18.3; 19.1-19.3; 20.1-20.3; 21.1-21.7; 22.1-22.3; 23.1- 23.8.	$N_{МРАПА} = 133.$
5	Гідровакуумний		2.1-2.4; 3.1-3.3; 4.1-4.3; 5.1-5.4;6.1-6.4; 8.1-8.8; 9.1-9.6; 10.1-10.3; 11.1;11.2; 12.1-12.4;13.1- 13.3; 14.1-14.5; 15.1-15.3; 16.1-16.3; 17.1-17.3; 18.1- 18.3; 19.1-19.3; 20.1-20.3; 21.1-21.7; 22.1-22.3; 23.1- 23.8.	$N_{ГВАПА} = 130.$

6	Пневмо-вакуумний		2.5; 2.6; 5.1-5.4; 6.1-6.4; 8.1-8.8; 9.1-9.6; 10.1-10.3; 11.1; 11.2; 12.1-12.4; 13.1- 13.3; 14.1-14.5; 15.1-15.3; 16.1-16.3; 17.1-17.3; 18.1- 18.3; 19.1-19.3; 20.1-20.3; 21.1-21.7; 22.1-22.3; 23.1- 23.8.	$N_{ПВАПА} = 96.$
---	------------------	---	--	-------------------

Використовуючи даний метод синтезу нами було розроблено і досліджено конструкції гідропневматичних амортизаторів з активним пневмобалоном та демпфуючими елементами (рис. 2), які у порівнянні з традиційними стійками володіли високою адаптивністю та вібраційною стійкістю [11]. Було експериментально доведено, що розроблені амортизатори з активним пневмобалоном та демпфуючими елементами в значній мірі виступають гасниками коливань.



- а) б)
- 1 – корпус; 2 – плаваючий поршень; 3 – поршень; 4 – шайба; 5 – упор пружини нижній; 6 – шток поршня; 7 – пружина; 8 – гумовий балон; 9 – упор пружини верхній; 10 – направляюча штока; 11 – кришка; 12 – фіксуюче кільце; 13 – верхня частина амортизатора; 14 – втулка; 15 – демпфуючий елемент



в)

а) загальний вигляд демпфуючих елементів; б) конструктивна схема; в) загальний вигляд експериментального обладнання із синтезованою адаптивною підвіскою

Рисунок 2 – Синтезована підвіска автомобіля: автомобіля

Джерело: розробка авторів

Висновок. Проведено структурно-схемний синтез підвіски автотранспортних засобів методом ієрархічного групування за допомогою морфологічного аналізу й отримано шість базових видів підвіски з оригінальними типами амортизаторів (гідрравлічного, гідропневматичного, пневматичного, магніторідинного, гідровакуумного та пневмовакуумного типу). При цьому було виділено такі базові морфологічні конструктивні ознаки та елементи:

- амортизаційний принцип, який включає такі ознаки: тип амортизаційного принципу; тип амортизаційної речовини; отвори протікання гідравлічної речовини в поршні (їх площу і кількість); кількість камер; розташування камер; кількість електромагнітних котушок;

- тип пружного елемента, що складається з двох основних ознак, а саме пружина, до конструктивних ознак якої віднесено наступні ознаки: конструкція; геометричний переріз; жорсткість; направленість; кількість; розташування; та пневмобалон, до конструктивних ознак якого віднесено наступне: геометричні параметри; керованість (адаптивність); конструкція; наповнення; жорсткість;

- демпфуючий елемент, який включає такі ознаки: розташування; кількість; матеріал; поєднання; конструктивні параметри.

Загальна кількість базових генерованих варіантів підвіски автотранспортного засобу становитиме 167 варіантів, а кількість базових варіантів в залежності від типу амортизаційного принципу коливатиметься у межах від 96 до 148 варіантів.

Список літератури

1. Структурний синтез гальмівних систем з техніко-економічним обґрунтуванням / І.Б. Гевко та ін. *Наукові нотатки: міжвуз. зб.* 2021. Вип. 71. С. 228-233.

2. Кузнецов Ю.М., Скляр Р.А. Прогнозування розвитку технічних систем ; під заг. ред. Ю. М. Кузнецова. К. : ТОВ «ЗМОК». ПП «ГНОЗІС», 2004. 323 с.
3. Мандрика В.Р., Шликова В.Г. Керованість і стійкість руху автомобіля В класу з системою. *Вісник НТУ "ХПИ"*. 2013. № 31 (1004). С. 60-65.
4. Одрин В.М., Картавов С.С. Морфологический анализ систем: Построение морфологических матриц . К. : Наукова думка, 1977. 183 с.
5. Павленко В.М., Криворучко О.О. Сучасний стан розвитку активних підвісок легкових автомобілів. *Вісник НТУ "ХПИ"*. 2014. № 9 (1052). С. 54-60.
6. Пружно-запобіжні муфти: конструкції, розрахунок, дослідження / Б.М. Гевко та ін. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2019. 200 с.
7. Рогатинський Р.М. та ін. Модель обгону автомобілем на прямій трасі . *Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем* : матеріали V Міжнародної наук.-практ. конф., 2023. (19 - 21 квітня 2023 р.) . С. 17-20.
8. Стенд для дослідження характеристик підвіски автомобіля: пат. 148601 Україна: МПК G01N 17/00 (2021.01). № u202101835; заявл. 07.04.21; опубл. 26.08.21, Бюл. № 34.
9. Стенд для дослідження характеристик підвіски автомобіля: пат. 150771 Україна: МПК G01N 3/00, F16D 65/00. № u202106434; заявл. 15.11.21; опубл. 13.04. 22, Бюл. № 15.
10. Gysen B. L. J., Janssen J. L. G. Active Electromagnetic Suspension System for Improved Vehicle Dynamics. *IEEE Transactions On Vehicular Technology*, 59, 3, pp.1156 – 1163 (2016)
11. Liashuk O., Hevko I., Hud V., Khoroshun R., Hevko B., Matviishyn A., Sipravska M. Stands for car suspension research. *Bulletin of Lviv National Environmental University. Agroengineering Research*, No. 26 (2022). С 93-103.
12. I. Martins, J. Esteves, F. P. da Silva, P. Verdelho, Electromagnetics hybrid activepassive vehicle suspension system. Technical University of Lisbon. Lisbon, Portugal . 2015.
13. Methodology of Force Parameters Justification of the Controlled Steering Wheel Suspension. B. Sokil, O. Lyashuk, M. Sokil, Y. Vovk, I. Lebid, I. Hevko, M. Levkovich, R. Khoroshun, A. Matviyishyn. *COMMUNICATIONS*, 2022. Vol. 24, № 3, P. 247-258.
14. Mohammed Bello M., Babawuro A. Y., Fatai S., Active suspension force control with electro-hydraulic actuator dynamics. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 10, 23, pp.17327 – 17331 (2015)
15. Popp K., Schiehlen W. *Ground vehicle dynamics*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010. 396 pp.
16. Rosli R., Mailah M., Priyandoko G. Active Suspension System for Passenger Vehicle using Active Force Control with Iterative Learning Algorithm. *WSEAS Transactions on Systems and Control*. 9, 2, pp.120 – 127 (2014)
17. Schramm D., Hiller M., Bardini R. *Vehicle dynamics*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2014. 396 pp.
18. Taghavifar H., Mardani A. *Off-road vehicle dynamics*. Cham: Springer International Publishing, 2016. 396 pp.

References

1. Hevko, I.B., Rohatyns'kyj, R.M., Levkovich, M.H., Klendij, V.M. & Hupka, V.V. (2021). Strukturnyj syntez hal'mivnykh system z tekhniko-ekonomichnym obgruntuvanniam [Structural synthesis of braking systems with technical and economic justification]. *Naukovi notatky : Mizhvuziv's'kyj zbirnyk – Scientific notes: interuniversity collection, Issue 71*, 228-233 [in Ukrainian].
2. Kuznetsov Yu.M. & Skliarov R.A. (2004). *Prohnozuvannia rozvytku tekhnichnykh system [Forecasting the development of technical systems]*. Yu. M. Kuznetsova (Eds.). Kyiv : TOV «ZMOK». PP «HNOZIS» [in Ukrainian].
3. Mandryka, V. R. & Shlykova, V.H. (2013). Kerovanist' i stijkist' rukhu avtomobilia V klasu z systemoiu [Controllability and stability of the car in class B with the system]. *Visnyk NTU "KhPI" – Bulletin of NTU "Khpi"*, № 31 (1004), 60-65 [in Ukrainian].
4. Odrin V.M. & Kartavov S.S. (1977). *Morfologicheskij analiz system: Postroenye morfologicheskyykh matryts [Morphological analysis of systems: Construction of morphological matrices]* . Kyiv : Naukova dumka [in Ukrainian].
5. Pavlenko, V.M. & Kryvoruchko, O.O. (2014). Suchasnyj stan rozvytku aktyvnykh pidvisok lehkovykh avtomobiliv [The current state of development of active suspensions of passenger cars]. *Visnyk NTU "KhPI" – Bulletin of NTU "Khpi"*, № 9 (1052, 54-60 [in Ukrainian].

6. Hevko, B.M., Lutsiv, I.V., Hevko, I.B., Komar, R.V. & Dubyniak, T.S. (2019). *Pruzhno-zapobizhni mufty: konstruksii, rozrakhunok, doslidzhennia* [Spring-safety couplings: designs, calculation, research]. Ternopil': FOP Palianytsia V. A. [in Ukrainian].
7. Rohatyns'kyj, R.M., Liashuk, O.L., Hevko, I.B., Khoroshun, R.V. & Bryksa, A.O. (2023). Model' obhonu avtomobilem na priamij trasi [A model of overtaking by a car on a straight track]. Increasing the reliability and efficiency of machines, processes and systems: *V Mizhnarodnoi nauk.-prakt. konf. (19 -21 kvitnia 2023 r., Kropyvnyts'kyj) – (Pp. 17-20)*, Kropyvnyts'kyj [in Ukrainian].
8. Stend dlia doslidzhennia kharakterystyk pidvisky avtomobilia [A stand for researching the characteristics of a car's suspension]: pat. 148601 Ukraina: MPK G01N 17/00 (2021.01). № u202101835; zaiavl. 07.04.21; opubl. 26.08.21, Biul. № 34 [in Ukrainian].
9. Stend dlia doslidzhennia kharakterystyk pidvisky avtomobilia [Stand for researching the characteristics of the car suspension]: pat. 150771 Ukraina: MPK G01N 3/00, F16D 65/00. № u202106434; zaiavl. 15.11.21; opubl. 13.04. 22, Biul. № 15 [in Ukrainian].
10. Gysen B. L. J. & Janssen J. L. G. (2016). Active Electromagnetic Suspension System for Improved Vehicle Dynamics. *IEEE Transactions On Vehicular Technology*, 59, 3. Pp.1156 – 1163 [in English].
11. Liashuk, O., Hevko, I., Hud, V., Khoroshun, R., Hevko, B., Matviishyn, A. & Sipravska, M. (2022). Stands for car suspension research. *Bulletin of Lviv National Environmental University. Agroengineering Research*, No. 26, 93-103 [in English].
12. Martins, J. Esteves, F. P. da Silva, &Verdelho, P. (2015). *Electromagnetics hybrid activepassive vehicle suspension system*. Technical University of Lisbon. Lisbon, Portugal [in English].
13. Sokil, B., Lyashuk, O., Sokil, M., Vovk, Y., Lebid, I., Hevko, I., Levkovych, M., Khoroshun, R. & Matviyishyn, A. (2022). Methodology of Force Parameters Justification of the Controlled Steering Wheel Suspension. *COMMUNICATIONS*, Vol. 24, № 3, P. 247-258 [in English].
14. Mohammed Bello M., Babawuro A. Y. & Fatai S., (2015). Active suspension force control with electro-hydraulic actuator dynamics. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 10, 23, pp.17327 – 17331 [in English].
15. Popp, K. & Schiehlen, W. (2010). *Ground vehicle dynamics*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 396 pp. [in English].
16. Rosli, R., Mailah, M. & Priyandoko, G. (2014). Active Suspension System for Passenger Vehicle using Active Force Control with Iterative Learning Algorithm. *WSEAS Transactions on Systems and Control*, 9, 2, pp.120 – 127 [in English].
17. Schramm, D., Hiller, M. & Bardini, R. (2014). *Vehicle dynamics*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 396 pp. [in English].
18. Taghavifar, H. & Mardani, A. (2016). *Off-road vehicle dynamics*. Cham: Springer International Publishing [in English].

Ivan Hevko, Prof., DSc., **Oleg Lyashuk**, Prof., DSc., **Roman Rohatynskyi**, Prof., DSc., **Anatolii Matviishyn**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Roman Khoroshun**, assistant
Ternopil National Technical University named after Ivan Pulyu, Ternopil, Ukraine

Synthesis of Suspension of Motor Vehicles

In order to create progressive structures of car shock absorbers that would provide increased driving comfort and safety due to the absorption of shocks and vibrations that occur while driving on the road, we carried out their structural-schematic synthesis by the method of hierarchical groups with the help of morphological analysis. For this, the method of hierarchical grouping using morphological analysis was used and six basic types of suspension with original types of shock absorbers (hydraulic, hydropneumatic, pneumatic, magnetofluid, hydrovacuum and pneumovacuum type) were obtained. At the same time, the following basic morphological design features and elements were highlighted: a) depreciation principle, which includes the following features: type of depreciation principle; type of cushioning substance; hydraulic fluid flow holes in the piston (their area and number); number of cameras; location of cameras; the number of electromagnetic coils; b) a type of elastic element consisting of two main features, namely a spring, the structural features of which include the following features: construction; geometric section; rigidity; directionality; number; Location; and a pneumatic cylinder, the structural features of which include the following: geometric parameters; manageability (adaptability); construction; filling; rigidity; c) damping element, which includes the following features: location; number; material; combination; structural parameters.

The total number of basic generated vehicle suspension options will be 167 options, and the number of base options depending on the type of damping principle will range from 96 to 148 options. Thus, when generating the constructions of individual types of suspension of a motor vehicle with the main types of designed shock absorbers, the design features and elements from the morphological table were divided according to each type of shock absorbers, which made it possible to generate the corresponding number of their basic variants. In

particular, the number of basic variants of the hydraulic type car suspension is 130 units, hydropneumatic type - 148 units, pneumatic type - 96 units, magnetofluid type - 133 units, hydrovacuum type - 130 units and pneumovacuum type - 96 units.

USING this synthesis method, we developed and researched structures of hydropneumatic shock absorbers with an active pneumatic cylinder and damping elements, which, compared to traditional racks, had high adaptability and vibration resistance. It was experimentally proven that the developed shock absorbers with an active pneumatic cylinder and damping elements act as vibration dampers to a large extent.

structural and schematic synthesis, adaptive suspension, motor vehicle, structural features of elements, morphological analysis

Одержано (Received) 10.10.2023

Прорецензовано (Reviewed) 26.10.2023

Прийнято до друку (Approved) 30.10.2023

УДК 621.434.432

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8\(39\).1.164-169](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8(39).1.164-169)

Л.А. Тарандушка, проф., д-р техн. наук, **Д.О. Шалапко**, доц., канд. техн. наук
Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна
e-mail: tarandushkal@ukr.net, shalapko.denys@gmail.com

Покращення показників автомобільних дизельних двигунів при додаванні водневої каталітичної добавки

У статті розглядається один із методів підвищення продуктивності автомобільних дизельних двигунів, а саме введення водню (від 0,2% до 2,0% за масою) у склад основного дизельного палива. Пропонується інтегрувати водень у паливопровід високого тиску між паливним насосом високого тиску (ПНВТ) та форсуною. Цей підхід дозволяє досягти зменшення споживання палива на рівні від 0,4...2,8% без суттєвого переобладнання конструкції двигуна.
дизельний двигун, водень, водневі добавки, спосіб подачі водню, каталізатор

Постановка проблеми. Навіть з урахуванням досягнень у розробці ефективних дизельних двигунів внутрішнього згоряння для транспортних та стаціонарних енергетичних систем, зниження споживання пального та обмеження викидів шкідливих речовин у вихлопних газах цих двигунів залишається важливою та актуальною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним з можливих рішень вказаної проблеми є введення водню безпосередньо в робочий циліндр двигуна та його спалювання під час робочого ходу. У багатьох вітчизняних та закордонних наукових розробках цей підхід базується на подачі газоподібного водню безпосередньо до камери згоряння під час наповнення циліндра. Процес включає постачання водню до повітряного ресивера дизеля, а звідти разом з повітрям він потрапляє в циліндри [1].

Далі цей процес ґрунтується на принципі роботи газодизеля, де запалення водню в камері згоряння відбувається через запалення дизельного палива. Важливо відзначити, що водень може використовуватися як основне паливо, так і як додаткове, залежно від пропорцій (відношення за масою) між воднем та дизельним паливом.

Одним із основних недоліків даного процесу є зниження коефіцієнта надлишку повітря, що призводить до втрат потужності двигуна, значного підвищення