

Шифр «Торсион»

Корекція експлуатаційних параметрів підвіски під вимоги замовника

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	4
2 АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ ПІДВІСКИ АВТОМОБІЛЯ ТА ЇЇ КОМПОНЕНТІВ..	7
2.1 Короткі відомості про підвіску автомобіля.....	8
2.2 Коливання і параметри коливань.....	9
2.3 Система пружних елементів автомобіля.....	10
2.4 Параметри пружних елементів підвіски.....	11
2.5 Пристрої гасіння коливань в підвісці автомобіля – амортизатори.....	12
3 МОДЕЛЮВАННЯ В СИСТЕМІ SIMULINK.....	21
3.1 Математична модель змушених коливань двомасової системи.....	21
3.2 Модель змушених коливань двомасової системи в системі Simulink.....	23
4 РЕКОМЕНДАЦІЇ З ВИБОРУ ПАРАМЕТРІВ ПІДВІСКИ.....	28
ВИСНОВКИ.....	30
ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	31

ВСТУП

В останні роки при конструюванні автомобілів велика увага приділяється проблемам ефективності роботи автомобільних підвісок, оскільки вони повинні забезпечувати хорошу керованість і стійкість автомобіля, а також високу плавність ходу в широкому діапазоні різних умов. Підвіскою автомобіля називається сукупність деталей, що забезпечують пружний зв'язок між кузовом (рамою) і колісьми автомобіля, зменшення динамічних навантажень на кузов і колеса, і загасання їхніх коливань, а також регулювати положення кузова автомобіля під час руху.

Основними вимогами, пропонованими до підвіски, є: пружна характеристика підвіски повинна забезпечувати високу плавність ходу; кінематична схема повинна створити умови для можливої малої зміни колії й кутів установки коліс; оптимальна величина загасання коливань кузова й коліс; надійна передача від коліс кузову або рамі поздовжніх і поперечних зусиль і моментів; мала маса елементів підвіски й особливо невідрахованих частин; достатня міцність і довговічність деталей підвіски й особливо пружних елементів, що ставляться до числа найбільш навантажених частин підвіски. Плавність ходу, яка визначає комфортабельність, є найважливішою властивістю автомобіля, що впливає як на безпеку руху, так і на тривалість експлуатації підвіски автомобіля. Високий рівень техніки, сучасні теорії автомобіля і систем автоматичного управління, а також накопичений досвід проектування і експлуатації підвіски дозволяють розробити принципово нові автомобільні підвіски - активні або адаптивні. Такі підвіски здатні оперативно змінювати свої властивості відповідно зовнішніх умов, але вони досить дорогі і ними оснащують головним чином автомобілі преміум-класу. Для звичайних автомобілів оперативна адаптація неможлива. Інші види адаптацій (сезонна, під великий обсяг, вид перевезень та ін.) для звичайних автомобілів можлива шляхом застосування різних комбінацій «елемент жорсткості - амортизатор». Цьому завданні присвячена дана робота.

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Великий різновид випущених типів автомобілів, типів кузовів – це реакція автовиробників на запити ринку. Автовласники бажали б мати автомобілі цілком універсальними, придатними для перевезення і вантажів і пасажирів, в місті і на трасі, здатними рухатися і в бездоріжжі і на дорогах з удосконаленим покриттям. З технічних і економічних причин це недоцільно або просто неможливо. Тому автомобілі виробляють різні і класифікують їх за різними ознаками, в тому числі за призначенням. Адаптації потребують автомобілі навіть в одній групі. Мало того, окремі автомобілі також потребують адаптації; більшою мірою це стосується ходової частини, а саме підвіски. Виробник, як правило, рекомендує використовувати оригінальні компоненти підвіски з усередненими показниками, проте вони не завжди влаштовують споживача. Причин для зміни параметрів підвіски кілька. Це зміна характеру і розміру партії вантажу, поліпшення комфортабельності, зміна дорожнього просвіту, розміру шин, сезонний фактор і т.д. До того ж власник автомобіля може використовувати компоненти підвіски не обов'язково оригінальні, а інших виробників. На думку фахівців і автоаматорів з численних автомобільних форумів, на СТО необхідно мати зрозумілу процедуру підбору компонентів під вимоги замовника щодо характеристики підвіски. Вимоги різні: в одному випадку, на думку автомобіліста, підвіска дуже м'яка на шкоду керованості, в іншому випадку навпаки, занадто жорстка і не дозволяє реалізувати потенціал комфорту. Процедура підбору необхідна і в ряді інших випадків, наприклад, коли з якихось причин необхідно поставити на ліве і праве колесо однієї осі компоненти з різних партій або різних виробників, коли стоїть завдання при установці коліс іншого розміру зберегти колишній комфорт і керованість, адаптувати підвіску під погані дороги, замінити елемент, що відмовив та ін.

Необхідно відзначити, що відсутня єдина класифікація і правила вибору компонентів підвіски. Наприклад, щоб вибрати пружину підвіски автомобіля

Volkswagen потрібні такі відомості: вид підвіски (передня - задня), ваговий клас підвіски (13 значень), вид пакету (3 значення: стандарт, погані дороги, спорт).

Таблиця 1. Пружини передньої підвіски автомобіля Volkswagen Golf 4 [1]

Color	P/N	weight code	weight range	Sport Y/N
1 violet 5 yellow	1J0 411 105 AK	PR-1GD/J62	566-600	y
3 green 1 brown	1J0 411 105 J	PR-G76/L24	596-630 KG	y
1 violet 3 yellow	1J0 411 105 AH	PR-1GD/J63	601-635	y
1 pink	6N0 411 105 F	PR-1GC/U26; PR-1GJ/U30; PR-1GG/V75	616-645	n
1 violet 4 yellow	1J0 411 105 AJ	PR-G76/L13	631-670 KG	y
1 violet 4 yellow	1J0 411 105 AJ	PR-1GD/J64	636-675	y
1 green 2 blue	1J0 411 105	PR-1GC/U27; PR-1GJ/U31; PR-1GG/V76	646-670	n
1 green 4 blue	1J0 411 105	PR-G28/L05	646-670	n
1 pink 1 green	357 411 105 S	PR-1GC/U27; PR-1GJ/U31; PR-1GG/V76	646-670	n
1 pink 2 green	357 411 105 T	PR-1GC/U28; PR-1GJ/U32; PR-1GG/V77	671-695	n
1 violet 2 white	1J0 411 105 AE	PR-G28/L29	671-700	n
2 green 4 white	1J0 411 105 BS	PR-G76/L34	671-710 KG	y
1 violet 2 pink	1J0 411 105 AM	PR-1GD/J65	676-715	y
1 violet 4 green	1J0 411 105 BF	PR-1GD/J65	676-715	y
3 green 2 white	6N0 411 105 D	PR-1GC/0JA	686-715	n
2 green 2 blue	1J0 411 105 C	PR-1GC/U29; PR-1GJ/U33; PR-1GG/V78	696-730	n
2 pink 1 green	357 411 105 AA	PR-1GC/U29; PR-1GJ/U33; PR-1GG/V78	696-730	n
1 violet 1 pink	1J0 411 105 AL	PR-G76/L21	711-750 KG	y
1 green 2 white	1H0 411 105 C	PR-1GC/0JB	716-755	n
1 violet 1 pink	1J0 411 105 AL	PR-1GD/J66; PR-1GD/J29	716-765; 720-760	y
1 pink 5 blue	1J0 411 105 BB	PR-1GD/J66; PR-1GD/J29	716-765; 720-760	y
2 white 4 blue	1J0 411 105 CL	PR-G77/L46	721-750	n
2 violet 1 yellow	1J0 411 105 BG	PR-G82/L20	721-755	n
2 violet 2 pink	1J0 411 105 BK	PR-1GC/U25; PR-1GJ/U34; PR-1GG/V79	731-760	n
2 violet 2 pink	1J0 411 105 BK	PR-G28/L10	731-760	n
2 pink 2 green	357 411 105 AB	PR-1GC/U25; PR-1GJ/U34; PR-1GG/V79	731-760	n
2 blue 3 white	1J0 411 105 CE	PR-G76/L08	751-780 KG	y
1 violet 1 yellow	1J0 411 105 AF	PR-G82/L06	756-795	n
1 green 3 white	1H0 411 105 D	PR-1GC/0JC	756-800	n
1 violet 2 yellow	1J0 411 105 AG	PR-G28/L11	761-791	n
2 green 1 brown	1J0 411 105 G	PR-1GD/J30	761-795	y
2 blue 2 white	1J0 411 105 CD	PR-G76/L39	781-830 KG	y
2 blue 2 white	1J0 411 105 CD	PR-G28/L39	781-830 KG	n

Для автомобіля ВАЗ необхідно знати лише вид підвіски (передня - задня) і клас жорсткості (клас А або клас Б).

Продавці запасних частин рекомендують вибирати пружини по жорсткості, за розмірами та по марці автомобіля. У практиці роботи підприємств автосервісу також відсутні рекомендації щодо підбору пружин з вимірюванням параметрів, які формують властивості коливальної системи.

Схожим чином вибираються амортизатори. Наведемо типові рекомендації від київської фірми Ріскон за вибором амортизаторів [2]. Пропонується враховувати наступні фактори.

- **Стиль їди.** Варіант для шанувальників агресивного драйву абсолютно не підходить водіям, що рухаються розмірено і спокійно. Для жорстких умов підбирайте стійки з поліпшеним зусиллям ступеня відбою і стиснення. В межах міста можна обмежитися стандартними масляними стійками.
- **Особливості заміни.** Не можна залишити газові передні стійки амортизаторів, а задні замінити масляними. Відмінність характеристик і експлуатаційних параметрів істотно вплине на керованість авто. Тому важливо міняти передні і задні стійки амортизаторів одночасно на деталі одного типу.
- **Тип деталі.** Уважно вивчивши характеристики газових, масляних і газо-масляних виробів, ви легко визначите варіант, що підходить для вас.
- **Конструктивні особливості автомобіля.** Тоді заміна розхідних деталей буде проведена без проблем і труднощів. Рекомендуємо онлайн підбір автозапчастин по віп номеру, щоб безпомилково вибрати потрібні стійки.
- **Параметри стандартних амортизаторів,** встановлених виробником. Як довго вони вам прослужили, наскільки комфортним був рух? Відповівши на ці питання, ви зробите вибір, купити амортизатори такого ж виду або віддати перевагу іншому типу, виробнику.

Як бачимо, тут також при виборі амортизаторів існують лише загальні рекомендації, а параметри амортизатора, що формують якість коливальної системи, не враховуються. Звідси випливає висновок, що при випадковому наборі вихідних даних неможливо отримати коливальну систему з заданими характеристиками.

Завданням даного дослідження є аналіз параметрів, що визначають властивості підвіски і розробка рекомендацій щодо вибору компонентів підвіски відповідно до вимог власника автомобіля в умовах експлуатації.

2 АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ ПІДВІСКИ АВТОМОБІЛЯ ТА ЇЇ КОМПОНЕНТІВ

Рух автомобіля по дорозі супроводжується безперервними коливаннями його кузова й коліс. Зі збільшенням дорожніх нерівностей і швидкості руху інтенсивність цих коливань збільшується. Для зв'язку коліс і кузова автомобіля й додання коливанням більш сприятливого характеру служить підвіска. Вона включає пружний, що гасить і направляючий пристрій .

Пружний пристрій знижує вертикальні прискорення й динамічні навантаження, збільшуючи переміщення кузова й коліс. На легкових автомобілях як пружний пристрій звичайно використовуються спіральні пружини, але в деяких випадках застосовують пневматичні пружні елементи.

Пристрій, що гасить, знижує розмахи й прискорення коливань, застосовують щоб дозволити підвищити плавність руху й знизити динамічні навантаження. В якості пристрою що гасить коливання застосовують гідравлічні амортизатори двосторонньої дії. Пружини також являється пристроєм що гасить коливання.

Основними параметрами підвіски є жорсткість пружного пристрою, й динамічний опір всіх її елементів, що гасять коливання. Їх звичайно називають параметрами підресорювання автомобіля. На підвищення плавності руху й зниження динамічних навантажень певний вплив робить також і жорсткість автомобільних шин.

При розробці ходової частини пред'являються вимоги, спрямовані на досягнення максимального комфорту водія й пасажирів, забезпечення їхньої безпеки й зниження шуму, що проникає в салон при русі автомобіля по нерівностях дороги. У конструкції ходової частини автомобілів, до яких пред'являються підвищені вимоги відносно комфорту, повинні бути реалізовані передові рішення, що забезпечують найкращий компроміс між пропонованими вимогами.

2.1 Короткі відомості про підвіску автомобіля

При русі на автомобіль діють зовнішні сили й поштовхи з боку дороги (рис.2.1), які викликають його переміщення й коливання уздовж поздовжньої, поперечної й вертикальної осей [3]. При вдалому узгодженні характеристик пружних елементів підвіски й амортизаторів вдається в значній мірі послабити негативну дію цих сил і поштовхів на комфортабельність, безпеку й експлуатаційну надійність автомобіля. При розгляді конструкції підвіски варто завжди розрізняти пружні елементи й систему демпфірування коливань. Ці два компоненти підвіски повинні протистояти зовнішнім силам, знижувати їх і по можливості обмежувати їхню передачу на кузов автомобіля.

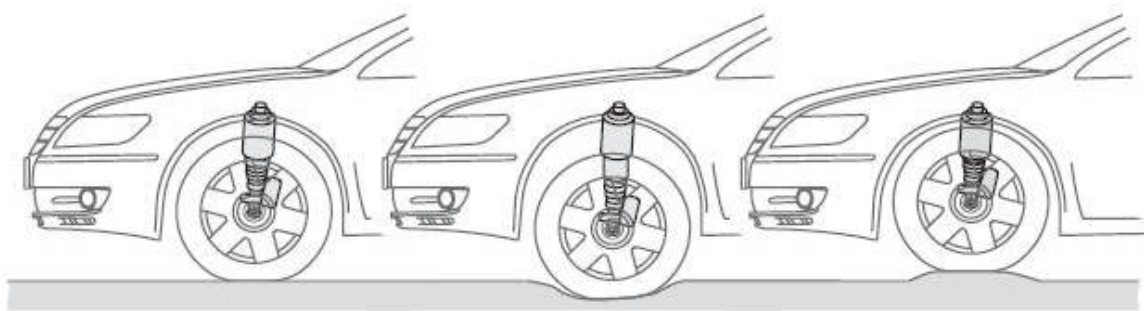


Рисунок 2.1 – Приклад поверхні дороги

Безпека автомобіля забезпечується постійним контактом з дорогою і це є важливою передумовою керування й гальмування автомобіля.

Під комфортабельністю автомобіля розуміється захист пасажирів від впливу коливань, що загрожують їхньому здоров'ю чи створюють неприємне відчуття, а також збереження цілісності перевезеного вантажу.

Експлуатаційна надійність - під цим поняттям мається на увазі захист кузова автомобіля і його агрегатів від високих ударних і вібраційних навантажень.

2.2 Коливання і параметри коливань

Шини, пружні елементи, кузов і сидіння водія утворюють коливальну систему. Ця система може коливатися щодо положення спокою під впливом зовнішньої сили, що виникла, наприклад, при переїзді на нерівності дороги. Коливання тривають доти, поки вони не будуть погашені в результаті дії сил внутрішнього тертя. Коливання характеризуються амплітудою й частотою. При проведенні налаштування підвіски особлива увага приділяється власній частоті коливань кузова. Коливання із частотою менш 1 Гц викликають у багатьох нудоту. При частоті коливань понад 1,5 Гц втрачається відчуття комфорту, а коливання із частотою вище 5 Гц сприймаються як вібрація. Власна частота коливань кузова залежить головним чином від жорсткості пружних елементів і від величини підресореної маси (рис.2.2).

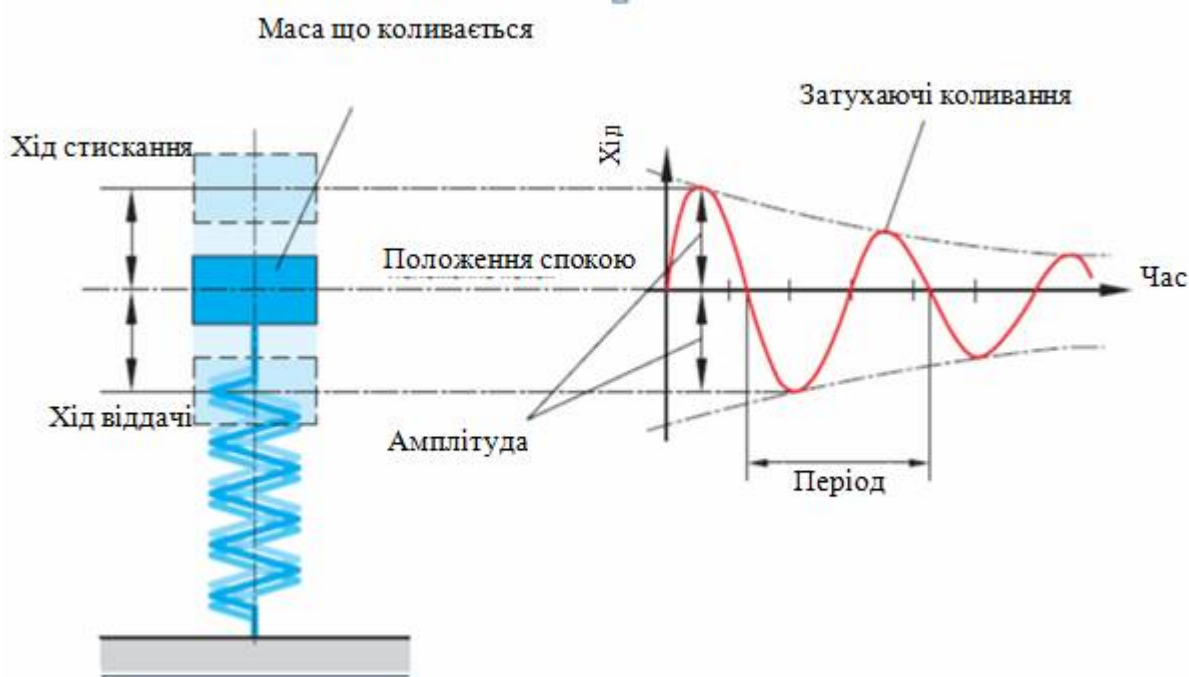


Рисунок 2.2 – Параметри коливання системи

Визначення:

– коливання - рух якої-небудь маси нагору й униз (наприклад, коливання кузова на пружних елементах);

- амплітуда - максимальний хід мас, що коливаються від положення спокою (хід підвіски);
- період - час здійснення одного повного коливання;
- частота - число коливань (періодів) у секунду; одне коливання в секунду відповідає одному герцу (1 Гц);
- власна частота - число вільних коливань маси на пружних елементах у секунду;
- резонанс - він має місце, якщо під дією малих сил порушена система розгойдується до максимальної амплітуди (розгойдування відбувається при наближенні частоти збудливої сили до частоти власних коливань);
- демпфірування - функція, що описує загасаючі коливання.

Більші маси або м'які пружні елементи приводять до низької власної частоти коливань кузова (при більших амплітудах). Малі маси або жорсткі пружні елементи приводять до високої власної частоти коливань кузова (при малих амплітудах). Власна частота коливань коліс автомобіля (власна частота не підресорених мас) перебуває в межах від 10 до 17 Гц.

2.3 Система пружних елементів автомобіля

Система пружних елементів автомобіля складається із шин, пружних елементів (пружин) підвіски й пружин підвіски сидінь. Зусилля з підвіски на кузов передаються в основному через амортизаційні стійки.

В якості пружних елементів застосовуються:

- сталеві листові ресори, гвинтові пружини й торсіони,
- пневматичні елементи циліндричного й тороїдального типу,
- гідропневматичні елементи з поршневими або мембранними гідроаккумуляторами,
- гумові елементи,
- стабілізатори поперечної стійкості,
- комбінації різнотипних елементів.

У конструкції автомобіля розрізняють невідресорені маси (колеса, гальма, трансмісійні вали й маточини з підшипниками коліс) і відресорені маси (кузов автомобіля із приєднаними до нього деталями ходової частини й деталями трансмісії).

При розробці конструкції автомобіля завжди прагнуть по можливості знизити невідресорені маси. Це дозволяє звести до мінімуму вплив цих мас на коливання кузова й підвищити комфортабельність автомобіля за рахунок поліпшення динамічних характеристик підвіски.

Невідресорені маси можуть бути знижені застосуванням:

- легких сплавів як матеріал деталей підвіски,
- легко-сплавних супортів гальмівних механізмів,
- легко-сплавних коліс із утворюючими спиці вирізами й полегшених шин.

2.4 Параметри пружних елементів підвіски

Пружні елементи діляться на металеві і неметалеві. Металеві бувають: ресорні, пружинні, торсійні комбіновані. З металевих пружних елементів саме широке поширення отримали пружини. Якщо встановити пружину в навантажувальний пристрій і вимірювати зміну її довжини в міру збільшення прикладеного зусилля, можна одержати її характеристику. Якщо віднести зміну навантаження до відповідної зміни ходу, то одержимо жорсткість пружини .

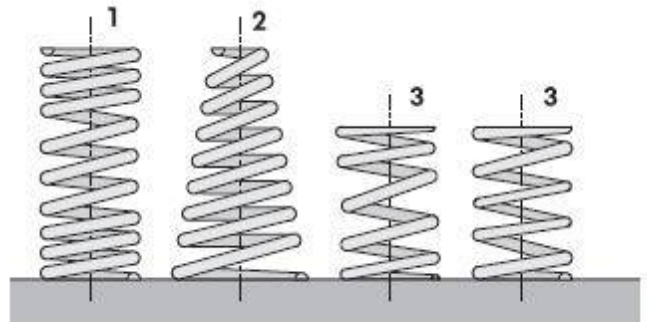
Характеристика жорсткої пружини протікає крутіше, ніж характеристика м'якої пружини. Якщо жорсткість пружини не залежить від ходу у всьому діапазоні його зміни, її характеристика зображується прямою лінією. Якщо жорсткість пружини збільшується в міру її ходу, отже ми маємо справу з прогресивною характеристикою.

Характеристика гвинтової пружини залежить від наступних параметрів:

- діаметра витків,
- діаметра дроту,
- числа витків.

Пружини із прогресивною характеристикою звичайно відрізняються (рис. 2.3):

- змінним кроком витків (1),
- кінчною формою навивки (2),
- змінним діаметром дроту (3),
- комбінацією названих вище ознак.



275_007

Рисунок 2.3 – Конструкція пружини із прогресивною характеристикою

Неметалеві пружні елементи бувають: пневматичні, гідропневматичні, гумові, комбіновані.

З неметалевих пружних елементів саме широке поширення одержали пневматичні пружні елементи. Так само пневматичні пружні елементи мають ряд переваг над металевими (пружинними) пружними елементами.

2.5 Пристрої гасіння коливань в підвісці автомобіля - амортизатори

Амортизатор повинен можливо швидко гасити коливання кузова й коліс автомобіля, перетворювати їхню механічну енергію в тепло. Якщо амортизатори відсутні, виникаючі при русі автомобіля коливання можуть привести до втрати контакту між його колісьми й дорогою. У результаті автомобіль губить стійкість і керованість.

Амортизатори бувають важільні й телескопічні. Важільні амортизатори не знайшли широкого поширення через складність виготовлення й не практичності.

Більше широке розповсюдження одержали телескопічні одно й двохтрубні газомасляного типу (рис. 2.4).

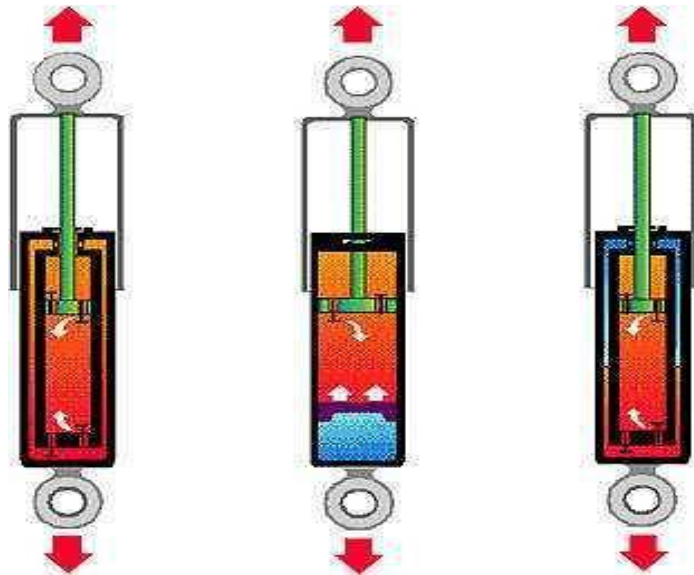


Рисунок 2.4 – Пристрій телескопічний одно й двохтрубного амортизатора газомасляного типу

2.5.1 Однотрубний газомасляний амортизатор

В амортизаторів цього типу робоча й компенсаційна порожнини розташовані в одному загальному циліндрі. Зміни обсягу робочої рідини в результаті її температурного розширення й витиснення штоком поршня компенсуються за рахунок обсягу газової порожнини. Газ у цій порожнині перебуває під тиском від 25 до 30 бар. У поршні амортизатора встановлені дроселюючі клапани ходу стиску й віддачі (рис. 2.5)

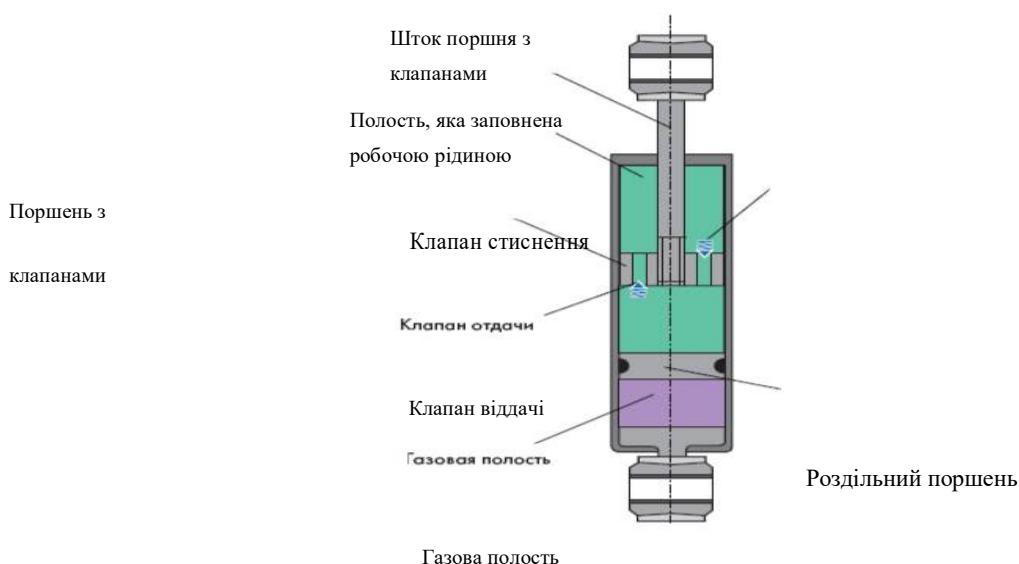


Рисунок 2.5 – Пристрій однострубіного газомасляного амортизатора

2.5.2 Двохтрубний газомасляний амортизатор

Амортизатори цього типу частіше інших зустрічаються в підвісці автомобіля. Сама назва свідчить про те, що його корпус утворений двома розташованими одна в іншій трубами. Внутрішня труба утворює робочий циліндр, що повністю заповнений гідравлічною рідиною. У циліндрі переміщається нагору й униз шток з поршнем, у якому розташовані клапани. Знизу циліндр закритий днищем із клапанами стиску й перепуску. Зовнішня труба утворює компенсаційну порожнину. Ця порожнина заповнена робочою рідиною тільки частково. Обсяг над рідиною заповнений газом. У компенсаційну порожнину перетікає робоча рідина, що витісняється з робочого циліндра. Гасіння коливань виробляється в результаті дроселювання робочої рідини при її перетіканні через клапани, розташовані в поршні й днищі робочого циліндра амортизатора. Клапани утворені гнучкими дисками, гвинтовими пружинами й тарілками із дроселюючими отворами.

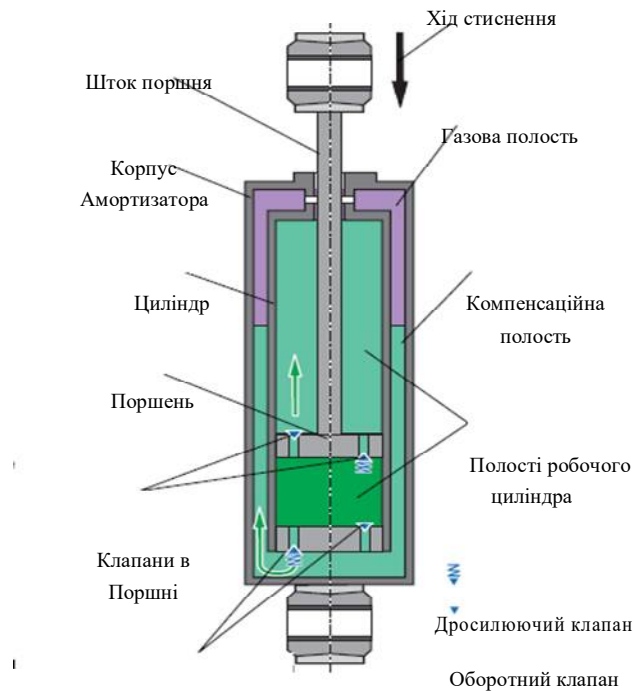


Рисунок 2.6 –

Клапани в дні циліндра
двохтрубного газомасляного
амортизатора (хід стиску)

Конструкція

При ході стиску опір амортизатора визначається дроселюванням рідини в клапані стиску, розміщеному в днищі робочого циліндра, і частково в клапані, установленому в поршні. При ході віддачі опір амортизатора цілком залежить від дроселювання рідини в клапані, розташованому в поршні. Цей клапан чинить дозований опір потоку рідини, що перетікає в нижню порожнину (рис. 2.6).

2.5.3 Настроювання амортизатора

Варто розрізняти демпфірування при ході стиску й при ході віддачі. Опір амортизатора при ході стиску менше, ніж при ході віддачі. Завдяки цьому послабляються удари, передані на кузов при русі автомобіля по нерівній дорозі. При незмінному настроюванні амортизаторів має місце певне співвідношення між комфортабельністю й безпекою руху. На автомобілях підвищеної

комфортабельності застосовуються регульовані амортизатори, що дозволяють змінювати їхнє настроювання при русі. Блок керування амортизаторами дозволяє за частки секунди визначити оптимальне настроювання амортизаторів кожного колеса автомобіля.

Інтенсивність або ступінь демпфірування характеризує, наскільки швидко загасають коливання. Ступінь демпфірування залежить від опору амортизатора й величини підресореної маси. При збільшенні підресореної маси ступінь демпфірування знижується, тобто коливання загасають повільніше. Зменшення підресореної маси приводить до підвищення ступеня демпфірування. Зміна амплітуди ходу підвіски представлено на рис.2.7.

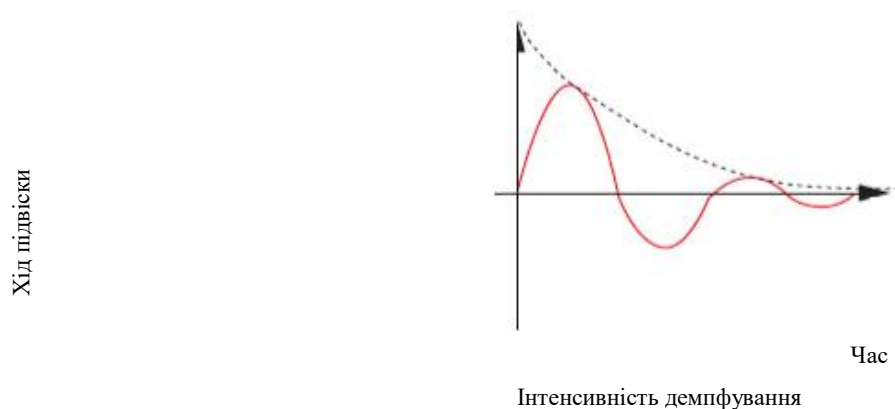


Рисунок 2.7 – Характеристика демпфування

2.5.4 Опір амортизатора

Опір амортизатора вимірюється на спеціальному іспитовому стенді. На цьому стенді амортизатор періодично стискується й розтягується на ту саму величину ходу, причому зміною частоти досягаються різні швидкості цих процесів. Отримані результати вимірів можна представити у вигляді графіків залежності сили опору амортизатора від швидкості його поршня (діаграми F-v). Ці діаграми можуть служити безпосередньо характеристиками амортизаторів. Розрізняють амортизатори із прогресивними, дегресивними й лінійними характеристиками (рис. 2.8 - 2.10).

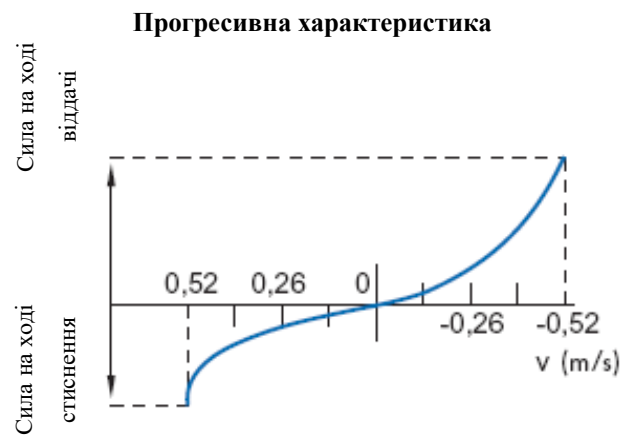


Рисунок 2.8– Прогресивна характеристика демпфування



Рисунок 2.9– Дегресивна характеристика демпфування



Рисунок 2.10 – Лінійна характеристика демпфування

2.5.5 Регулювання опору амортизаторів

Система регулювання опору амортизаторів обробляє сигнали чотирьох датчиків прискорень коліс і трьох датчиків прискорень кузова й оцінює за результатами цієї обробки стан дороги й рухи автомобіля. У результаті виробляється зміна характеристик кожного з амортизаторів відповідно до розрахованої інтенсивності гасіння коливань. При цьому амортизатори працюють на ходах стиску й віддачі як на пів активні компоненти. Безступінчасте регулювання демпфірування виробляється завдяки застосуванню амортизаторів, характеристики яких змінюються за допомогою електричних виконавчих пристроїв. Ці амортизатори убудовані в стійки із пневматичними пружними елементами. Сили опору амортизатора регулюються за допомогою убудованого в нього пропорційно діючого (електромагнітного) клапана. Регулювання виробляється по багато параметричій характеристиці. Зміна опору амортизаторів залежно від характеру руху автомобіля й стану дороги виробляється протягом декількох мілісекунд. Принципова зміна опору амортизаторів виробляється відповідно до так називаного “стратегією підвіски до неба”. Регулювання амортизаторів виробляється залежно від вертикальних прискорень коліс і кузова автомобіля. В ідеальному випадку регулювання здійснюється таким чином, начебто кузов автомобіля підвішений на гаку до неба й пливе над дорогою, практично не повторюючи нерівностей дороги. Так досягається максимальна комфортабельність автомобіля! Високий ступінь демпфірування виходить при малих керуючих струмах. Низький ступінь демпфірування має місце при більших керуючих струмах (рис. 2.11).

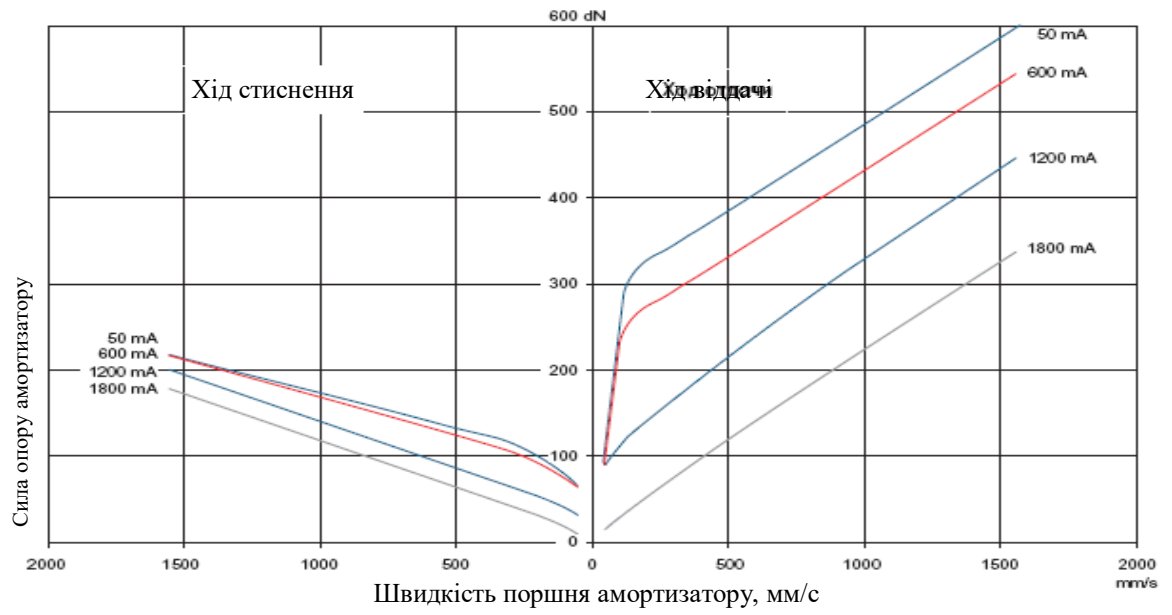


Рисунок 2.11 – Багато параметрична характеристика переднього амортизатора автомобіля Phaeton

3 МОДЕЛЮВАННЯ В СИСТЕМІ SIMULINK

Вивчення впливу величин параметрів компонентів підвіски на її показники натуральним способом є досить трудомістким процесом. Кожне задання нових параметрів пов'язано з розбиранням підвіски, а це демонтаж амортизаційної стійки, її розпружинювання, встановлення параметрів, подальший монтаж. Тому необхідна розробка математичної моделі підвіски, її ідентифікація та проведення досліджень на адекватній моделі.

В умовах СТО ідентифікація моделі може бути проведена двома способами: 1) на стенді з технологією EuSAMA або резонансною технологією; 2) зі збудженням підвіски від руки. У першому випадку підвіска збуджується від опорної поверхні, тобто від майданчиків стенду, у другому випадку оператор натискає на кузов автомобіля над відповідним колесом. В обох випадках при відгуку підвіски реєструються частотно-часові та амплітудні параметри.

Для моделювання поведінки динамічних систем, використовуються ЕОМ. Існує велика кількість алгоритмічних мов, на яких може бути виконаний розв'язок завдання. Вибір однієї або іншої мови програмування залежить від багатьох умов. Часто вирішальну роль виявляє зручність програмування, наявність перевірених математичних методів, легкість виставів результатів моделювання. Такими особливостями володіє пакет MATLAB, що містить у своєму складі інструмент візуального моделювання SIMULINK.

SIMULINK поєднує в собі наочність аналогових машин і точність цифрових обчислювальних машин. SIMULINK забезпечує користувачеві доступ до всіх можливостей пакета MATLAB, у тому числі до великої бібліотеки чисельних методів.

3.1 Математична модель змусених коливань двомасової системи

Для дослідження впливу основних параметрів кузова автомобіля на

вертикальні коливання використовують спрощену модель із двома ступенями волі, у якій дві маси зв'язані пружними й дисипативними зв'язками (рис. 3.1) [4]. Модель описує вертикальні коливання кузова автомобіля з двома типами пружного пристрою – пружини та шини. Шина опирається на майданчик стенду, майданчик здійснює вертикальні синусоїдальні коливання $\eta(t)$ з амплітудою 0,003 м. При побудові моделі скористаємося принципом Даламбера, згідно з яким фізичні об'єкти замінюються силами і реакціями з умовою, що система знаходиться в рівновазі.

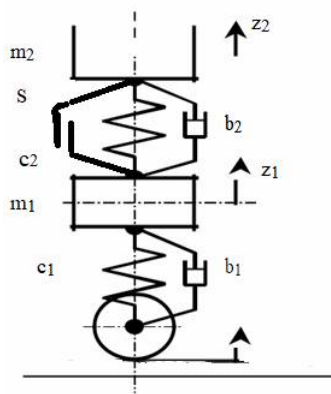


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема

Рівняння руху розглянутої системи при наявності збурювання з боку шляху описується наступними диференціальними рівняннями:

$$m_1 \cdot \ddot{z}_1 + b_1 \cdot \dot{z}_1 + b_2 \cdot (\dot{z}_1 - \dot{z}_2) + s \cdot \operatorname{sgn}(\dot{z}_1 - \dot{z}_2) + c_1 \cdot z_1 + c_2 \cdot (z_1 - z_2) = b_1 \cdot \dot{\eta} + c_1 \cdot \eta; \quad (3.1)$$

$$m_2 \cdot \ddot{z}_2 + b_2 \cdot (\dot{z}_2 - \dot{z}_1) + s \cdot \operatorname{sgn}(\dot{z}_2 - \dot{z}_1) + c_2 \cdot (z_2 - z_1) = 0.$$

де m_1 – неопдресорена маса візка;

m_2 – маса кузова, приведена до одного колеса;

c_1, b_1 – жорсткість і демпфірування в шині;

c_2, b_2 – жорсткість і демпфірування в пружині і в амортизаторі;

$z_i, \dot{z}_i, \ddot{z}_i$ – узагальнені координати і їх похідні за часом.

Перетворимо рівняння руху до виду:

(3.2)

$$\ddot{z}_2 = -\frac{1}{m_2}(b_2 \cdot (\dot{z}_2 - \dot{z}_1) + s \cdot \operatorname{sgn}(\dot{z}_2 - \dot{z}_1) + c_2 \cdot (z_2 - z_1)).$$

У якості збурювання використовуємо синусоїдальну нерівність. Амплітуду нерівності A вибираємо рівній 0,003 м. І вид збурювання і амплітуда відповідають стандарту, прийнятому для стендів EuSAMA.

$$\eta(t) = A \cdot \sin(\omega \cdot t),$$

де ω - частота збурювання.

Частоти ω будемо задавати в діапазоні частот 0...125 1/с, що також реалізуються на стенді EuSAMA.

Побудуємо описану вище модель у середовищі SIMULINK.

3.2 Модель змущених коливань двомасової системи в системі Simulink

Процес побудови моделі в системі SIMULINK представляє послідовність вибору необхідних блоків з відповідних бібліотек, і з'єднання їх зв'язками.

Звичайно для моделювання динамічної системи використовують рівняння руху у вигляді (3.2). Побудова моделі кожного рівняння починаємо із суматора, що має стільки входів, скільки членів містить права частина рівняння. Для першого рівняння це суматор *Sum1* (рис. 3.2). Входи суматора можуть мати як позитивне значення, так негативне. Нашому випадку маємо два рівняння, відповідно процес повторюємо для другого рівняння.

Далі встановлюємо зв'язку між входами й виходами відповідних блоків, застосовуючи, де необхідно, додаткові лінійні перетворювачі й суматори.

Для обчислення похідної переміщення нерівності використовується блок диференціювання.

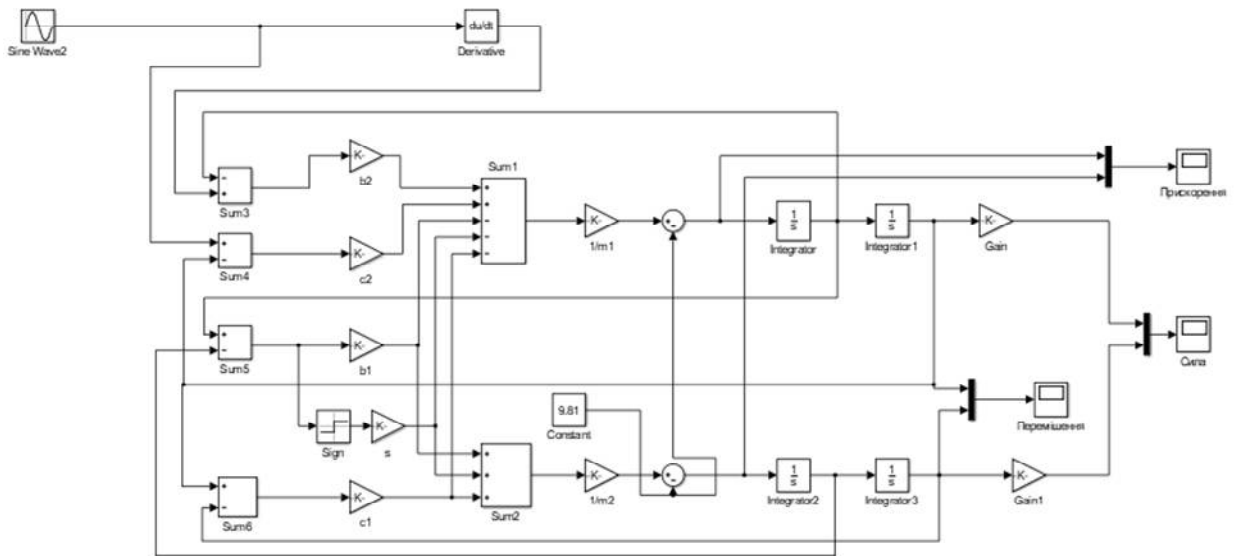


Рисунок 3.2 - Блок-схема моделі

Для моделювання використані наступні вихідні дані з таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для розрахунку

Показник	Значення	Одиниця виміру
Амплітуда нерівності	$A = 0,003$	м
Маса кузова	$m1 = 370$	кг
Жорсткість пружини	$c1 = 35000$	Н/м
Демпфірування амортизатора	$b1 = 1120$	Н*с/м
Сухе тертя в підвісці	$s = 15$	Н*с/м
Підресорена маса	$m2 = 33,3$	кг
Жорсткість шини	$c2 = 350000$	Н/м
Демпфірування шини	$b2 = 50$	Н*с/м

Початок інтегрування – 0 с, кінець інтегрування – 10 с.

Проведемо моделювання для заданих вихідних даних. Приклади отримання деяких величин наведені на рис. (3.3, 3.4).

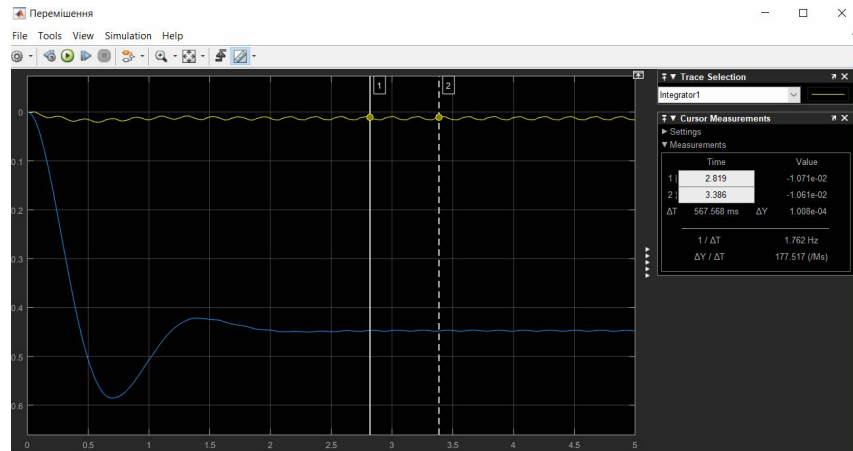


Рисунок 3.3. - Коливання підресореної (синя лінія) і невідресорених мас (жовта лінія) при частоті $\omega = 105 \text{ 1 / с}$.

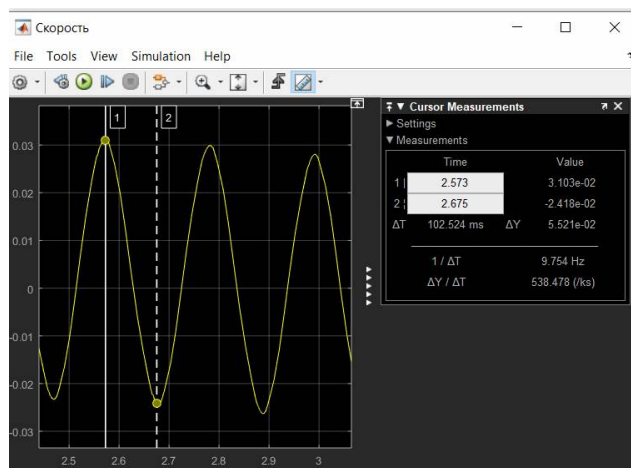


Рисунок 3.4 – Вимірювання розмаху коливань вертикальної сили, що діє на кузов з боку невідресореної маси

Результати моделювання представимо в графічному виді (рис. 3.5, 3.6, 3.7).

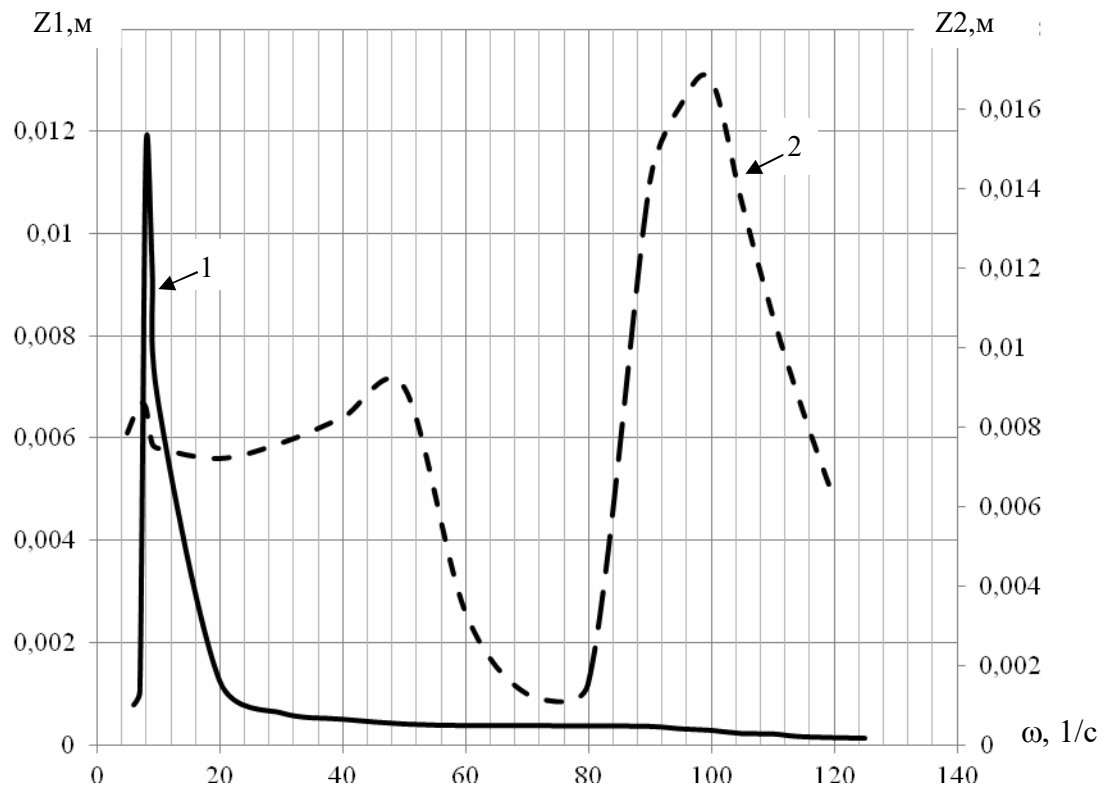


Рисунок 3.5 – Амплітудно – частотна характеристика коливань: 1- переміщення кузова, 2 - переміщення колеса

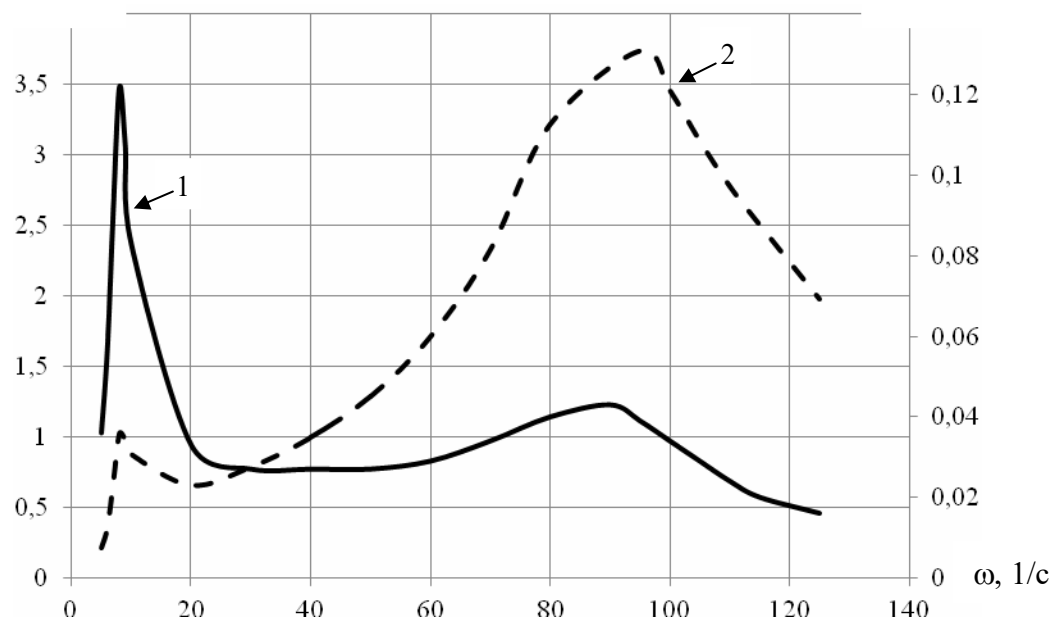


Рисунок 3.6 - Амплітудно – частотна характеристика: 1 – швидкості кузова; 2 – прискорення кузова

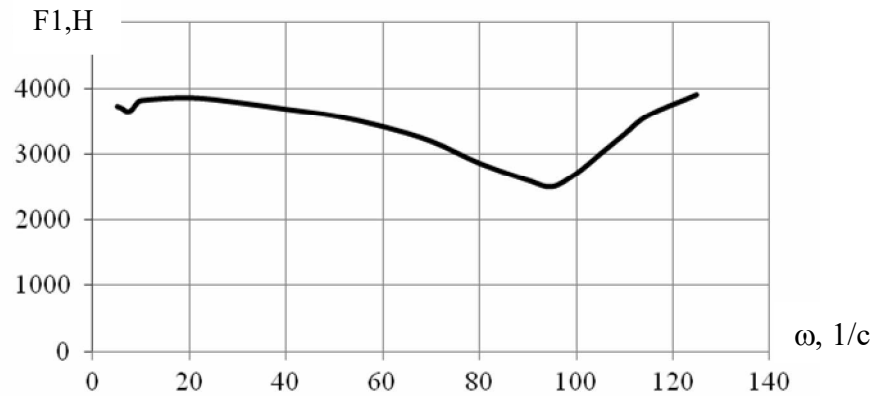


Рисунок 3.7 – Залежність сили тиску колеса на площадку від частоти коливань

Для контролю адекватності моделі були отримані результати випробувань натурального автомобіля Skoda Octavia і зіставлені з результатами моделювання. Контроль проводився по реперних точках амплітудно-частотної характеристики, а саме за параметрами високочастотного і низькочастотного резонансів. Протоколи випробувань автомобіля представлені на рис. (3.8, 3.9).

Протокол випробувань рис. (3.9) був отриманий на стенді SDL 60 BOSCH і тут зафіксовані наступні значення високочастотного резонансу: частота 17 Гц (106,8 1 / с) і амплітуда 3688, Н.

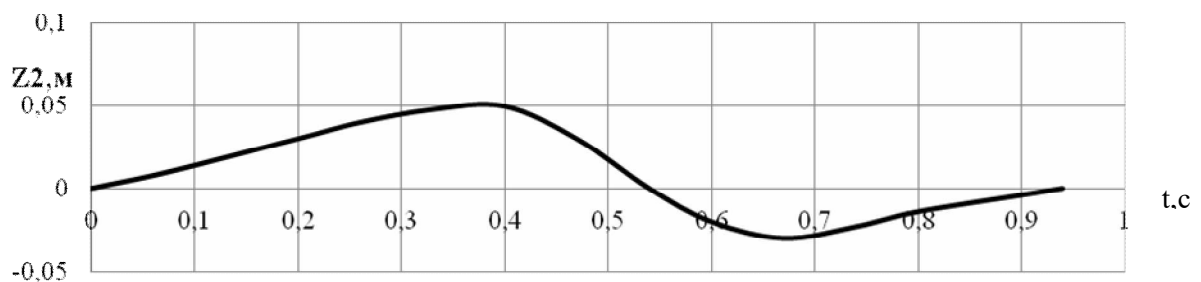


Рисунок 3.8 – Коливання кузова при одиничному збуренні

Для отримання власної частоти низькочастотного резонансу використовувався підхід, запропонований Діраком [5].

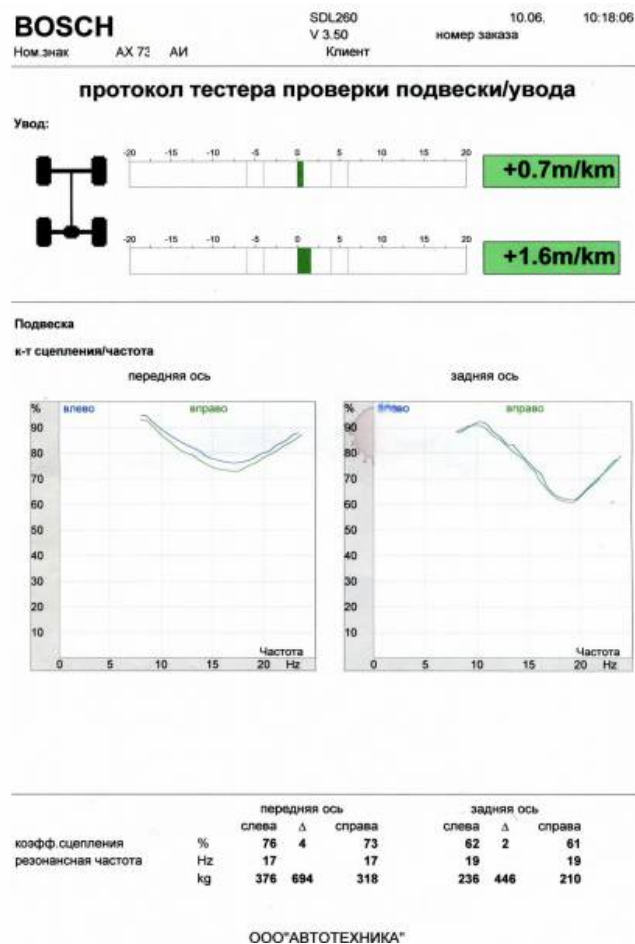


Рисунок 3.9 – Протокол випробувань автомобіля на стенді SDL 60 BOSCH

Ліве колесо порушувалася коротким силовим імпульсом (функція Дірака-Хевісайда) від м'язової сили оператора через важіль довжиною 2,4 м. і записувалися коливання кузова автомобіля над колесом з власною частотою, рис. (3.8). Період коливань - 0,93 с; циклічна частота - 1,075 Гц, кругова частота - 6,75 1 / с. Порівняння з результатами моделювання представлено в таблиці 3.2. Як впливає з таблиці, похибка моделі не перевищує 12 %.

Таблиця 3.2 – Результати розрахунків і випробувань

Вид випробувань			
Модель	7,0	95,0	2594
Натурні випробування	6,75	106,8	2744

4 РЕКОМЕНДАЦІЇ З ВИБОРУ ПАРАМЕТРІВ ПІДВІСКИ

Показником, що визначає коливальні властивості підвіски, є відносний коефіцієнт загасання ψ [6]:

$$\psi = \frac{k}{\sqrt{2c * m}}$$

де k – коефіцієнт опору амортизатора;

c – жорсткість пружного пристрою;

m – маса підресорених частин.

Маса автомобіля, як правило, задана конструкцією автомобіля та умовами перевезень, а коефіцієнт опору амортизатора і жорсткість пружного пристрою підвіски можуть бути адаптовані під бажання замовника. Очевидно, що знаючи величини коефіцієнту опору амортизатора і жорсткість пружини підвіски, можна з легкістю визначити відносний коефіцієнт загасання. Таким чином, процедура адаптації підвіски до експлуатаційних вимог і умов полягає в наступному: визначається потрібний відносний коефіцієнт згасання;

1. визначається потрібний відносний коефіцієнт загасання;
2. попередньо визначають характеристики компонентів підвіски (коефіцієнт опору амортизаторів, жорсткість пружин);
3. знаходять потрібну комбінацію компонентів підвіски, що відповідає значенню відносного коефіцієнту загасання;
4. збирають і випробовують підвіску на плавність ходу;
5. у разі невідповідності показників коректують показники компонентів підвіски.

Отже, для правильного вибору компонентів підвіски необхідно знати відносний коефіцієнт загасання, граничну величину якого можна визначити через допустиму величину віброприскорення і віброшвидкості [7].

Нормативні величини віброприскорення і віброшвидкості отримують з умови забезпечення безпеки водія і пасажирів. Для легкового автомобіля при середній частоті вібрацій 80 Гц і при використанні октавного фільтра

віброприскорення повинно бути не більше 2,23

м/ [REDACTED] а віброшвидкість – $0,56 * 10^{-2}$. При цьому випробування проводяться на стандартній вимірній ділянці дороги з відомими характеристиками, в якості яких виступає кореляційна функція мікропрофілю дороги або спектральна щільність (енергетичний спектр).

ВИСНОВКИ

1. В роботі було виконано аналіз типів підвісок легкових автомобілів. Це дає можливість мати загальне розуміння існуючих варіантів підвісок для подальшого їх дослідження.
2. Аналіз конструкцій та принцип роботи підвіски автомобіля дав змогу визначитись з основними характеристиками, а саме: видами коливань, системою пружних елементів та амортизаторів для можливості корекції параметрів підвіски легкових автомобілів в умовах експлуатації.
3. Для проведення дослідницьких робіт з корекції параметрів підвіски легкових автомобілів слід виконувати моделювання поведінки динамічної систем, якою є легковий автомобіль. В роботі запропонована еквівалентна автомобільної підвіски двохмасова модель у середовищі моделювання MATLAB, що містить у своєму складі інструмент візуального моделювання SIMULINK. Запропонована модель змусених коливань враховує сухе тертя, використання підсистем та підпрограм.
4. Оцінено адекватність моделі, проведено моделювання роботи підвіски при різних значеннях параметрів, які запропоновано використовувати для адаптації показників підвіски до різних вимог.
5. На підставі даних моделювання, запропоновані процедури і параметри адаптації підвіски до експлуатаційних вимог та умов.

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Маркировка пружин Гольф 4. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.drive2.ru/b/491407756532645970/>
2. Какие амортизаторы выбрать для своего автомобиля. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://pickon.in.ua/kakie-amortizatoryi-vyibrat-dlya-svoego-avtomobilya/>
3. Системы пневмоподвесок, часть 1. Регулирование дорожного просвета Audi A6. Устройство и принцип действия. Программа самообучения 242. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: Ошибка! Недопустимый объект гиперссылки.
4. Моделирование в системе SIMULINK. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: mathmod.narod.ru/models/Simul1/Simul1.htm
5. Д. Гроп. Методы идентификации систем. / Д. Гроп, пер. с английского – Мир, Москва, 1979 г., 302 с.
6. Ротенберг Р.В. Подвеска автомобиля. / Ротенберг Р.В. – Изд. 3-е, переработ. и доп. М., «Машиностроение», 1972, стр. 392.
7. СП 4616-88 Санітарні правила по гігієні праці водіїв автомобілів. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=47417