

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

**Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій,
мехатроніки і робототехніки
Кафедра автомобілів та транспортних технологій**

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до магістерської роботи
освітнього ступеня магістр

Галузь знань 27 - «Транспорт»
Спеціальність 274 «Автомобільний транспорт»

на тему: «Удосконалення мехатронної системи керування активною
підвіскою легкового автомобіля»

Виконав: студент групи ЗАГ - 23м



Сергій ЛАСТОВЕЦЬКИЙ

Керівник



Дмитро РУБАН

Завідувач кафедри



Володимир ШУМЛЯКІВСЬКИЙ

Рецензент



Володимир Шумляківський

Житомир - 2024 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет: комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра: автомобілів та транспортних технологій
Освітній ступінь: «магістр»
Галузь знань: 27 «Транспорт»
Спеціальність: 274 - Автомобільний транспорт»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри А і ТТ
Володимир ШУМЛЯКІВСЬКИЙ

« 11 » 11 2024р.

ЗАВДАННЯ

до магістерської роботи освітнього ступеня магістр

Ластовецького Сергія Серійовича

- 1. Тема роботи:** «Удосконалення мехатронної системи керування активною підвіскою легкового автомобіля» затверджена наказом вищого навчального закладу від «6» листопада 2024р. №636-с
Керівник роботи: к.т.н., доц. Дмитро РУБАН
- 2. Строк подання студентом завершеної роботи:** 23.12.2024 р.
- 3. Вихідні дані до роботи:** довідникова література, наукові розробки та публікації, державні стандарти.
- 4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):** вступ, стан питання та задачі дослідження, теоретично-експериментальне дослідження системи управління активною підвіскою легкового автомобіля, визначення економічного ефекту від виробництва автомобіля з мехатронною системою управління активною підвіскою, список використаних джерел.
- 5. Пояснювально - роздавальний матеріал (презентація) - 10 слайдів.**

Дата видачі завдання « 12 » вересня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів	Примітка
1.	РОЗДІЛ 1. Стан питання та задачі дослідження	17.09.2024	виконано
2.	РОЗДІЛ 2. Теоретично-експериментальне дослідження системи управління активною підвіскою легкового автомобіля	10.10.2024	виконано
3.	РОЗДІЛ 3. Визначення економічного ефекту від виробництва автомобіля з мехатронною системою управління активною підвіскою	25.10.2024	виконано
4.	Оформлення роботи	04.12.2024	виконано
5.	Рецензування	26.12.2024	виконано
6.	Захист роботи	27.12.2024	виконано

Студент



Сергій ЛАСТОВЕЦЬКИЙ

Керівник роботи



Дмитро РУБАН

РЕФЕРАТ

Магістерської роботи на тему: «Удосконалення мехатронної системи керування активною підвіскою легкового автомобіля», виконаної студентом групи ЗАГ-23м, факультету комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки державного університету «Житомирська політехніка» Ластовецьким Сергієм Серійовичем, керівник к.т.н., доц. Рубан Д.П.

Робота складається із вступу, трьох розділів, висновків, списку використаної літератури.

У першому розділі показано сучасний стан питання і поставлені цілі та завдання дослідження.

У другому розділі викладено результати теоретико-експериментального дослідження витікання рідини через отвори мембрани перепускного клапана регульованого амортизатора.

У третьому розділі представлений техніко-економічний аналіз розробленої конструкції.

Ключові слова: *амортизатор, опір, система управління, рідина, мембранний вузол.*

ABSTRACT

Master's thesis on the topic: "Improvement of the mechatronic control system of the active suspension of a passenger car", performed by a student of the ZAG-23m group, the Faculty of Computer-Integrated Technologies, Mechatronics and Robotics of the Zhytomyr Polytechnic State University, Serhiy Seriyovych Lastovetsky, supervisor: Candidate of Technical Sciences, Associate Professor Ruban D.P.

The work consists of an introduction, three sections, conclusions, and a list of used literature.

The first section shows the current state of the issue and sets the goals and objectives of the research.

The second section presents the results of a theoretical and experimental study of fluid leakage through the holes in the membrane of the bypass valve of an adjustable shock absorber.

The third section presents a technical and economic analysis of the developed design.

Key words: *shock absorber, resistance, control system, liquid, membrane assembly.*

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. Стан питання та задачі дослідження.....	9
1.1.Конструкції активної підвіски легкового автомобіля.....	9
1.1.1.Різновиди підвіски легкових автомобілів.....	9
1.1.2. Основні вимоги до підвіски.....	13
1.1.3. Пружні та демпфувальні елементи підвіски.....	14
1.1.4. Активні підвіски автомобіля із амортизаторами змінної жорсткості.....	17
1.1.5. Методи покращення характеристик та експлуатаційних властивостей амортизаторів.....	25
1.2. Сучасні мехатронні системи керування активною підвіскою легкового автомобіля.....	27
1.2.1. Принципи побудови сучасних мехатронних систем.....	27
1.2.2. Опис сучасних мехатронних систем автомобіля.....	32
1.3. Мета та задачі дослідження.....	36
Висновки до розділу.....	36
РОЗДІЛ 2. Теоретично-експериментальне дослідження системи управління активною підвіскою легкового автомобіля.....	37
2.1. Розробка мехатронної схеми управління підвіскою автомобіля.....	37
2.2.Вибір конструкції перепускного клапана амортизатора, що регулюється.....	40
2.2.1. Вивчення та аналіз конструкцій регульованих амортизаторів	40
2.2.2. Складання конструктивної схеми перепускного клапана регульованого амортизатора.....	42
2.3. Дослідження витікання рідини через отвори мембрани перепускного клапана регульованого амортизатора.....	44
Висновки до розділу	50
РОЗДІЛ 3. Визначення економічного ефекту від виробництва автомобіля з мехатронною системою управління активною підвіскою.....	51
Висновки до розділу	53
ВИСНОВКИ	54
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	55

ВСТУП

З перших днів незалежності країни пріоритет надавався створенню структурних перетворень та випереджального розвитку високотехнологічних сучасних галузей та виробництв, спрямованої на підвищення конкурентоспроможності та зміцнення позицій України на світових ринках.

Автомобільна промисловість України є однією з галузей, що грають важливу роль в економічному розвитку, обумовленому виходом на світовий ринок. У зв'язку з цим одним із пріоритетів розвитку автомобільної промисловості є впровадження високих технологій та нових деталей для виробництва сучасних автомобілів.

Дослідження підвісок легкових автомобілів один із головних напрямів сучасного автомобілебудування. У більшості автомобілів характеристики підвіски вибираються в результаті пошуку компромісу між суперечливими вимогами стійкості, керованості, надійності та комфортності. Однією з найважливіших задач, що стоять перед конструкторами автомобілів, є створення для людини таких умов руху, за яких вона не відчуватиме жодних негативних відчуттів. Реалізація цього прагнення вимагає тим більше зусиль, чим вище стає швидкість сучасного автомобіля. До того ж постійно доводиться шукати компроміс з такою, наприклад, важливою характеристикою цього руху, як керованість.

Основне призначення підвіски - зменшувати динамічні навантаження, що діють на автомобіль, і гасити вертикальні та їх супутні коливання коліс та кузова один відносно одного. Однак підвіска, оптимізована по всьому діапазону умов експлуатації автомобіля, виявляється неоптимальною в кожній з конкретних поточних дорожніх ситуацій, що відрізняються від середньої розрахункової. Таке становище викликає необхідність розробки активної підвіски, тобто підвіски, що автоматично реагує на поточні дорожні умови.

Одним із напрямків вирішення цієї проблеми – розробка керованого амортизатора, що змінює характеристики залежно від дорожніх умов.

Обґрунтування теми роботи та її актуальність. Дослідження підвісок легкових автомобілів є одним з головних напрямків сучасного автомобілебудування. У більшості автомобілів характеристики підвіски вибираються в результаті пошуку компромісу між суперечливими вимогами стійкості, керованості, надійності та комфортності. Однією з найважливіших задач, що стоять перед конструкторами автомобілів, є створення для людини таких умов руху, за яких вона не відчуватиме жодних негативних відчуттів.

Мета дослідження - розробка мехатронної системи автоматичного керування опором гідравлічного амортизатора.

Задачі дослідження:

- розробка мехатронної схеми автоматичного керування амортизатором;
- вибір конструкції перепускного клапана регульованого амортизатора;
- дослідження витікання рідини через отвори мембрани перепускного клапана регульованого амортизатора;
- розрахунок економічного ефекту від впровадження.

Об'єкт дослідження – динамічні навантаження в підвісці автомобіля.

Предмет дослідження – гідравлічний амортизатор.

Основні завдання та гіпотеза наукового дослідження. Розробка конструкції перепускного клапана гідравлічного амортизатора із змінною характеристикою опору. Оптимізація гідравлічних характеристик мембранного вузла керованого гідравлічного амортизатора.

Короткий літературний огляд. Потреба підвищення ефективності використання автомобілів призводить до необхідності збільшення експлуатаційної швидкості, що підвищує значущість вирішення проблеми вибір захищеності робочого місця водія, оскільки його сприйняття рівня плавності ходу є «природним обмеженням», що лімітує максимальну швидкість відповідно до галузевих та державних стандартів (ДСТУ 2947-94 та ДСТУ ISO 1219-1:2018)[1,2].

Забезпечення вибору захищеності при цьому поєднується зі збереженням, як м'якості пружин і демпферів, що переважно при їзді, так і жорсткості, необхідної при маневруванні.

Сучасні автотранспортні засоби повинні поєднувати покращені ходові якості із зручністю у маневруванні, ізоляцією водія від шуму, вібрації та поштовхів, що створює умови комфорту.

В результаті аналізу мехатронних систем керування двигуном, ABS, VDC та активною підвіскою автомобіля, проведеному в розділі 1, виявилось, що реально ця система повинна включати такі компоненти: механічний пристрій, кінцевою ланкою якого є робочий орган; блок приводів, що включає силові перетворювачі та виконавчі двигуни; пристрій комп'ютерного управління, верхнім рівнем якого є людина-оператор, чи інша ЕОМ, яка входить у комп'ютерну мережу; сенсори, призначені для передачі в пристрій управління інформації про фактичний стан і блоків машини та руху (рис.2.1). Керуючий пристрій конструктивно може бути об'єднаний, наприклад, з кроковим двигуном типу MDrive Plus.

Короткий опис методів дослідження, що використовуються. Теоретичний експеримент зі створення нових економічно ефективних методів дослідження.

Теоретична та практична значимість результатів дослідження. Оптимізовано гідравлічні характеристики мембранного вузла керованого гідравлічного амортизатора при різному перекритті перепускних отворів перепускного клапана. Очікуваний річний економічний ефект від впровадження мехатронної системи управління підвіскою легкового автомобіля та підвищення комфортності становитиме 27,2 млн. грн., за річної програми 8000 амортизаторів.

Наукова новизна дослідження. Визначає гідравлічні характеристики мембранного вузла регульованого амортизатора власної конструкції.

РОЗДІЛ 1. Стан питання та задачі дослідження

1.1. Конструкції активної підвіски легкового автомобіля

1.1.1. Різновиди підвіски легкових автомобілів

Потреба підвищення ефективності використання автомобілів призводить до необхідності збільшення експлуатаційної швидкості, що підвищує значущість вирішення проблеми віброзахисності робочого місця водія, оскільки його сприйняття рівня плавності ходу є «природним обмеженням», що лімітує максимальну швидкість відповідно до галузевих та державних стандартів (ДСТУ 2947-94 та ДСТУ ISO 1219-1:2018). Забезпечення віброзахисності при цьому має поєднуватися зі збереженням м'якості пружин і демпферів, що потрібно при русі, так і жорсткості, необхідної при маневруванні.

Сучасні автотранспортні засоби повинні поєднувати покращені ходові якості із зручністю у маневруванні, ізоляцією водія від шуму, вібрації та поштовхів, що створюють умови комфорту.

Напрямний пристрій сприймає подовжні і поперечні (бічні) сили, що діють на колеса, і їх моменти. Кінематика прямого пристрою визначає характер переміщення коліс, щодо каркаса кузова та впливає на стійкість та керованість автомобіля [3].

Амортизатори гасять коливання підресорних та непідресорних мас.

В деяких підвісках посилюються стабілізатори бічного крену, які зменшують поперечні нахили кузова при повороті автомобіля.

Підресореною масою вважається будь-яка частина автомобіля, яка має між собою і дорогою пружний елемент. Також логічно, до безпружинних мас відносяться всі решта: колеса, шини, маточини коліс і гальмівні барабани або диски[4]. Класифікація підвісок:

1. За типом пружного елемента:

- металеві (листові ресори, спіральні пружини, торсіони);
- пневматичні (гумокордні балони, діафрагмові, комбіновані);
- гідравлічні (без протитиску, з протитиском);

- гумові елементи (що працюють на стиск, що працюють на кручення).

2. За схемою керуючого пристрою:

- залежні з нерозрізним мостом (автономні, балансірні для підресорювання 2-х близько розташованих мостів);
- незалежні з розрізним мостом (з переміщенням колеса у поздовжній площині, з переміщенням колеса у поперечній площині, свічкова, з вертикальним переміщенням колеса).

3. За способом гасіння коливань:

- гідравлічні амортизатори (важільні, телескопічні);
- механічне тертя (тертя в пружному елементі та напрямному пристрої).

Для отримання м'якої підвіски необхідно, щоб втрати на тертя не перевищували 5%. Підвищена плавність призводить до погіршення кінематики переміщення коліс, погіршення стійкості та збільшення бічного нахилу коліс.

4. За способом передачі сил та моментів коліс:

- ресорна, штангова, важільна.

5. За наявності шворня:

- шкворнева, безшкворнева.

На динамічність, стійкість та керованість автомобіля впливають кінематичні характеристики підвіски. Тому в даній роботі одним із завдань покращення стійкості автомобіля через покращення кінематичної характеристики його підвіски, яка в нашому випадку виражається у швидкості зміни вертикального положення штока амортизатора відносно навантаження на нього.

Надійність автомобіля багато в чому залежить від надійності коліс та підвіски, оскільки вони знаходяться найближче до дороги і піддаються найважчим умовам експлуатації. У цій роботі ми беремо такі показники надійності, як кількість відмов за одиницю часу природного напрацювання (або за одиницю пробігу автомобіля).

Для отримання хорошої плавності ходу власна частота коливань підресореної маси автомобіля на підвісці у всьому діапазоні експлуатаційних навантажень повинна бути невеликою:

- легкові автомобілі: 48-72 кол/хв (0,8-1,2 Гц);
- вантажні автомобілі: 72-114 кол/хв (1,2-1,9 Гц).

Це відповідає рівню биття людського пульсу при швидкій ходьбі.

Однак, як показали дослідження, при різних дорожніх навантаженнях частота коливання підвіски часто перевищує 2 Гц[5].

Безболісно людина переносить частоту 60-90 кол/хв (1-1,5 Гц) - це частота коливань при звичайній ходьбі, і до неї людський організм найбільш пристосований. Враховуючи конструктивні особливості автомобіля - масу, типи підвіски та амортизаторів, тиск повітря в шинах, еластичність сидінь, розташування сидінь до осей передніх і задніх коліс - розробники прагнуть забезпечити "природну" частоту коливань, бажано, в максимально широкому діапазоні умов, в яких працює автомобіль. При цьому, чим більша різниця в масі навантаженого та порожнього автомобіля, тим складніше підібрати характеристики пружних елементів, які б забезпечували рівні, задовільні параметри підресорювання.

Високе співвідношення підресорених і безпружинних мас сприяє тому, що автомобіль краще «тримає дорогу».

Будь-який пружний елемент має жорсткість, яка оцінюється коефіцієнтом жорсткості, що виражається як відношення навантаження, що викликало стиск на певну відстань (наприклад, кілограми на сантиметр, фунти на дюйм).

Вибір ступеня жорсткості пружного елемента завжди є компромісом між м'якими і жорсткими підвісками. Один із способів створення пружного елемента, в якому жорсткість не постійна, а збільшується в міру його стиснення.

Наявність амортизатора (нерегульованого) не значно впливає на основний ступінь жорсткості пружного елемента. Навіть дуже жорсткий амортизатор змінюватиме ступінь жорсткості не більше ніж на 10%.

Нами розроблено методику проектування підвіски з урахуванням усіх вищевикладених факторів, яка дозволяє проводити розрахунки елементів підвіски.

Сучасні підвіски роблять із великим статичним прогином. Збільшуючи прогин, тобто проектуючи підвіску довгохідною, можна досягти малої жорсткості пружного елемента і наблизитися до бажаних параметрів плавності ходу, проте наші теоретичні дослідження показали, що це також має негативний бік – зменшується стійкість автомобіля через збільшення амплітуди коливань такої підвіски.

Залежні підвіски разом із пружними ресорними елементами забезпечують достатню комфортність пересування. Проте мають свої недоліки. Вони не відповідають вимогам керованості автомобіля. На швидкісних ділянках дороги з нерівностями вони схильні до відведення автомобіля убік. Залежна підвіска забезпечує жорсткий зв'язок між правим і лівим колесами, у результаті переміщення одного з них у поперечному напрямі передається іншому, що призводить до нахилу кузова [6].

Передні залежні підвіски являють собою практично незмінну задню підвіску, але в поєднанні з поворотними шарнірами. Незалежна підвіска характеризується відсутністю жорсткого зв'язку між колесами моста. Кожне колесо підвішене незалежно від іншого, внаслідок чого при наїзді одним колесом на нерівність його коливання не передаються іншому колесу, зменшується нахил кузова і підвищується в цілому стійкість автомобіля під час руху. Незалежні підвіски поділяються на два основні типи: свічкові та важільні. Свічкові - "Макферсон", важільні – поперечно-важільні, двох важільні, поздовжньо-важільні, косо важільні. Важільні добрі тим, що досить прості за своєю конструкцією. Вони відповідають вимогам керованості автомобіля. Навіть на нерівних ділянках дороги при правильному балансі і розподілі сил і моментів підвіски важеля забезпечують належну керованість і стійкість. Серед важільних підвісок найбільш поширені поперечно-важільні.

Основний недолік поперечно-важільних підвісок – у шарнірному зчленуванні з кузовом, застосовані гумометалеві втулки (сайлентблоки), довговічність яких дуже обмежена. Як показали дослідження на надійність, шарнірні елементи в конструкції підвіски мають дуже низьку надійність.

Підвіска типу Макферсон має кілька найважливіших недоліків. До них відносяться зайва чутливість до дисбалансу коліс, посилене тертя між штоком і циліндром амортизатора (а отже, і зношування), підвищена передача на кузов дорожніх вібрацій та шумів, а також недостатня жорсткість у поздовжньому напрямку пари «важіль – плече стабілізатора» [7].

Передня підвіска.

Конструкція підвіски утворює негативне плече обкату, тобто точка перетину осі повороту колеса з полотном дороги лежить із зовнішнього боку, щодо центру плями контакту шини з дорогою. У комплексі з діагональною схемою поділу гідроприводу гальм це робить автомобіль більш стійким при гальмуванні на слизькій дорозі.

Найважче при переході від залежної підвіски до незалежної – забезпечити необхідний рівень керованості автомобіля. Необхідно враховувати і характеристики шин, і зміну крену, і величину сходження та розвалу задніх коліс.

Пружні елементи при ефективному використанні матеріалів повинні бути простими та компактними, і допускати достатній перебіг підвіски.

Вона перетворює вплив дороги на допустимі коливання кузова і коліс. Кінематика направляючого апарату підвіски повинна забезпечувати високу стійкість та керованість автомобіля. Проектувальник підвіски повинен забезпечити певний рівень вертикальних та поздовжніх кутових коливань кузова машини, допустиме значення поперечного крену, розподіл навантаження між мостами, перерозподіл маси автомобіля на повороті, положення осі крену [8].

1.1.2. Основні вимоги до підвіски

Пружна характеристика підвіски повинна забезпечувати високу плавність ходу та відсутність ударів в обмежувачі ходу, протидіяти кренам при повороті, забезпечити оптимальні характеристики пружних елементів, напрямних пристроїв, амортизаторів та стабілізаторів;

1. кінематична схема повинна створити умови для можливої малої зміни колії та кутів установки коліс, відповідність кінематики коліс кінематиці рульового приводу, що виключає коливання керованих коліс навколо осі повороту;
2. оптимальна величина згасання коливань кузова та коліс;
3. надійна передача від коліс кузову або рамі поздовжніх та поперечних зусиль та моментів;
4. мала маса елементів підвіски і особливо безпружинних частин - зниження маси безпружинних частин автомобіля і пристосованості коліс до нерівностей шляху при переїзді через перешкоди;
5. достатня міцність і довговічність деталей підвіски і особливо пружних елементів, що належать до найбільш навантажених частин підвіски;
6. оптимальна власна частота коливань кузова, що визначається величиною статичного прогину, який визначає плавність ходу при русі дорогами з рівною та твердою поверхнею;
7. достатній динамічний фактор, що виключає удари в обмежувачі прогину. Цей параметр визначає граничну швидкість руху автомобіля нерівними дорогами без ударів в обмежувач.

1.1.3. Пружні та демпфувальні елементи підвіски

Для запобігання передачі кузову коливань, викликаних нерівностями покриття траси, і поліпшення контакту коліс з поверхнею дороги застосовується пружна підвіска коліс. Роль пружного елемента може виконувати ресора, пружина, торсіон і т.д. У сучасній автомобільній практиці переважно використовуються пружини.

Жорсткість підвіски залежить від величини коефіцієнта жорсткості та від розташування точок кріплення пружини щодо нижнього важеля.

Амортизатор частково поглинає енергію стиснутої пружини, тим самим зменшуючи амплітуду та частоту коливань кузова. При використанні амортизаторів коливання шасі згасають за один, півтора ходи підвіски [9].

Енергопоглинаюча здатність амортизатора залежить від площі перепускних отворів та в'язкості рідини. Чим більше площа отворів і що менше в'язкість рідини, то менше енергії поглинає амортизатор, і тим довше загасатимуть коливання шасі [10].

В ідеальному випадку настроювання пружин та амортизатора повинно проводитися під конкретну трасу або покриття дороги. Так, на рівній і швидкій трасі використовуються жорсткі пружини, а для пересіченої місцевості необхідні м'які пружини і великий хід підвіски, оскільки можливий пробій підвіски, а поворотах кузов сильно нахилитися. Але дуже жорсткі пружини не забезпечать необхідного стабільного зчеплення з дорогою.

Жорсткі пружини добре працюють при великих швидкостях, а м'які, навпаки, при невеликих. Тому завжди потрібно шукати оптимум між стійкістю на швидкості та зчепленням при проходженні поворотів. Крім того, кожній жорсткості пружин відповідає оптимальне енергопоглинання амортизаторами.

Жорсткість передніх та задніх пружин залежить від розподілу ваги шасі між осями. Чим більше ваги припадає на ту чи іншу вісь, тим жорсткішими мають бути пружини та амортизатори.

Для вдосконалення деяких характеристик підвісок легкових автомобілів у роботі основним об'єктом є амортизатор, який на відміну від інших деталей і вузлів підвіски має нелінійні характеристики та має змінні властивості (жорсткості) за рахунок механічних впливів.

Сучасні тенденції зводяться до того, що, наприклад, пружини чи ресори лише підтримують вагу автомобіля. Решту роботи беруть на себе саме амортизатори, як більш точний інструмент.

Головна характеристика амортизатора, називається швидкісною, виражає залежність зусилля його опору від швидкості прямого ходу штока (стиснення) та зворотного (відбою).

Головним завданням амортизаторів є утримання колеса у постійному контакті з дорогою, щоб уникнути втрати контролю над автомобілем. Для чого колесо повинне якомога м'якше і чіткіше обігнути перешкоду, і так само чітко і швидко повернутися на дорогу, забезпечуючи необхідне зчеплення.

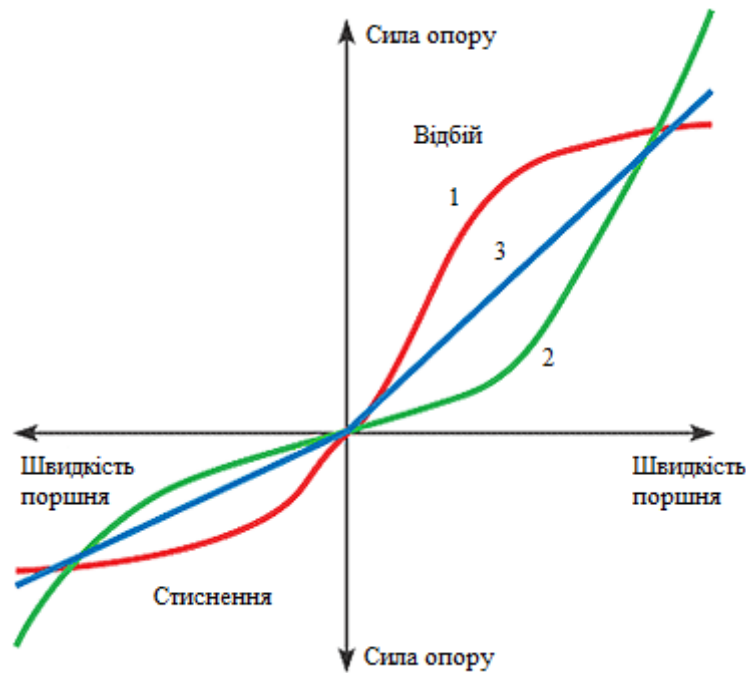
Дросельний і клапанний режими - робота амортизатора, відповідно, із закритими і відкритими клапанами. На дросельному режимі швидкість поршня мала, і рідина перетікає через відкриті дроселі. Зі збільшенням швидкості гідравлічний опір зростає, відкриваються клапани, і рідина тече ще й через них – це клапанний режим. Момент відкриття клапанів задають під час проектування амортизатора залежно від необхідної характеристики. Відхилення сил опору амортизаторів від середніх значень повинні перевищувати: на дросельному режимі – при відбої $\pm 30\%$, при стисканні $\pm 50\%$; на клапанному режимі – відповідно $\pm 15\%$ та $\pm 20\%$ [11].

Демпфування — придушення (гасіння) пружними і гасящими елементами підвіски коливань викликаних нерівністю дороги, тобто здатність підвіски протистояти коливанням коліс після проїзду через нерівності.

Коефіцієнт демпфування - відношення дорожнього навантаження до навантаження, що передається до підресореної маси автомобіля.

Характеристика може бути регресивною, прогресивною, лінійною чи комбінованою (рис.1.1). Кожна надає різні властивості одному й тому автомобілю. Але амортизатори з однотипними характеристиками можуть відрізнятися один від одного величинами сил опору, що теж впливає на поведінку автомобіля.

Регресивна найпоширеніша. З нею амортизатор добре гасить коливання і зменшує інтенсивність крену кузова при різких маневрах, але пропускає на нього вібрації від розбитої дороги (від сукупностей дрібних нерівностей - вибоїн, швів, гребінки, каменю на трамвайних шляхах - висотою близько 90 мм). Крім того, якщо амортизатор розрахований для магістрального автомобіля, переїзд на ньому поодиноких виступів (сходів асфальту, що утворилися при ремонті дороги), на високій швидкості може супроводжуватися відчутними ударами.



1 - регресивна; 2 - прогресивна; 3 - лінійна

Рис.1.1. - Типи характеристик амортизаторів

Прогресивну застосовують рідше. Її основна перевага - підвищення віброзахисту кузова. Однак, проїжджаючи низку плавних хвиль, машина може розхитатися аж до пробоїв підвіски.

Лінійна за властивостями займає проміжне положення. Комбінована поєднує різні типи характеристик (наприклад, прогресивну та регресивну) [12].

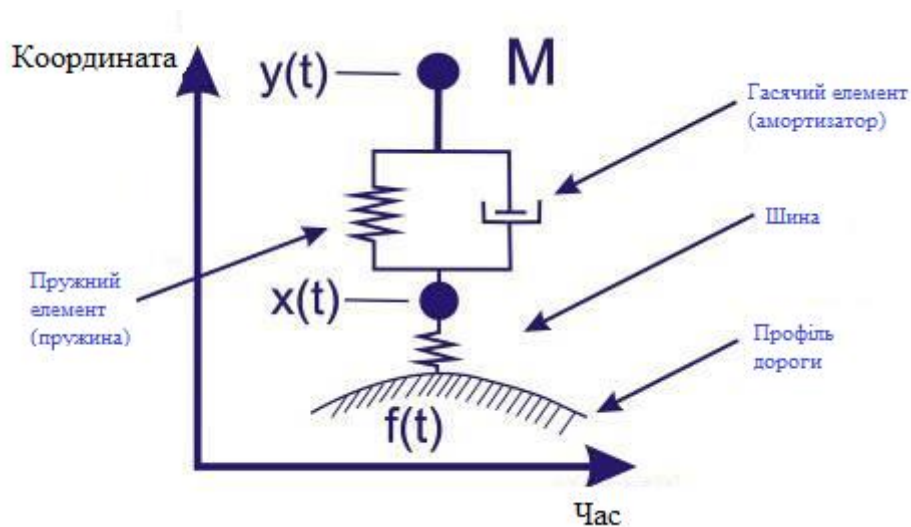
1.1.4. Активні підвіски автомобіля із амортизаторами змінної жорсткості

Питанням аналізу типів активних підвісок та системам їх управління присвячені роботи А. Сорніюті (Італія), Б. Спенсера, В. Вінслоу (США), К. Кавашима (Японія), В.В. Бербюк (Швеція) та ін.

Основна проблема конструювання підвісок полягає в тому, що вимоги до підвіски з боку стійкості, керованості та комфортності виявляються суперечливими. Так, з одного боку, підвіска повинна бути по можливості більш

м'якою, щоб унеможливити відрив коліс від дорожнього полотна при наїзді на нерівність, а також збільшити комфортність автомобіля для пасажирів і водія, забезпечити збереження вантажів, що перевозяться. З іншого боку, підвіска повинна бути по можливості жорсткішою, щоб збільшити стійкість і керованість автомобіля, саме щоб не виникали небезпечні крени на поворотах, не було клювань корпусу автомобіля при розгоні і гальмуванні, що розвантажують передню або задню осі автомобіля.

При описі підвіски одного колеса враховують (рис. 1.2) пружну шину, безпружинну масу m (колесо та частини підвіски), паралельно з'єднані пружний (пружина) та демпфуючий (амортизатор) елементи, які підтримують корпус автомобіля – підресорену масу M (маса $\frac{1}{4}$ частини корпусу автомобіля). Пружні елементи приймають на себе удари з боку нерівностей дорожнього покриття, перетворюючи їх в згасаючі коливальні рухи, а демпфер гасить ці коливання [13].



$x(t)$ – вертикальна координата осі колеса, $y(t)$ – вертикальна координата корпусу автомобіля в опорній системі координат, t – час

Рис. 1.2 - Схема підвіски одного колеса автомобіля

Властивості підвіски визначаються її характеристиками, основні з яких описують пружність пружини та в'язкість амортизатора залежно від різних фаз їхнього руху. У більшості звичайних автомобілів характеристики підвіски

вибираються в результаті пошуку компромісу між суперечливими вимогами стійкості, керованості та комфортності. Характеристики підвіски оптимізують з погляду середньостатистичних умов, у яких працюватиме даний автомобіль.

Розраховується усереднене значення маси автомобіля з урахуванням можливої ваги його вантажу, оцінюється та враховується характер та якість дорожнього покриття тих доріг, для яких розробляється даний автомобіль, вимоги до динамічних властивостей даного автомобіля, що залежать від його призначення (спортивний автомобіль, пасажирський, вантажний, спеціальний та ін.). Характеристики таких підвісок не змінюються в процесі експлуатації автомобіля, якщо не рахувати змін, пов'язаних зі зносом деталей підвіски. Однак очевидно, що підвіска, оптимізована по всьому діапазону умов експлуатації автомобіля, виявляється неоптимальною в кожній із конкретних поточних дорожніх ситуацій, що відрізняються від середньостатистичної розрахункової. Так, при русі автомобіля по порівняно гладкій дорозі оптимальною є жорсткіша підвіска, при русі цього ж автомобіля по нерівній дорозі хотілося б, щоб підвіска ставала м'якшою. При русі прямою ділянкою дороги можна мати більш м'яку підвіску, що збільшує плавність ходу, а при проходженні поворотів, при розгоні та гальмуванні підвіска повинна ставати жорсткішою, щоб забезпечити стійкість автомобіля, не допускати великого крену, тим більше - перекидання. Хотілося б змінювати жорсткість підвіски при зміні ваги вантажу. Є й багато інших чинників, від яких можуть залежати бажані оптимальні, в поточних умовах, характеристики підвіски (прискорення автомобіля, радіус повороту тощо.). У багатьох роботах описані спроби конструювання таких підвісок, які дозволяли б керувати їх характеристиками вручну чи автоматично. Наприклад, водієві надається можливість налаштовувати підвіску перед виконанням конкретної поїздки відповідно до її планованих властивостей. Так, у деяких автомобілях можна змінювати висоту кліренсу (дорожнього просвіту) [14], або жорсткість підвіски, вибираючи із двох-трьох варіантів – спортивного (жорстка підвіска) або звичайного (м'яка підвіска). Наприклад, у деяких підвісках, що встановлювалися на автомобілях, пружність підвіски регулювалася пневматичними

амортизаторами: на кожному мосту встановлюється три пневматичні резервуари, що працюють у ролі амортизатора. Водій має кран, яким він може задіяти тільки два, або всі три резервуари. У першому випадку підвіска ставала жорсткішою, у другому – м'якшою, чим і забезпечувалася зміна властивостей підвіски. Водій міг також змінити кліренс, наприклад, залежно від швидкості руху, якості дороги, а також при зупинці автомобіля [15].

Такі конструкції широко застосовуються на вантажних автомобілях, проте застосування на легкових автомобілях неефективно, тому що діапазон зміни подресореної маси легкового автомобіля не такий великий.

Іноді забезпечується можливість зміни характеристик підвіски вручну у процесі руху автомобіля. Однак такі маніпуляції можуть відволікати водія від керування автомобілем і відомі випадки, коли це цікаве заняття призводило до аварій. Підвіски, параметри яких можуть змінюватися з метою керування, стали називати «активними», проте це не строгий термін, і в кожному випадку корисно уточнити, що саме мають на увазі.

Спроби побудови підвісок, параметри яких змінювалися автоматично залежно від деяких поточних умов, призвели до появи різних ідей, які можна поділити на три типи [16].

Перший тип представлений підвісками, у яких характеристики змінюються внаслідок деяких законів механіки, гідравліки або пневматики.

Спеціальний пристрій пружинно-листових амортизаторів робить підвіску тим жорсткішою, чим більша вага автомобіля.

Іншим прикладом є звана «активно-реактивною» або «активно-пасивною» підвіска, де гідравлічні діагональні зв'язки між підвісками кожного з чотирьох коліс дозволяють без використання процесорів, датчиків і приводних механізмів «інформувати» кожне колесо про те, що відбувається з іншими, створюючи певне коригуюче зміщення коліс у різних ситуаціях, наприклад, під час поворотів або при наїзді одного колеса на перешкоди. Функціональне розмаїття дій таких підвісок не велике, при цьому потрібне встановлення додаткового складного

технічного та/або гідравлічного обладнання, що обтяжує машину, знижує її надійність.

До другого типу можна віднести підвіски, системи управління яких працюють на основі електронних схем або контролерів, що реалізують значення параметрів підвіски за детермінованим законом. Такі системи вимагають оснащення підвіски певними датчиками та виконавчими пристроями. Контролер встановлює фіксоване відображення показань датчиків заздалегідь визначені команди виконавчим пристроєм, що реалізує зазначені значення параметрів підвіски. Вочевидь, що у такий спосіб можна реалізувати набагато складніші детерміновані закони управління, ніж у вигляді механічних і гідравлічних пристроїв. Такі системи можуть керувати підвіскою набагато динамічніше, ніж це може робити людина-водій, і можуть робити це більш точно.

Основні проблеми цього типу систем пов'язані, як з труднощами побудови точної математичної моделі автомобільної підвіски, так і з необхідністю створення спеціальних виконавчих пристроїв з керованими елементами, які б допускали вибір між великим числом дискретних варіантів параметрів чи змін їх континуальних значень.

Прикладом таких керованих механізмів, які можна було б використовувати як виконавчі пристрої в підвісці, є амортизатор зі змінним опором.

Змінюючи діаметр пропускного отвору клапана, можна у широкому діапазоні змінювати характеристику амортизатора. Швидкодія такого актуатора досить висока, воно обмежується можливостями перемикаючого механічного пристрою клапана. Однак при роботі клапанів, навіть з отворами, що регулюються, спостерігається нестійке гасіння коливань.

Ще одним прикладом амортизатора зі змінною жорсткістю може бути амортизатор змінної в'язкості, в якому, як рідина використовується так звана магніто-реологічна рідина (MRF), яка є суспензією в маслі дуже дрібнодисперсних металевих магнітних частинок - диполів [17].

Металеві диполі можуть керуватися зовнішнім магнітним полем, який створюється соленоїдом, що змушує їх одночасно орієнтуватися в заданому

напрямку, наприклад, вздовж або впоперек потоку рідини, або обертатися по певній осі, що і призводить до зміни в'язкості в заданому напрямку. Висока швидкодія системи та широкий діапазон робочих режимів роблять її дуже ефективною.

Досліди показують, що оптимум електроореологічного ефекту може бути досягнутий лише за оптимального поєднання концентрації дисперсної фази та напруженості прикладеного електричного поля [18].

Динамічна в'язкість, виміряна при періодичному деформуванні, виявляється суттєво вище за зсувну ефективну в'язкість, визначену в ротаційних або капілярних віскозиметрах [19].

З цього можна зробити висновок, що амортизатор з MRF вимагає досить частого сервісного обслуговування та заміни магнітної рідини, яка є дорогою процедурою. Але він має недоліки, що полягають у деструкції магнітної рідини, укрупненні частинок суспензії за рахунок злипання один з одним, а головне для умов України, де спостерігаються великі сезонні перепади температур (влітку до $+40^{\circ}\text{C}$, взимку до -25°C) та підвищена запиленість, такі амортизатори ефективні. При підвищенні атмосферної температури рідина всередині амортизатора стає рідше, що робить його м'якшим. При зниженні атмосферного тиску – навпаки.

Запилення також негативно впливає на властивості амортизатора з феромагнітною рідиною. Частинки пилу навколо амортизатора утворюють "альтернативні" магнітні поля. Магнітні поля, що створюються соленоїдом, можуть накладатися один на одного, що може стати причиною гасіння або посилення магнітного поля навколо амортизатора.

Мікрочастинки потрапляючи до феромагнітної рідини амортизатора також викликають негативний вплив на роботу системи в цілому.

Крім таких пасивних керованих елементів підвіски були розроблені також активні елементи, наприклад, амортизатор, який із зовнішнього резервуара під високим тиском може впорскуватися, або, навпаки, відкачувати масло. Такий амортизатор сам може активно впливати на автомобіль, треба лише правильно керувати цими впливами.

За допомогою гідравліки високого тиску, численних датчиків ата потужних мікропроцесорів ця активна підвіска миттєво підлаштовує ресори кузова під відповідну дорожню ситуацію. Таким чином, амортизатор зі змінною жорсткістю такого типу на 68% зменшує переміщення кузова при розгоні, русі в повороті та при гальмуванні [20]. Повороти автомобілів з такою підвіскою проходять із значно меншими кранами та забезпечують при різких маневрах об'їзду більш високий рівень безпеки, ніж автомобілі із традиційними системами підвіски. При тесті „змійка” динамічний крен кузова в залежності від ситуації знижується на 50% порівняно зі значеннями з пасивною підвіскою та системою, що демпфує [21].

Недоліком такої системи є підвищена витрата палива, потрібна для приведення в дію такої активної підвіски.

Друга проблема, з якою стикаються розробники керованих підвісок такого типу полягає в наступному. Закон управління в залежності від показань датчиків, навіть якщо він детермінований, повинен бути розрахований заздалегідь і зафіксований в якомусь вигляді в контролері. Такий закон управління розраховується на підставі аналізу математичної моделі динаміки об'єкта управління - руху корпусу і підвіски автомобіля в тих чи інших можливих умовах, керуючі впливи слід розвинути, щоб у поточних умовах привести об'єкт управління до заданого стану.

Математична модель зазвичай являє собою велику систему нелінійних диференціальних рівнянь, які описують рух, як твердотільних елементів автомобіля, так і його елементів, що осцилюють. Значення коефіцієнтів підбираються за результатами стендових випробувань.

Проблема полягає в тому, що розробити точну математичну модель автомобіля дуже важко. Спроби врахувати трохи більш складні та реалістичні елементи автомобіля роблять його математичну модель надмірно складною і не піддаються розрахункам. Ситуацію ускладнює та обставина, що властивості реального автомобіля постійно змінюються навіть протягом однієї поїздки – змінюється його маса внаслідок зміни кількості пасажирів чи маси вантажу,

змінюється температурний режим, властивості конструктивних елементів, властивості дороги, режим руху. Тому будь-яка зафіксована математична модель загалом виявляється неправильною, а якість управління, отже, обмежена.

У цьому типі існують і адаптивні системи управління, які будуються на емпіричному уточненні значень параметрів, за умови, що заздалегідь відомий набір характеристик, що впливає на цільову характеристику, і загальний вигляд залежності між характеристиками, тобто вирішується задача ідентифікації моделі.

До третього типу можна віднести активні підвіски, керуючі системи яких будуються не так на основі математичних моделей, як на основі підходів, притаманних завдань аналізу «чорного ящика», чи завдань управління «по прецедентам». Це системи нового покоління, засновані на ідеях самонавчання, автоматичної роботи зі знаннями, з автоматичними системами, що розпізнають, що використовують нечітку логіку, нейромережі, гібридні системи тощо. Роботи над такими активними підвісками ведуться в даний час у ряді автомобільних компаній, але особливості технології, реалізовані в зразках, що анонсуються, як правило, не висвітлюються. Із загальних міркувань можна припускати, що всі такого роду системи управління активними підвісками, навіть якщо вони евристичні, можна віднести до одного з напрямків, відомих сьогодні в галузі систем керування: це експертні системи, системи нечіткої логіки, нейромережі, системи з підкріплюючим навчанням.

Перевагою такого роду керуючих систем є те, що вони не засновані на математичних моделях об'єктів управління. Закон управління у них виходить або внаслідок автоматичного навчання за прецедентами, або внаслідок перенесення до керуючої системи формалізованих знань людини-експерта. Кожен із названих тут методів управління має свої обмеження, особливості та недоліки, а також способи згладжування цих недоліків.

Експертні системи дозволяють зафіксувати знання людини-експерта, який добре приймає рішення у певній галузі, а потім тиражувати ці здібності. Нечіткі системи є різновидом експертних систем і зручні для побудови систем керування.

Однак у своїх канонічних варіантах ці системи передбачають автоматичне доучування чи переучування, тобто автоматичної адаптації, їх правила ухвалення рішень задаються вручну при конструюванні таких систем. Очевидно, що в області керування підвіскою не існує експертів, які вміють швидко і правильно змінювати параметри підвіски, до того ж, тут потрібно постійне переучування системи керування. Нейронні мережі у своєму канонічному вигляді призначені для розпізнавання образів, яким вони були навчені за навчальною вибіркою. Перенавчання нейромережі в процесі роботи (що власне і забезпечує адаптивне керування) викликає серйозні проблеми. До того ж і попереднє навчання пов'язане зі складністю підготовки навчальної вибірки прецедентів, трудомісткістю навчання нейромережі, проблемами збіжності. Системи з підкріплюючим навчанням – один із найперспективніших напрямів, також мають свої органічні труднощі. У кожній із названих областей проводяться дослідження, спрямовані на пошук шляхів обходу відповідних проблем.

1.1.5. Методи покращення характеристик та експлуатаційних властивостей амортизаторів

Саморегульований газовий амортизатор. Принцип роботи ґрунтується на застосуванні атмосферостійкої гідравлічної системи та азотного газу, що нагнітається [23].

Однотрубний газонаповнений амортизатор, характеристика якого змінюється залежно від відносного переміщення штока в циліндрі.

При русі автомобіля зі звичайним навантаженням прямою рівною дорогою з постійною швидкістю елементи автомобільної підвіски (шток амортизатора) здійснюють невеликі вертикальні переміщення. Будь-які зміни в дорожніх умовах, наприклад, різкий поворот або вибоїна, зазвичай ці переміщення збільшують. У першому випадку опір для гасіння коливань потрібний невеликий. У другому — безпека руху залежатиме від миттєвого адекватного амплітуді переміщень штока

амортизатора збільшення жорсткості його роботи. Саме своєчасний опір запобігатиме втраті контакту між колесом і дорогою.

В корпусі амортизатора є вертикальний канал, через який масло може перетікати між верхньою та нижньою частинами корпусу, минаючи клапани, розташовані в поршні.

В центральній зоні амортизатора, названою розробниками "зоною комфорту", де переміщення штока невеликі, глибина каналу рівномірна і дорівнює 0,4 мм. Проходячи через нього, олія зустрічає постійний, але відносно невеликий опір. Коли ж колесо наїжджає на перешкоду і, отже, поршень виходить із "зони комфорту", він потрапляє в "зону контролю" (верхню чи нижню), де канал, звужуючись, плавно сходить нанівець і перекривається поршнем. Олія продавлюється через клапани в поршні, і амортизація стає жорсткішою. Наявність каналу на внутрішній стінці амортизатора змусило змінити лише параметри клапанів поршня, у всьому іншому амортизатор працює так само, як і звичайний газонаповнений амортизатор в однострубному або двотрубному виконанні. У двотрубному амортизаторі з газом низького тиску довжина ринви становить від 27 до 59 мм залежно від моделі автомобіля [7].

Однак цей амортизатор має кілька недоліків. По-перше, амортизатор різко втрачає ефективність при закупорюванні каналів ринви. По-друге, так як у гідропневматичних амортизаторах не виключені можливості «спінювання» що призводить до зміни тиску в амортизаторі. По-третє, конструкція амортизатора не передбачає управління, отже система є пасивною. Пасивні амортизатори за тяжких умов (тиск в амортизаторі може досягати 2 атм.) погано реагують на різкі зміни рельєфу дороги.

Безступінчасто перебудований прямо на ходу амортизатор CDC (Continuous Damping Control). Мікропроцесор отримує інформацію від датчиків, вирішує систему рівнянь за кілька мілісекунд і видає команду захованому прямо в трубі амортизатора пропорційному клапану дроселя (для легкових автомобілів). Автомобіль можна обладнати системою, яка працює від трьох датчиків-акселерометрів і реагує лише на прискорення машини загалом, або системою, яка

займається кожним амортизатором окремо. У цьому випадку додатково вимірюється вертикальне прискорення кожного колеса, а загальна кількість датчиків збільшується до шести. Швидкодія настільки висока, що параметри демпфування підлаштовуються протягом кожного ходу штока амортизатора вгору і вниз.

Дані системи мають такі недоліки - через велику кількість датчиків і залежність кожного з них між собою підвіска істотно втрачає в надійності і кількість відмов підвісок з вищезазначеними параметрами стає більшою. Крім того, при великих амплітудах коливань підвіски або великих одиничних нерівностях амортизатор втрачає свою демпфувальні та пружні властивості, а саме, при різкому русі штока масло через канали на внутрішній стінці амортизатора рухається досить не рівномірно, тим більше що на певному етапі амортизатор переходить у клапанний режим роботи. Амортизатор і підвіска загалом отримують відчутні гідроудари, що впливають на плавність ходу.

1.2. Сучасні мехатронні системи керування активною підвіскою легкового автомобіля

1.2.1. Принципи побудови сучасних мехатронних систем

Поняття мехатроніка в єдиному словосполученні означає інтеграцію знань у відповідних галузях науки і техніки, яка дозволила зробити якісний стрибок у створенні техніки нових поколінь та виробництві нових видів систем та обладнання.

Аналогічним чином йшов розвиток електромеханіки, як науки, що використовує досягнення електротехніки та механіки при створенні приводних виконавчих систем широкого призначення. Інтеграція електромеханіки та мікроелектроніки призвела до появи комплектних інтегрованих мехатронних модулів руху робочих органів та вузлів машин, а також обладнання, що створюється на їх основі.

Мехатроніка - це нова галузь науки і техніки, присвячена створенню та експлуатації машин і систем з комп'ютерним управлінням рухом, яка базується на знаннях в галузі механіки, електроніки та мікропроцесорної техніки, інформації та комп'ютерного управління рухом машин і агрегатів.

У даному визначенні особливо наголошено на триєдиній сутності мехатронних систем (МС), в основу побудови яких закладено ідею глибокого взаємозв'язку механічних, електронних та комп'ютерних елементів. Напевно тому найбільш поширеним графічним символом мехатроніки стали три кола, що перетинаються (рис.1.3), поміщені у зовнішню оболонку "Виробництво" - "Менеджмент" - "Вимоги ринку" [6].

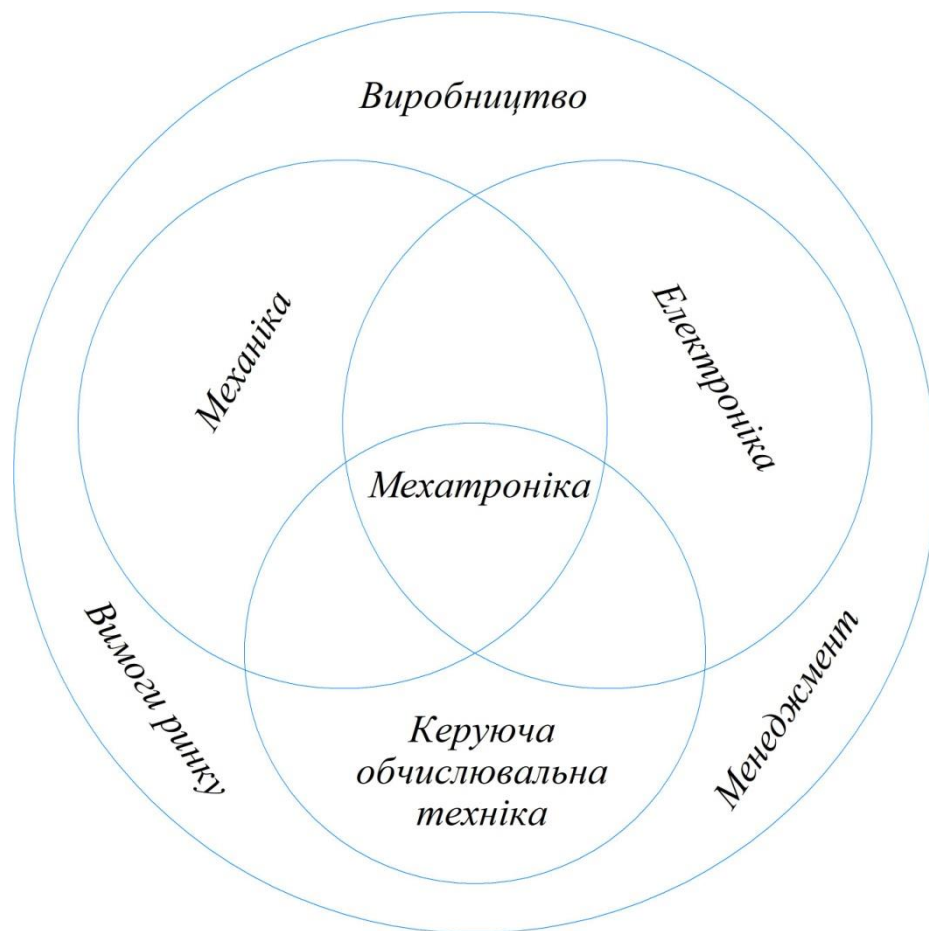


Рис.1.3. - Визначення мехатронних систем

Таким чином, системна інтеграція трьох зазначених видів елементів є необхідною умовою побудови мехатронної системи.

Мехатроніка вивчає синергетичне об'єднання вузлів точної механіки з електронними, електротехнічними та комп'ютерними компонентами з метою проектування та виробництва якісно нових модулів, систем, машин та комплексів машин з інтелектуальним керуванням їх функціональними рухами.

Азовими об'єктами вивчення мехатроніки є мехатронні модулі, які виконують рухи, як правило, по одній керованій координаті.

Мехатронні системи призначені, як випливає з визначення, для реалізації заданого руху. Критерії якості виконання руху МС є проблемно-орієнтованими, тобто визначаються постановкою конкретного прикладного завдання. Специфіка завдань автоматизованого машинобудування полягає у реалізації переміщення вихідної ланки-робочого органу технологічної машини (наприклад, інструменту для механообробки). У цьому необхідно координувати управління просторовим переміщенням МС з різними зовнішніми процесами. Прикладами таких процесів можуть бути регулювання силової взаємодії робочого органу з об'єктом робіт при механообробці, контроль та діагностика поточного стану критичних елементів МС (інструменту, силового перетворювача), управління додатковими технологічними впливами (тепловими, електричними, електрохімічними) на об'єкт робіт при комбінованих методах обробки, керування допоміжним обладнанням комплексу (конвеєрами, завантажувальними пристроями тощо), видача та прийом сигналів від пристроїв електроавтоматичних (клапанів, реле, перемикачів). У сучасних МС задля забезпечення високої якості реалізації складних і точних рухів застосовуються методи інтелектуального управління (advanced intelligent control). Ця група методів спирається на нові ідеї теорії управління, сучасні апаратні і програмні засоби обчислювальної техніки, перспективні підходи до синтезу керованих рухів МС.

Розглянемо узагальнену структуру машин з комп'ютерним управлінням, орієнтованих завданням автоматизованого машинобудування, що представлена на рис. 1.4.

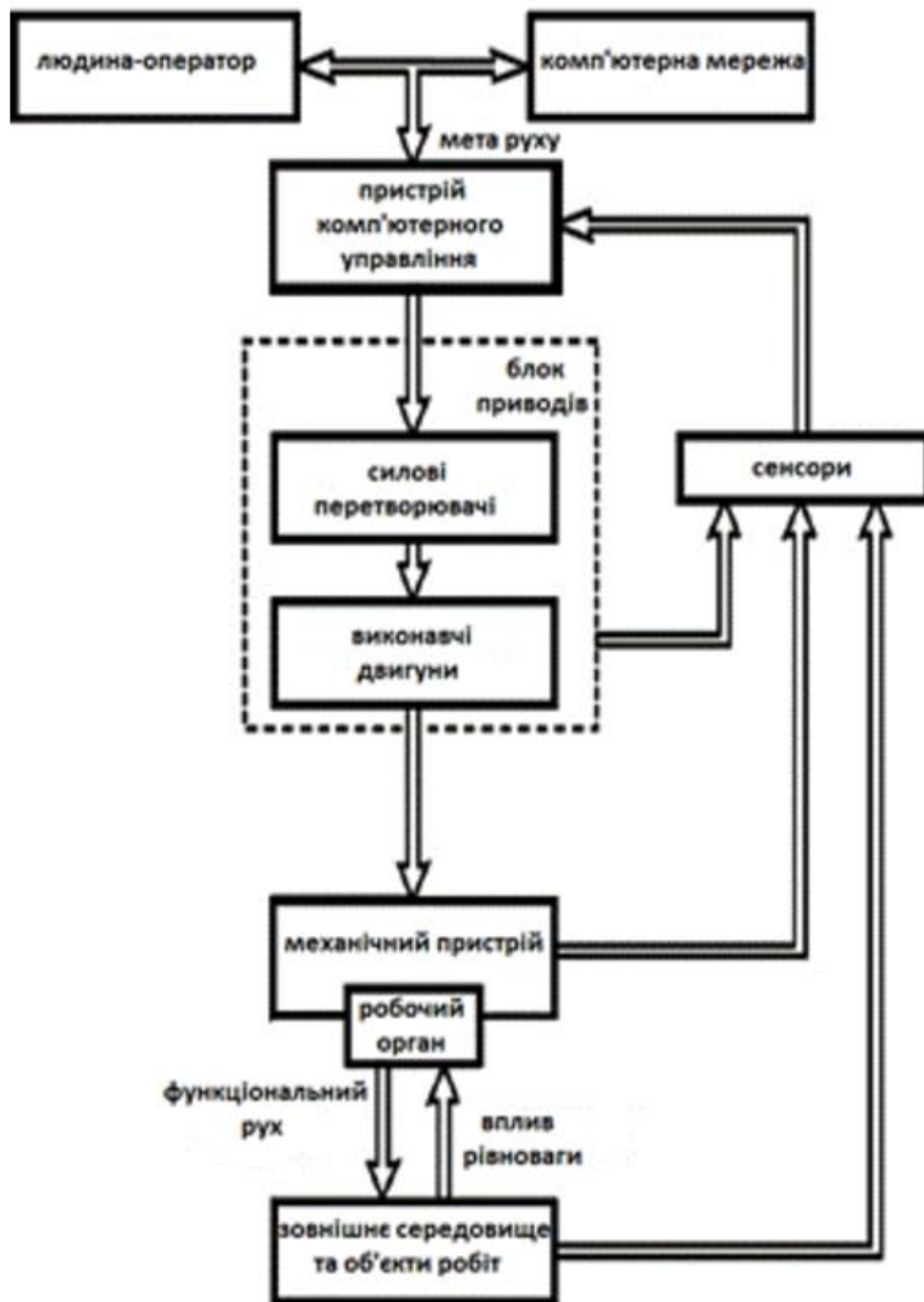


Рис. 1.4. - Узагальнена схема машини з комп'ютерним керуванням рухом

До складу традиційних машин входять наступні основні компоненти: механічний пристрій, кінцевою ланкою якого є робочий орган; блок приводів, що включає силові перетворювачі і виконавчі двигуни; пристрій комп'ютерного управління, верхнім рівнем для якого є людина-оператор, або інша ЕОМ, що входить в комп'ютерну мережу; сенсори, призначені для передачі в пристрій

управління інформації про фактичний стан блоків машини та рух мехатронних систем.

Таким чином, наявність трьох обов'язкових частин - механічної (точніше електромеханічної), електронної та комп'ютерної, пов'язаних енергетичними та інформаційними потоками, є первинним ознакою, що відрізняє мехатронні системи.

Електромеханічна частина включає механічні ланки і передачі, робочий орган, електродвигуни, сенсори і додаткові електротехнічні елементи (гальма, муфти). Механічний пристрій призначений для перетворення рухів ланок в необхідний рух робочого органу. Електронна частина складається з мікроелектронних пристроїв, силових перетворювачів і електроніки вимірювальних ланцюгів. Сенсори призначені для збору даних про фактичний стан зовнішнього середовища і об'єктів робіт, механічного пристрою і блоку приводів з подальшою первинною обробкою і передачею цієї інформації в пристрій комп'ютерного керування (ПКК). До складу ПКК мехатронної системи зазвичай входять комп'ютер верхнього рівня і контролери управління рухом.

Основні функції керування мехатронних систем:

1. Управління процесом механічного руху мехатронного модуля або багатовимірної системи в реальному часі з обробкою сенсорної інформації.
2. Організація керування функціональними рухами мехатронних систем, яка передбачає координацію керування механічним рухом мехатронних систем і супутніми зовнішніми процесами. Як правило, для реалізації функції керування зовнішніми процесами використовуються дискретні входи / виходи пристрою.
3. Взаємодія з людиною-оператором через людино-машинний інтерфейс в режимах автономного програмування (off-line) і безпосередньо в процесі руху МС (режим on-line).
4. Організація обміну даними між периферійними пристроями, сенсорами та іншими пристроями системи.

Завданням мехатронної системи є перетворення вхідної інформації, що надходить з верхнього управління, в цілеспрямований механічний рух з керуванням на основі принципу зворотного зв'язку.

Характерно, що електрична енергія (гідравлічна або пневматична) використовується в сучасних системах як проміжна енергетична форма.

Суть мехатроного підходу для проектування полягає в інтеграції в єдиний функціональний модуль двох або більше елементів можливо навіть різної фізичної природи. Іншими словами, на стадії проектування з традиційної структури машини виключається сепараторний пристрій (принаймні один інтерфейс) при збереженні фізичної сутності перетворення, виконуваного даними модулем.

Застосування мехатронного підходу під час створення машин із комп'ютерним управлінням визначає їх основні переваги проти традиційними засобами автоматизації:

- відносно низьку вартість завдяки високому ступеню інтеграції, уніфікації та стандартизації всіх елементів та інтерфейсів;
- висока якість реалізації складних та точних рухів внаслідок застосування методів інтелектуального управління;
- високу надійність, довговічність та схибленість;
- конструктивну компактність модулів (аж до мініатюризації в мікромашинах);
- покращені масогабаритні та динамічні характеристики машин внаслідок спрощення кінематичних ланцюгів;
- можливість комплексування функціональних модулів у складні системи та комплекси.

1.2.2. Опис сучасних мехатронних систем автомобіля

АБС – ABS (Anti-Blockier-System) система, основним завданням якої є запобігання блокуванню коліс автомобіля, що загальмовуються, збереження його

курсової стійкості та керованості. Сьогодні необхідність її застосування на сучасних легкових автомобілях визнана переважною більшістю автовиробників. Наявність АБС на автомобілі позбавляє водія необхідності постійно контролювати гальмівне зусилля на педалі, щоб уникнути блокування, а відтак і зниження ефективності гальмування коліс автомобіля. Це завдання бере на себе електронний блок АБС, який аналізує сигнали, що надходять від датчиків швидкості обертання коліс і через гідромодулятор впливає на робочі гальмівні механізми автомобіля.

Водії-аси, щоб не втратити керованість автомобіля, застосовують в екстрених ситуаціях уривчасте або східчасте гальмування. Але не кожен «середній» водій може в умовах стресу відмовитись від природного рефлексу натиснути педаль гальма «в підлогу» і натомість змусити ногу дрібно тремтіти і тому це завдання покладають на електроніку.

Типова АБС складається з електронасосу, акумулятора тиску, електронного блоку управління, датчиків контролю обертання коліс та блоку електромагнітних клапанів. Як тільки якесь колесо починає прослизати, система скидає тиск у гальмівній системі, колесо на якийсь момент розблокується, ковзання припиняється, і все починається спочатку – тиск у системі починає зростати доти, доки знову колесо не виявиться заблокованим. АБС дозволяє перетворити безперервне гальмівне зусилля, що прикладається водієм до педалі, на серію гальмівних імпульсів на колесах і тим самим уникнути їх блокування. Це не тільки скорочує гальмівну колію на однорідному дорожньому покритті, але й дає можливість зберегти керованість.

Програми блоків управління серійних АБС розраховуються під деякі усереднені параметри і повинні забезпечувати прийнятне уповільнення під час роботи з усіма шинами, якими може оснащуватися даний автомобіль на конвеєрі. Але якщо оптимізувати алгоритм роботи блоку АБС під зчіпні властивості конкретної моделі покриття, це може дати вигоду у гальмівній динаміці.

Недоліки АБС:

1) на дорозі з неоднорідним покриттям (наприклад, під одним із коліс лід) вона може раптово послабити гальмування, намагаючись не допустити пробуксування.

2) АБС відключається при зниженні швидкості до 5-10 км/год та водій, той, хто не чекає цього, може в останній момент потрапити в ДТП.

3) АБС не дозволить на передньопривідній машині увійти в поворот із занесенням задньої осі прийомом «газ-гальмо», що засмутить любителів активного стилю водіння.

4) при гальмуванні на снігу заблоковані колеса згрібають сніг перед собою та автомобіль зупиняється швидше, ніж з АБС.

Система FSD (Frequency Selective Damping) – частотно залежне демпфування від голландського виробника Koni. Основна ідея FSD полягала в тому, що в штоку стоїть клапан, через який масло проходить, мінаючи основний клапан у поршні, і в залежності від частоти коливання підвіски клапан FSD відкривається більше, роблячи амортизатор м'якшим. Тобто якщо підвіска здійснює менше одного коливання в секунду (до цього відносяться гальмування, розгін і крен при проходженні повороту), клапан залишається в початковому положенні, але як тільки підвіска починає вібрувати з більшою частотою, клапан починає відкриватися при кожному проходженні поршня на стиск і відбій. Таким чином, при низькочастотних коливаннях підвіски (на «хорошій дорозі») амортизатор працює, як завжди, а при високочастотних коливаннях на поганій дорозі зусилля відбою падає, одночасно збільшуючи комфорт та покращуючи зчеплення колеса з покриттям.

Система CDC (Continuous Damping Control) — безперервний контроль демпфування. Електронна система управління демпфуванням, основу якої складають чотири двотрубні амортизатори з газовим підпором регульованими електромагнітними клапанами, встановленими збоку в нижній частині амортизатора і всередині самого поршня, безперервно і точно управляє характеристиками покриття, індивідуального стилю керування, швидкості, вертикального прискорення кожного колеса, кута повороту керма.

В результаті значно зменшуються клювання при гальмуванні та крени при проходженні поворотів або нерівностей. Компромісом між комфортом та безпекою (керованістю) автомобіля може бути конструкція амортизатора з можливістю регулювання його опору.

Представляє інтерес електронна система управління характеристиками амортизаторів фірми Opel з урахуванням стану дорожнього покриття, індивідуального стилю водіння, швидкості, вертикального прискорення кожного колеса, кута повороту керма, основу якої складають чотири двотрубні амортизатори з газовим підпором і регульованими електромагнітними клапанами, встановленими збоку. З сигналів від датчиків прискорення управляючий модуль системи у режимі реального часу з допомогою спеціальної матриці параметрів розраховує оптимальні характеристики амортизаторів кожного окремого колеса. В результаті значно зменшуються клювання при гальмуванні та крени при проходженні поворотів або нерівностей.

Мехатронні системи складаються із трьох обов'язкових частин – механічної (точніше електромеханічної), електронної та комп'ютерної, пов'язаних енергетичними та інформаційними потоками. Завданням мехатронної системи є перетворення вхідної інформації, що надходить з верхнього рівня управління, цілеспрямований механічний рух з управлінням на основі принципу зворотного зв'язку.

В результаті впровадження мехатронних систем керування двигуном, ABS, CDC та активною підвіскою реально досягається наступне:

- підвищується безпека водія та руху автомобіля;
- здійснюється підтримка водія при керуванні автомобілем у критичних ситуаціях;
- зберігається задана водієм траєкторія руху автомобіля у всіх режимах: повне гальмування, часткове гальмування, рух накатом, прискорення, гальмування двигуном;
- підтримується стабільність руху автомобіля під час критичного керування (переляк, панічна реакція).

1.3. Мета та задачі дослідження

В результаті аналізу літературних джерел за темою дослідження була сформована наступна **мета** - розробка мехатронної системи автоматичного керування опором гідравлічного амортизатора.

Задачі дослідження:

- розробка мехатронної схеми автоматичного керування амортизатором;
- вибір конструкції перепускного клапана регульованого амортизатора;
- дослідження витікання рідини через отвори мембрани перепускного клапана регульованого амортизатора;
- розрахунок економічного ефекту від впровадження.

Висновки до розділу

- проаналізовано конструкції активної підвіски легкового автомобіля;
- сучасні мехатронні системи керування активною підвіскою легкового автомобіля;
- сформульовано мету та задачі дослідження.

РОЗДІЛ 2. Теоретично-експериментальне дослідження системи управління активною підвіскою легкового автомобіля

2.1. Розробка мехатронної схеми управління підвіскою автомобіля

В результаті аналізу мехатронних систем керування двигуном, ABS, CDC та активною підвіскою автомобіля, проведеному в розділі 1, виявилось, що реально ця система повинна включати такі компоненти: механічний пристрій, кінцевою ланкою якого є робочий орган; блок приводів, що включає силові перетворювачі та виконавчі двигуни; пристрій комп'ютерного управління, верхнім рівнем якого є людина-оператор, чи інша ЕОМ, яка входить у комп'ютерну мережу; сенсори, призначені для передачі в пристрій управління інформації про фактичний стан і блоків машини та рух МС (рис. 2.1).

Керуючий пристрій конструктивно може бути об'єднаний, наприклад, з кроковим двигуном типу MDrive Plus. Зв'язок із центральним пристроєм керування та іншими модулями організується через стандартну шину, з'єднання проводиться підготовчим кабелем із приєднаним фланцем.

Кроковий електродвигун встановлюється на початку всіх чотирьох амортизаторах автомобіля.

Завданням блоку комп'ютерного управління рухом є інформаційне перетворення (обробка цифрових сигналів лазерних датчиків, цифрове регулювання, розрахунок керуючих впливів, обмін даними і периферійними пристроями).

Цифровий аналоговий перетворювач реалізує функцію інформаційно-електричного перетворення.

Кроковий електродвигун виконує електромеханічне перетворення сигналів на заданий поворот штока клапанів регулювання.

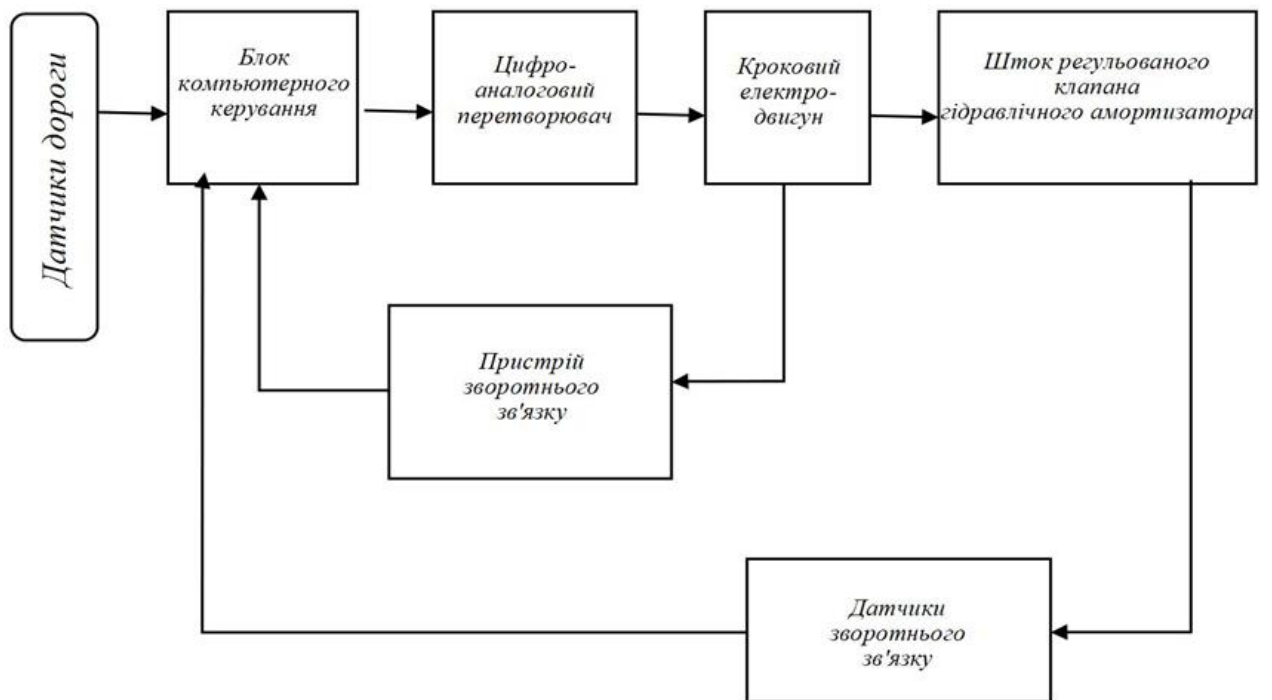


Рис. 2.1 - Мехатронна схема автоматичного керування амортизатором

Датчики, що фіксують стан дороги та підвіски бувають різних видів. Ультразвукові та радарні датчики мають хороші характеристики для використання в системах управління активною підвіскою, проте робота ультразвукових датчиків сильно залежить від погодних умов та ступеня їх забрудненості, а радарні – занадто дорогі. Хороші перспективи мають лідари. Найбільш прийнятними для використання в системах управління активною підвіскою є датчики прискорення, які призначені для вимірювання прискорень у діапазонах $0 \dots \pm 250g$ ($g=9.8 \text{ м/с}^2$), мають малі габарити та низьку вартість. Датчики прискорення відстежують вертикальні переміщення, нишпорення та поперечне прискорення кузова, а також вертикальні переміщення та кут повороту керованих коліс. Основними джерелами, які визначають вібрації автомобіля, є ДВЗ, трансмісія, колеса та шини, нерівності дорожньої поверхні. При цьому по відношенню до машини перші три джерела є внутрішніми, а останній зовнішнім. Збурюючий вплив від внутрішніх джерел обумовлений наступним: взаємодією контактуючих тіл у кінематичні пари (удари), невірноваженістю та відхиленням від співвісності обертових деталей; мінливістю частоти обертання та крутного

моменту І елементів агрегатів (валах, зубчастих колесах); тертям кочення ковзання. Силовий агрегат, трансмісія та колеса належать вібраційним системам переважно з періодично характером збурення. Діапазон частот при вібрації силового агрегату ширший, ніж трансмісії та істотно залежить від типу двигуна.

Випадкові коливання вузлів та агрегатів автомобіля пов'язані з кінематичним впливом від дорожньої поверхні. В області частот (0...25 Гц, де найбільше виявляється випадкова вібрація вертикальні коливання відбуваються головним чином з власним частотами коливань підресорених (1...3 Гц) і безпружинних (6...19 Гц) мас. Вібрація кабіни та кузова з такими частотами може викликати інфразвукові коливання всередині машини зі звуковим тиском високого рівня. Напівпровідникові датчики прискорення фірми Freescale Semiconductor, призначені для вимірювання прискорень в діапазонах $0... \pm 250g$ ($g=9.8 \text{ м/с}^2$) по одній, двох або трьох осях. Він складається з центральної пластини, закріпленої за допомогою пружних елементів, і трьох нерухомих пластин (дві основні та одна - для реалізації функції самотестування) У сукупності утворюється диференціальна ємність. Це призводить до зміни ємності мікроконденсатора. Інтегрована на тому ж кристалі вимірювальна схема (інтегратор, підсилювач, ФНЧ, пристрій температурної компенсації та тактовий генератор) фіксує це і формує вихідну напругу, що лінійно залежить від діючого прискорення. Коли прискорення немає (рухлива пластина в середньому положенні) рівень вихідної напруги дорівнює половині напруги живлення. Функція самотестування активується при подачі рівня логічної одиниці на відповідний вхід. Датчики мають стандартний пропорційний аналоговий вихід, що дуже зручно для підключення до АЦП мікроконтролера. Резонансна частота чутливого елемента набагато вища за частоту зрізу вбудованого ФНЧ, тому вона ніяк не впливає на робочу характеристику датчика. Пропорційний вихід (тобто вихідне зміщення при нульовому прискоренні і відповідно чутливість лінійно змінюється в залежності від напруги джерела живлення) - одна з переваг цих датчиків. Датчики випускаються в SOIC і QFN корпусах підвищеної міцності та герметичності та витримують ударні дії з прискоренням 500g при включеному

живленні та 2000g без живлення. Вони можуть бути використані як вимірювачі та датчики інших фізичних величин. Це швидкість, сила ударів та вібрацій, точне зміщення, кут нахилу тощо.

На підставі розрахунків підібрано кроковий електродвигун марки Ms Drive Plus 23 для приводу штока перепускного клапана амортизатора, що регулюється. Таким чином, основним елементом мехатронної системи управління підвіскою автомобіля, що підлягає удосконаленню в даній роботі, став мембранний вузол перепускного клапана амортизатора, що регулюється.

2.2. Вибір конструкції перепускного клапана амортизатора, що регулюється

2.2.1. Вивчення та аналіз конструкцій регульованих амортизаторів

У більшості автомобілів характеристики підвіски вибираються в результаті пошуку компромісу між суперечливими вимогами стійкості, керованості, надійності та комфортності. Ситуація посилюється тим, що зміною параметрів підвіски ми досягаємо комфорту в русі лише за певних умов. Так, роблячи підвіску жорсткішою, ми домагаємося не тільки гарної керованості на високих швидкостях і гладкому асфальті, але і зайвої тряскості при їзді дорогами з поганим покриттям. М'яка підвіска, навпаки, проковтує нерівності на дорозі, але погіршує керованість і стійкість автомобіля на високих швидкостях.

Багато бажано мати можливість автоматичного регулювання опору амортизаторів та навіть висоти дорожнього просвіту. Подібна підвіска істотно дорожча за звичайну, оскільки оснащена електронним управлінням і дорогими вузлами. Однак попит народжує пропозицію, і виробники автомобілів розробляють більш досконалі системи.

Відомий регульований амортизатор [8] виробника транспортного засобу, що містить резервуар, гідроциліндр, поршень, шток, клапан стиснення, клапан відбою, клапан перепуску, клапан регулювання зусилля амортизатора. Клапан регулювання містить герметично з'єднаний з гідроциліндром корпус, вихідний

Technical drawing of a mechanical assembly, showing a cross-sectional view and a top view. The assembly consists of a central shaft (4) passing through a housing (1). The housing contains internal components, including a central shaft (4) and a series of nested components (2, 3, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17). The top view shows a circular flange (9) at the bottom. The drawing is labeled with numbers 1 through 17, indicating specific parts of the assembly.

Недоліком цієї конструкції є регулювання амортизатора або зусилля стиснення, або зусилля відбою. Цього недоліку позбавлена конструкція амортизатора фірми "KONI" з клапаном, встановленому в штоку, через який масло проходить, минаючи основний клапан в поршні, і в залежності від частоти коливання підвіски клапан відкривається більше, роблячи амортизатор м'якшим. Тобто якщо підвіска здійснює менше одного коливання в секунду (до цього відносяться гальмування, розгін і крен при проходженні повороту), клапан залишається в початковому положенні, але як тільки підвіска починає вібрувати з більшою частотою, клапан починає відкриватися при кожному проходженні поршня на стиск і відбій.

Система CDC (Continuous Damping Control – безперервний контроль демпфування), яку активно застосовує фірма Opel на останніх версіях автомобіля Astra. В амортизаторі встановлені електромагнітні клапани збоку в нижній частині амортизатора і всередині самого поршня. Однак установка клапана в штоку або самому поршні значно ускладнює конструкцію амортизатора, тому нами прийнятий варіант з регульованим клапаном власної конструкції збоку в нижній частині амортизатора.

2.2.2. Складання конструктивної схеми перепускного клапана регульованого амортизатора

Регульований амортизатор власної конструкції містить збоку в нижній частині амортизатора мембранну камеру (рис. 2.3). Він містить гідроциліндр 1, поршень 4, шток 2, клапан стиснення 3, клапан відбою 5 і додатковий клапан 11. Клапан 11 встановлений у корпусі 9, герметично з'єднаним з гідроциліндром 1 амортизатора і мають два вихідні канали 10 і 12. Клапан 11 містить нерухому рухливу мембрану, яких є отвори. За допомогою повороту рухомої мембрани, з'єднаної зі штоком 8, в ту чи іншу сторону встановлюється одне з кількох значень прохідного перерізу додаткового клапана. Варіюванням пропускної здатності

додаткового клапана 11 забезпечується зміна характеристики опору амортизатора відповідно до заданої програми.

Регульований амортизатор працює наступним чином:

При наїзді автомобіля на нерівності дороги виникають поштовхи, що передаються на кузов і викликають його вертикальне розгойдування. При цьому шток 2 з поршнем 4 переміщається в гідроциліндрі 1 і відбувається демпфування та гасіння коливань кузова в залежності від зусиль опору переміщення штока поршнем. Величина зусиль опору переміщенню штока з поршнем (зусилля стиснення або відбою) залежить від гідравлічного опору перетіканню рідини 6 через клапани. При засуві поршня 4 (хід стиснення) рідина 6 поршневого простору гідроциліндра 1 частково перетікає через клапан стиснення 3 в надпоршневий простір. Крім того, рідина перетікає в гідроциліндр 1 через вихідний канал 12. При зовнішньому керуючому впливі на рухому мембрану клапана регулювання шляхом повороту штока 8 отвори в мембранах відкриваються і зменшується опір перетіканню рідини 6 через канал 10 і при цьому знижується зусилля стиснення амортизатора. При ході відбою (висування штока 2) рідина 6 перетікає через клапан відбою 5 і канал 10 з надпоршневого простору в підпоршневе, створюючи при цьому зусилля опору відбою, яке також регулюється поворотом штока 8. Змінюючи площу пропускних отворів клапана, можна в широкому діапазоні змінювати характеристику амортизатор. Оскільки не складає великої праці зробити клапан з керованою площею пропускних отворів, такий амортизатор є зручним виконавчим пристроєм.

Швидкодія такого амортизатора досить висока, воно обмежується можливостями перемикаючого механічного пристрою клапана. Однак при роботі клапанів, навіть з отворами, що регулюються, спостерігається нестійке гасіння коливань.

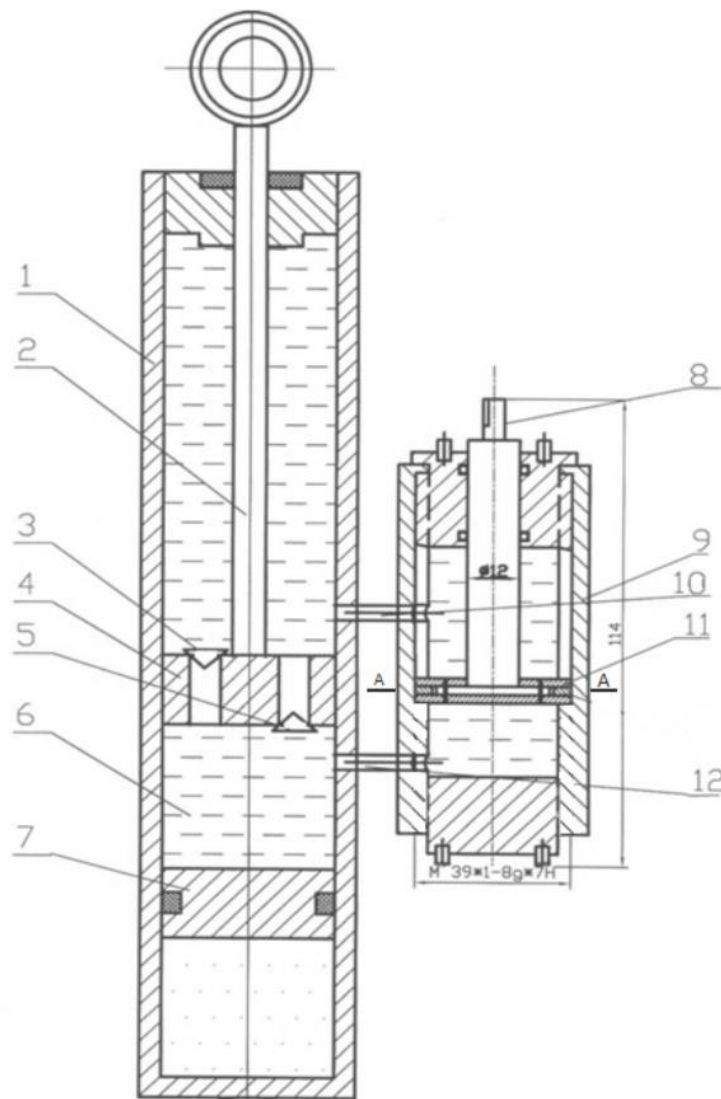


Рис. 2.3 - Конструкція перепускного клапана для регульованого амортизатора з додатковою мембранною камерою

2.3. Дослідження витікання рідини через отвори мембрани перепускного клапана регульованого амортизатора

Основним завданням дослідження є визначення витрати рідини та ефективності гасіння гідравлічного удару під час відкриття перепускного клапана мембранного типу, використаного у регульованому амортизаторі.

Під час експериментальних досліджень при виборі матеріалу мембрани оцінювали межу витривалості, модуль пружності та корозійну стійкість матеріалу, при цьому були використані гідравлічні рідини згідно з виданими на них сертифікатами.

Отвори (пори) мембрани розташовують на рівних відстанях один від одного вздовж кола мембрани (рис. 2.4), виходячи з її міцності для витримування тиску під час гідравлічного удару (20 МПа), за умови збереження сумарної площі отворів для різних діаметрів і мінімального діаметра $d \geq 0,100$ мм через частинки зношування.

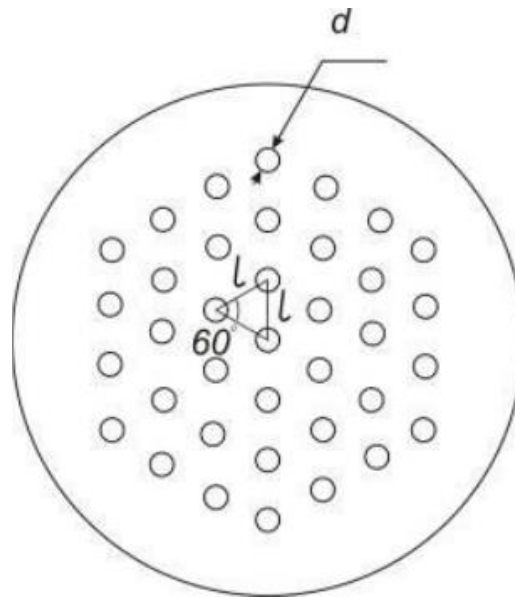


Рис. 2.4 - Мембрана з отворами

Під час експериментальних досліджень при виборі матеріалу мембрани оцінювали такі властивості:

- механічні та фізичні властивості;
- межа витривалості матеріалу;
- модуль пружності матеріалу;
- межа витривалості матеріалу при випробуванні на вигин з симетричним циклом навантаження;
- корозійна стійкість матеріалу.

Під час експерименту в лабораторії використовувались гідравлічні рідини згідно з виданими на них сертифікатами.

Отримані результати дослідження витрати рідини через отвори мембрани, тиску під час гідроудару залежно від параметрів мембрани представлено в табл. 2.1-2.2.

Таблиця 2.1.

Результати експериментального дослідження витрати рідини через отвори
мембрани

Кількість отворів (шт.)	Діаметр мембрани (D, мм)	Діаметр отворів (d, мм)	Товщина мембрани δ (мм)	Витрата робочої рідини $Q, (\text{л/хв.})$
7	20	1,546	1,0	9,81
			1,5	9,88
			2,0	9,94
19	20	0,938	1,0	9,83
			1,5	9,90
			2,0	9,96
37	20	0,672	1,0	9,82
			1,5	9,92
			2,0	9,96
61	20	0,522	1,0	9,80
			1,5	9,91
			2,0	9,95
91	20	0,428	1,0	9,67
			1,5	9,72
			2,0	9,76
127	20	0,364	1,0	9,59
			1,5	9,63
			2,0	9,66
169	20	0,3151	1,0	9,24
			1,5	9,38
			2,0	9,42

Таблиця 2.2.

Результати експериментального дослідження тиску під час гідроудару залежно від параметрів мембрани

Кількість отворів (шт.)	Діаметр мембрани (D, мм)	Діаметр отворів (d, мм)	Товщина мембрани, δ (мм)	Тиск під час гідроудару, МПа
7	20	1,546	1,0	1,3541
			1,5	1,3562
			2,0	1,3576
19	20	0,938	1,0	1,3370
			1,5	1,3386
			2,0	1,3510
37	20	0,672	1,0	1,3221
			1,5	1,3237
			2,0	1,3359
61	20	0,522	1,0	1,3185
			1,5	1,3202
			2,0	1,3315
91	20	0,428	1,0	1,3218
			1,5	1,3239
			2,0	1,3258
127	20	0,364	1,0	1,3268
			1,5	1,3279
			2,0	1,3298
169	20	0,3151	1,0	1,3308
			1,5	1,3316
			2,0	1,3323

Результати експериментального дослідження витрати рідини через отвори мембрани (рис. 2.5) показали, що витрата рідини має оптимум при кількості отворів 37, при цьому витрата рідини підвищується зі збільшенням товщини мембрани.

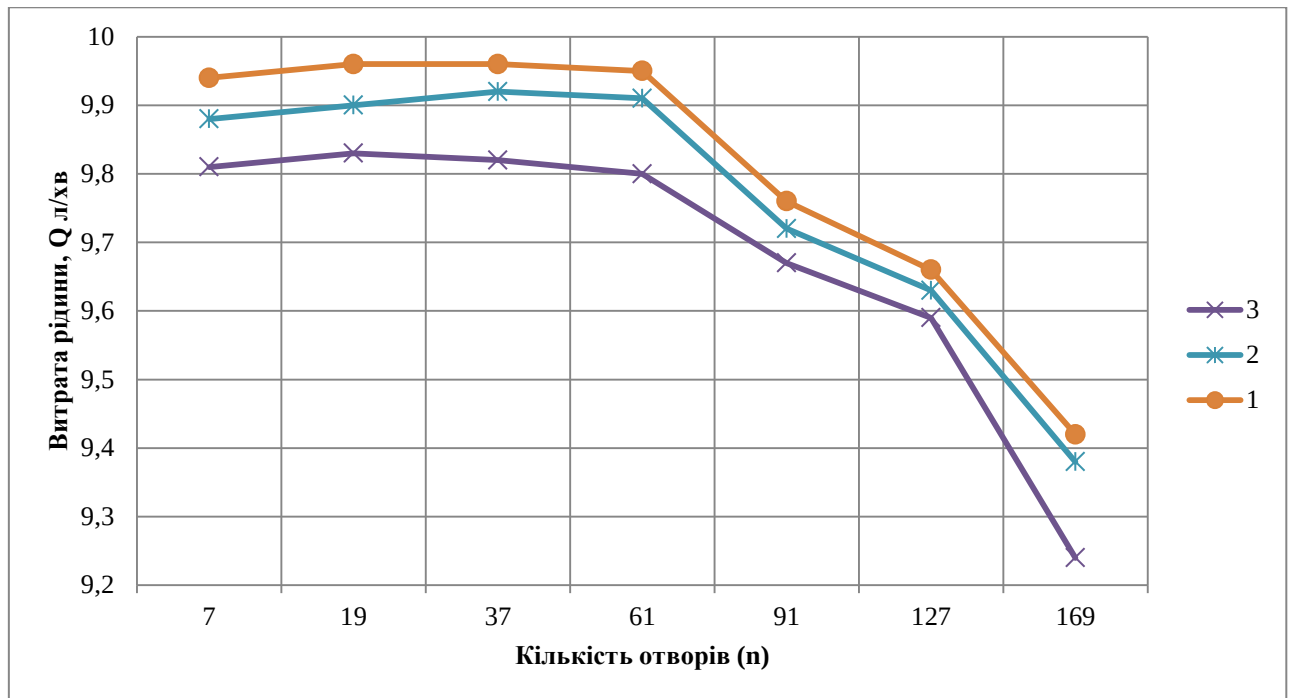


Рис. 2.5 - Залежності витрати рідини через мембрани від кількості та діаметра отворів:

1 - товщина мембрани 1,0 мм; 2 - товщина мембрани 1,5 мм; 3 - товщина мембрани 2,0 мм

Результати експериментального дослідження гідравлічного удару в залежності від параметрів мембрани показали (рис. 2.6), що із зменшенням діаметра отворів від 1,546 до 0,315 мм та товщини мембрани від 1,0 до 2,0 мм ефективність гасіння тиску підвищується на 2,2-2,7%.

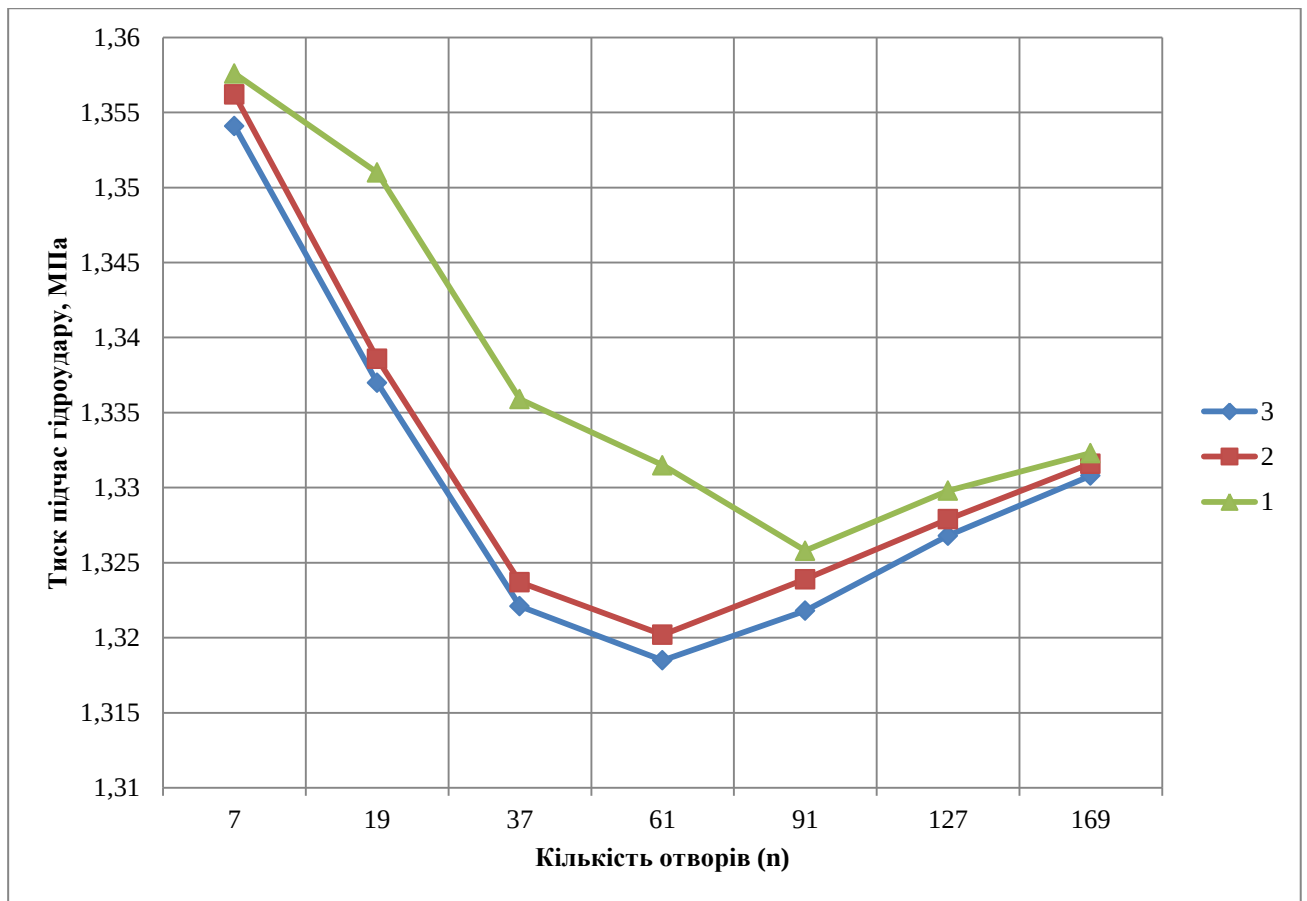


Рис. 2.5 - Залежність тиску підчас гідроудару від кількості та діаметра отворів:
 1 - товщина мембрани 1,0 мм; 2 - товщина мембрани 1,5 мм; 3 - товщина мембрани 2,0 мм

Аналіз проведених теоретичних та експериментальних досліджень запропонованої конструкції дозволив визначити такі параметри мембрани: зовнішній діаметр 20 мм, діаметр отворів 0,672 мм, кількість отворів 37.

Випробування перепускного клапана мембранного типу проводилися на лабораторних стендах.

Висновки до розділу

- Розроблено мехатронну систему управління опором гідравлічного амортизатора;
- Розроблено конструкцію перепускного клапана гідравлічного амортизатора із змінною характеристикою опору;
- Оптимізовано гідравлічні характеристики мембранного вузла керованого гідравлічного амортизатора.

РОЗДІЛ 3. Визначення економічного ефекту від виробництва автомобіля з мехатронною системою управління активною підвіскою

Внаслідок впровадження мехатронної системи управління активною підвіскою, яка включає амортизатор з можливістю регулювання його опору реально досягається таке:

- підвищується комфортність та безпека водія та руху автомобіля;
- здійснюється підтримка водія при керуванні автомобілем у критичних ситуаціях;
- зберігається задана водієм траєкторія руху автомобіля у всіх режимах: повне гальмування, часткове гальмування, рух накатом, прискорення, гальмування двигуном;
- підтримується стабільність руху автомобіля під час критичного керування.

Очікуваний річний економічний ефект розраховується за рахунок підвищення ціни автомобіля з підвищеною комфортністю за такою формулою:

$$E=[B_1*(D*N+1-N)-B_2]*A_2, \quad (3.1)$$

де B_1 та B_2 – наведені витрати на виготовлення мехатронної системи автомобіля відповідно до базової та нової комфортності, сум ($B_1 = 1$ млн. грн., а $B_2 = 1,7$ млн. грн.);

D – коефіцієнт підвищення комфортності, визначається як відношення комфортності нового автомобіля до комфортності автомобіля базової комплектації, але не вище за норматив;

N – питома вага нового автомобіля у загальному випуску автомобіля цієї групи, під час експлуатації яких може бути реалізована досягнута комфортність (0,6 – 0,8);

A_2 – очікуваний річний випуск автомобілів, тис. штук.

Величина нормативів коефіцієнтів D та H залежить від технічного рівня кінцевої продукції, а також від структури споживання у різних видах кінцевої продукції. Нормативні величини коефіцієнтів D та H встановлені у збірниках нормативно – довідкових матеріалів (табл.3.1.). Заходи підвищили комфортність у 1,2 рази.

Таблиця 3.1.

Вихідні дані для розрахунку економічного ефекту

Показник	Автомобіль		Показник	Автомобіль	
	старий	новий		старий	новий
Річний випуск, тис. шт.	8,0	8,0	Коеф. підвищення комфортності прийняти для розрахунку	-	1,2
Питома вага в загальному випуску (потреби даного автомобіля при експлуатації яких може бути досягнута комфортність	-	0,2	Наведені витрати при виробництві мехатронної системи, млн. грн.	1	1,3

Виходячи з даних наведених вище очікуваний річний економічний ефект від підвищення комфортності становив:

$$E=[1*(1,2*0,7+1-0,2)-1,3]*8000 = 27,2 \text{ млн. грн.}$$

Висновки до розділу.

Розрахований очікуваний річний економічний ефект від впровадження мехатронної системи управління підвіскою легкового автомобіля та підвищення комфортності становитиме 27,2 млн. грн., за річної програми 8000 амортизаторів.

ВИСНОВКИ

1. Розроблено мехатронну систему управління підвіскою в якій встановлені гідравлічні амортизатори, з додатковим клапаном, що змінює їх опори в залежності від стану дороги;
2. Розроблено конструкцію перепускного клапана гідравлічного амортизатора із змінною характеристикою опору.
3. Оптимізовано гідравлічні характеристики мембранного вузла керованого гідравлічного амортизатора при різному перекритті отворів перепускного клапана.
4. Очікуваний річний економічний ефект від впровадження мехатронної системи управління підвіскою легкового автомобіля та підвищення комфортності становитиме 27,2 млн. грн., за річної програми 8000 амортизаторів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ ISO 1219-1:2018: "Приводи гідравлічні і пневматичні та їхні елементи. Графічні умовні позначки та принципові схеми".
2. ДСТУ 2947-94: "Підвіска автомобіля. Терміни та визначення". Цей стандарт містить визначення та терміни, пов'язані з підвіскою автомобіля, включаючи компоненти, такі як амортизатори.
3. Загальні принципи діагностування електронних систем управління автомобілів: навч. посіб./ О.Ф. Дашченко, В.Г. Максимов та ін.; за ред. М.Б. Копитчука. О.: Наука і техніка, 2012. – 392 с.
4. Біленко І.І. Система управління автомобілів(навчальний посібник) О.І Біленко; В.П. Пісарев. Харків. 2005.- 363 с.
5. Мигаль В,Д. Мехатронні та телематичні системи автомобіля: навч. посібник. – Х.: Майдан, 2017. – 314 с.
6. Ткачук В. І. Електромеханотроніка. Підручник — Львів. Видавництво Львівської політехніки - 2006 - 440 с.
7. Сахно В.П. Експлуатаційні властивості автотранспортних засобів. В 3 частинах. Частина 2. Плавність ходу та прохідність автотранспортних засобів.— В. П. Сахно, В. М. Поляков, А. В. Костенко та ін. — Донецьк : Ноулідж, 2014. — 354 с.
8. Рудасьов В.Б., Редчиць В.В., Коробочка О.М. Автомобіль. Теорія експлуатаційних властивостей.—учбовий посібник для студентів вузів фаху «Автомобілі і автомобільне господарство». -Дніпропетровськ: «Системні технології», 2000. –287с.
9. Антощенков В.М. Трактори та автомобілі. Ч.4. Робоче, додаткове і допоміжне обладнання Харків, 2016. 164 с.
10. Водяник І.І. Експлуатаційні властивості тракторів і автомобілів Київ: Урожай, 1994. 224 с.
11. Бойко М.Ф. Трактори та автомобілі. Ч.2. Електрообладнання Київ: Вища школа, 2011. 180с.

12. Білоконь Я.Ю. Окоча А.І., Войцехівський С.О. Трактори та автомобілі Київ: Вища освіта, 2003. 560 с.
13. Кісліков В. Ф. Будова й експлуатація автомобілів: Підручник 6-те вид. / В. Ф.Кісліков, В.В. Лущик. Київ Либідь, 2006. 400 с.
14. Fujita, Hirohisa. "Automotive Engineering Exposition." Seikei-Kakou 28, no. 12 (November 20, 2016): 498–500. <http://dx.doi.org/10.4325/seikeikakou.28.498>.
15. Chang, Jae Kyun. "Automotive Systems Engineering." IFAC Proceedings Volumes 41, no. 2 (2008): 12061–64. <http://dx.doi.org/10.3182/20080706-5-kr-1001.02041>.
16. Weber, Herbert, and Manfred Broy. "Systemorientiertes Automotive Engineering." Informatik-Spektrum 32, no. 3 (March 27, 2009): 206–13. <http://dx.doi.org/10.1007/s00287-009-0337-6>.
17. СП 4616-88 Санітарні правила по гігієні праці водіїв автомобілів. [Електронний ресурс]. – Режим http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=47417
18. John C. Dixon, John E. Dixon. The Shock Absorber Handbook, 2nd Edition. Wiley,- 2008. p. 432. ISBN: 978-0-470-51642-3
19. Бороденко Ю.М., Дзюбенко О.А., Биков О.М. Діагностика мехатронних систем автомобіля. Харків: ХНАДУ, 2015. 263 с.
20. Електронні системи управління / Електронний інформаційний ресурс мережі інтернет, режим доступу: <https://www.autoezda.com/electr/.html>
21. Дослідження автомобільної підвіски/ Електронний інформаційний ресурс мережі інтернет, режим доступу: https://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPIPress/2859/1/vestnik_HPI_2006_21Mikhlin_Issledovaniye%20dinamiki.pdf.
22. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів. / Київ: Знання-Прес, 2003. 511 с.
23. Сажко В.А. Електричне та електронне обладнання автомобілів. К.: Каравела, 2004.-304с.