

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АВТОМОБІЛІВ І ТРАКТОРІВ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему: «Дослідження впливу вібрації підвіски автомобіля на водія»

Виконав: студент VI курсу

Спеціальності 274 „Автомобільний транспорт”
(шифр і назва)

Юрій ТИМЕЦЬ

(ім'я та прізвище)

Керівник: Ростислав ПАСЛАВСЬКИЙ

(ім'я та прізвище)

Дубляни 2024

УДК 625.032.821

Тимець Юрій Тарасович. «Дослідження впливу вібрації підвіски автомобіля на водія».

//Магістерська робота. – Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2024. – 62 с.

Розглянуто вимоги, що стосуються підвісок автомобілів. Описано будову пневматичної адаптивної підвіски автомобіля. Описано вплив коливань автомобіля на людину та розглянуто людину, як коливну систему. Проведено експериментальні дослідження миттєвих прискорень кузова та спектру їх частот двох типів автомобілів за допомогою використання цифрового акселерометра. Наведено заходи з охорони праці та пораховано штучне освітлення зони технічного обслуговування. Пораховано економічний ефект при впровадженні процедури розширеної діагностики підвіски на підприємстві.

Табл. 3; рис. 15, бібліогр. джерел 22

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 ПІДВІСКА АВТОМОБІЛЯ.....	7
1.1 Дорожні умови експлуатації	7
1.2 Підвіска автомобіля.....	9
1.3 Система підресорювання.....	11
1.4 Амортизатори	19
2 КОЛИВАННЯ АВТОМОБІЛЯ.....	24
2.1 Вплив коливань на людину	24
2.2 Людина як коливальна система	31
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....	37
3.1 Цифровий акселерометр	37
3.2 Мета проведення експериментальних досліджень	38
3.3 Дослідження коливань автомобілів під час їздових випробувань	39
4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	43
4.1 Структурно-функціональний аналіз робіт та моделювання травмонебезпечних ситуацій.....	43
4.2 Заходи з охорони праці під час виконання технологічної операції ..	45
4.3 Розрахунок штучного освітлення зони технічного обслуговування	49
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	53
1.1 Визначення затрат на оплату праці робітників	53
1.2 Визначення вартості основних фондів.....	55
1.3 Визначення прибутку.....	58
ВИСНОВКИ.....	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	61

ВСТУП

Коливання транспортного засобу значно впливають на основні експлуатаційні характеристики автомобіля, зокрема: комфорт та плавність ходу, стійкість, керованість, а також паливну ефективність [1]. Для регулювання цих показників запроваджено норми та стандарти, які визначають допустимі рівні вібрацій, шуму та коливань під час експлуатації. Ці фактори безпосередньо впливають на формування ціни легкового автомобіля.

Абсолютне усунення коливань, вібрацій і шумів у автомобілі є технічно неможливим, проте існують технології, які дозволяють мінімізувати їхній негативний вплив як на кузов автомобіля, так і на пасажирів. Частота і амплітуда коливань залежать від якості дорожнього покриття і швидкості руху. Наприклад, частоти коливань кузова та коліс зазвичай знаходяться в діапазоні від 0,5 до 22 Гц. Прискорення коліс може досягати до 10 g, тоді як для кузова ці значення рідко перевищують 1,5 g [2].

Автомобільні технології зазнали значних змін за останні десятиліття, проте проблема комфорту та безпеки водія залишається однією з найважливіших. Одним з аспектів, який впливає на комфорт і здоров'я водія, є коливання автомобіля. Під час руху автомобіль піддається різним типам коливань і вібрацій, які можуть суттєво впливати на фізичний і психологічний стан водія, його працездатність та здатність до концентрації.

Коливання виникають через нерівності дорожнього покриття, механічні характеристики підвіски, взаємодію коліс з дорогою та аеродинамічні сили. Дослідження показують, що вплив коливань на водія може призводити до втоми, зниження уважності, підвищення ризику виникнення аварійних ситуацій. Крім того, тривалі впливи вібрацій можуть викликати хронічні захворювання, такі як остеохондроз та синдром карпального тунелю.

Плавність ходу автомобіля залежить від якості його підвіски. Оцінка плавності ходу здійснюється пасажиром суб'єктивно, на підставі власних відчуттів. Оскільки люди відрізняються за своїми характеристиками (вік, стан здоров'я, стать, звичка до їзди тощо), то й оцінка плавності ходу навіть одного і

того ж автомобіля може бути різною, особливо якщо ця оцінка надається не під час їзди, а деякий час потому.

Для правильного проектування підвіски або випробувань плавності ходу автомобіля доцільно доповнити суб'єктивну оцінку фізичними величинами, що характеризують коливання кузова автомобіля та його частин і дозволяють уточнити оцінку плавності ходу. Це завдання повинно вирішуватися спільними зусиллями інженерів, лікарів та фізіологів, які повинні визначити, як організм реагує на коливання, в яких випадках коливання та поштовхи можуть викликати втому, ушкодження, професійні захворювання водіїв тощо.

1 ПІДВІСКА АВТОМОБІЛЯ

1.1 Дорожні умови експлуатації

Дорожні умови експлуатації транспортних засобів можуть бути дуже різноманітними. Вплив дороги на транспортний засіб визначається геометричними розмірами, формою та характером чергування нерівностей[3].

Залежно від довжини нерівностей дороги, їх умовно можна розділити на чотири групи:

1. Імпульсні короткі нерівності довжиною до 0,3 м, які викликають вплив, схожий на прикладання імпульсів вертикальної сили до коліс у місці контакту з дорогою.

2. Ями довжиною від 0,3 до 6 м, які викликають інтенсивні коливання транспорту. Розрізняються короткі (від 0,3 до 1 м) і довгі (від 1 до 6 м) ями. Короткі ями при експлуатаційних швидкостях приводять до виникнення високочастотних коливань, тоді як довгі ями спричиняють інтенсивні коливання.

3. Вибоїни довжиною від 6 до 25 м, інтенсивність коливань яких залежить від швидкості руху транспортного засобу.

4. Схили нерівності довжиною понад 25 м, які не викликають істотного впливу на коливання транспорту.

Щодо висоти (глибини) нерівностей, їх можна умовно поділити на три групи:

1. Шорсткості висотою до 1 см. Нерівності до 0,3 м не чинять значного впливу на коливання транспортного засобу.

2. Западини та виступи, глибиною понад 30 см. Такі нерівності викликають інтенсивні коливання підресорної частини транспортного засобу та значною мірою визначають його плавність ходу.

3. Перешкоди: ями, вибоїни, канави, пороги тощо, глибиною понад 30 см, викликають порушення нормального режиму роботи підвіски, що може негативно позначатися на комфорті та безпеці руху.

Якісну оцінку рівності доріг в практиці експлуатації транспорту зазвичай проводять шляхом умовного розподілу доріг на чотири групи, в залежності від їх зношеності та рівності:

1. Мало зношені дороги – це дороги з хорошою рівністю поверхні, на яких нерівності з'являються лише дуже рідко або в малих розмірах. Коливання транспорту мінімальні, що забезпечує комфортний рух.

2. Сильно зношені дороги – дороги з більш значними нерівностями, де знижена якість дорожнього покриття. Періодичні нерівності на таких дорогах можуть викликати відчутні коливання транспортного засобу.

3. Розбиті дороги – дороги з численними значними ямами і вибоїнами, де нерівності дуже часто змінюють одна одну. Це може серйозно вплинути на плавність руху, погіршуючи комфорт водія і пасажирів, а також підвищуючи навантаження на підвіску і систему управління автомобіля.

4. Бездоріжжя – дороги з відсутністю будь-якого дорожнього покриття або з важкими нерівностями. Такі умови найбільш несприятливі для нормальної експлуатації автомобіля, що часто призводить до пошкоджень транспортних засобів та значно знижує комфорт руху.

Ця класифікація допомагає оцінити експлуатаційні умови та вибір стратегії для підтримки та ремонту доріг, а також для коригування характеристик транспортних засобів, що працюють на таких дорогах.

При розрахунках плавності ходу та аналізі підресорення важливо використовувати функцію мікропрофіля дороги, яка визначає нерівності, що діють на транспортний засіб. Цю функцію зазвичай позначають як $q=f(s)$, де q — висота нерівності на певній точці, а s — координата по осі дороги.

Розглянемо три характерні випадки руху транспортного засобу.

Рух через окремі нерівності. В цьому випадку мікропрофіль дороги включає окремі точки або короткі нерівності, які характеризуються певною формою. Наприклад, в яму може мати математичне описання у вигляді гаусівської кривої або ступінчатої функції. Модель таких профілів враховує вплив окремих ям, виступів або інших обмежених нерівностей[2].

Рух по неперервно чергуючим періодичним нерівностям. Тут мікропрофіль описується як періодична функція, яка повторюється на регулярних інтервалах. Для таких випадків можна використати синусоїдальні чи косинусоїдальні функції, що найбільше підходять для моделювання хвильових або поперечних нерівностей на дорогах. Такий профіль доріг частіше зустрічається на автоматизованих тестових маршрутах, де можна створити стабільну періодичну модель нерівностей.

Рух по дорогах з випадковим мікропрофілем. В цьому випадку дорога не має чітко вираженої регулярної структури. Нерівності вимагають використання випадкових процесів (наприклад, персистентних або фрактальних моделей). Для подібних ситуацій, при розрахунках плавності ходу, використовують статистичні характеристики, що описують середній розмір нерівностей, амплітуду і частоту їх появи.

У випадку окремої нерівності, функцію мікропрофіля можна представити через аналітичні вирази, наприклад: $q = q_0 \left(1 - \cos \frac{2\pi}{S_0} S \right)$ [6].

При аналізі плавності ходу автомобіля та визначенні допустимих рівнів коливань особливу роль відіграють методи математичного моделювання, зокрема використання рядів та інтегралів Фур'є для періодичних мікропрофільів доріг. Це дозволяє описати мікропрофіль доріг з довільною формою нерівностей, підрахувати амплітуди коливань у різних частинах автомобіля та оцінити їх вплив на комфорт водія.

Для інших випадків, аналітичні вирази можуть включати комплексні функції або статистичні моделі, що адаптовані під конкретні види доріг і руху.

1.2 Підвіска автомобіля

Підвіска автомобіля виконує ключову функцію, забезпечуючи пружний зв'язок між рамою або кузовом і колесами чи мостами. Вона амортизує удари, які виникають через нерівності дороги, і зменшує поштовхи, покращуючи комфорт під час руху. Основні пружні властивості підвіски забезпечуються завдяки використанню пружного елемента. Головне завдання системи полягає в перетворенні енергії удару від нерівностей дороги в переміщення пружного

елемента, що знижує силу, яка передається на кузов, і підвищує плавність ходу автомобіля.

Підвіски класифікуються за характером взаємодії коліс і кузова на залежні і незалежні[10].

Залежна підвіска забезпечує жорсткий зв'язок між лівим і правим колесом. Це означає, що переміщення одного з коліс поперечній площині передається іншому, викликаючи нахил кузова.

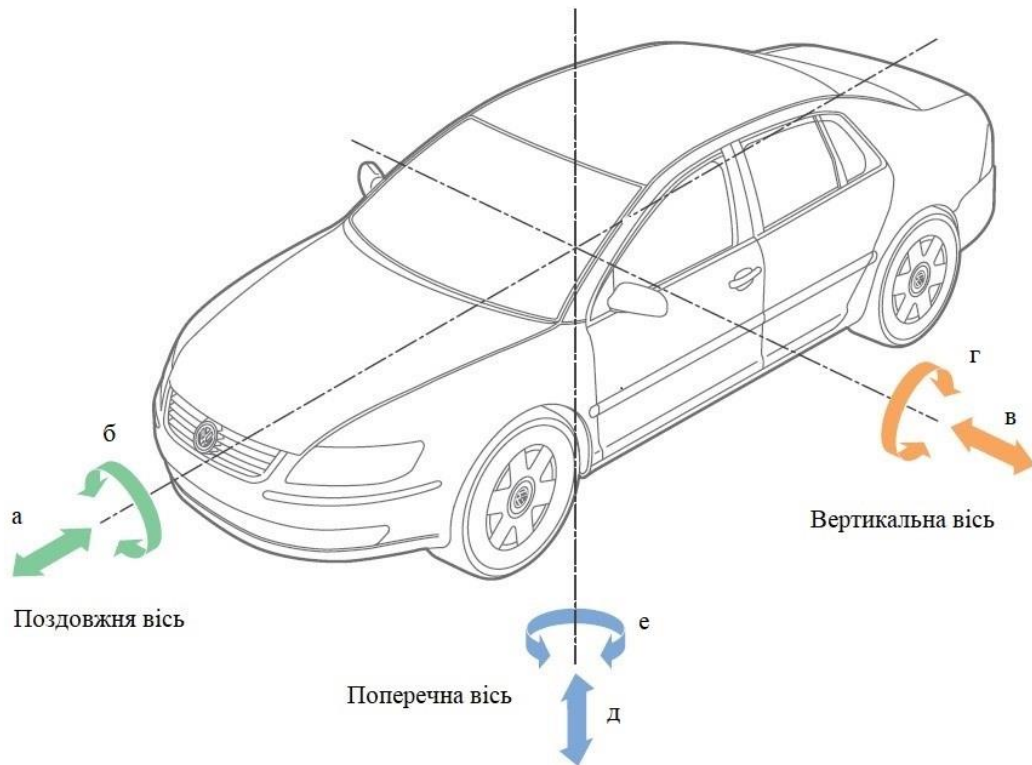
Незалежна підвіска, навпаки, не має жорсткого зв'язку між колесами одного моста. Кожне колесо підвішене до кузова окремо, тому коливання одного з них не впливає на інше. Це зменшує нахил кузова і покращує загальну стійкість автомобіля під час руху.

На нерівностях дороги колеса зазнають ударних навантажень, які передаються через систему підресорювання і направляючі елементи підвіски на кузов. Одним із головних завдань підвіски є демпфування цих навантажень. Система підресорювання має дві основні складові: пружні елементи, які відповідають за амортизацію, та демпферні елементи, які гасять коливання.

Завдяки їхній взаємодії досягаються такі важливі властивості підвіски:

1. Безпека – забезпечення постійного контакту колеса з дорогою, що критично важливо для роботи гальмівної системи та точності рульового керування.
2. Комфорт – зменшення вібрацій, що негативно впливають на здоров'я пасажирів, викликають дискомфорт або шкодять вантажу.
3. Надійність – захист кузова і компонентів автомобіля від впливу значних ударних і вібраційних навантажень.

Під час руху кузов автомобіля зазнає не лише вертикальних переміщень, але й коливань навколо поздовжньої, поперечної та вертикальної осей, а також переміщень вздовж них. Разом із конструкцією кінематичної схеми, система підресорювання відіграє вирішальну роль у мінімізації цих коливань і забезпеченні стабільності автомобіля. Тому правильний підбір пружних і демпферних елементів підвіски (компонентів системи підресорювання) має велике значення [3].



а – смикання (нерівномірні поштовхи кузова); б – покачування (коливання кузова в сторони); в – знос (зсув кузова вбік); г – кивання (коливання кузова вперед і назад); д – вертикальні коливання (підйоми та падіння кузова); е – ривкання (нерівномірні рухи кузова навколо вертикальної осі).

Рисунок 1.1. Види коливань автомобіля.

1.3 Система підресорювання

Система підресорювання включає пружні елементи, які виконують роль несучих компонентів між підвіскою та кузовом автомобіля. Додатковими елементами системи є шини та сидіння, що також володіють власною пружністю.

Пружні елементи можуть бути виготовлені з різних матеріалів[3]:

Сталь — використовується найчастіше, особливо для легкових автомобілів.

Гума (еластомери) — застосовується в певних конструкціях.

Гази (наприклад, повітря чи азот) — використовується в пневматичних підвісках.

Можливе також комбіноване використання цих матеріалів.

У легкових автомобілях найчастіше використовуються сталеві пружні елементи, серед яких найбільшого поширення набули гвинтові пружини завдяки їх ефективності й простоті. Пневматична підвіска, яка раніше здебільшого

застосовувалась у вантажному транспорті, останнім часом набуває популярності й у легкових автомобілях завдяки своїм численним перевагам [4].

Підресорені та непідресорені маси автомобіля

Підресорені маси включають кузов, трансмісію та частину ходової частини. Вони безпосередньо взаємодіють із пружними елементами системи. Частота власних коливань кузова автомобіля визначається жорсткістю та ефективністю демпферування цієї системи.

Непідресорені маси включають колеса разом із гальмівними механізмами, а також частину мас ходової частини й приводних валів.

Зменшення непідресорених мас є важливим завданням, оскільки їх інерція суттєво впливає на характеристики підвіски. Малі непідресорені маси дозволяють:

- Знизити ударні навантаження на елементи конструкції.
- Покращити динамічні характеристики автомобіля.
- Підвищити загальний комфорт під час руху.

Зменшення цих мас не лише покращує роботу підвіски, а й сприяє досягненню плавності та стабільності ходу автомобіля.

Для зменшення непідресорених мас використовуються такі технологічні рішення:

- Використання алюмінієвих колісних дисків із порожнистими спицями.
- Виготовлення компонентів шасі (поворотний кулак, корпус підшипника, важелі підвіски) з алюмінію.
- Застосування гальмівних супортів з алюмінію для зниження їх ваги.
- Оптимізовані шини, що мають зменшену масу при збереженні необхідної міцності.
- Зменшення ваги деталей ходової частини, наприклад, за рахунок оптимізації конструкції маточин коліс.

Колівання в системі підресорювання

Якщо підресорену масу вивести зі стану рівноваги зовнішньою силою, у пружному елементі виникає відновлююча сила, яка повертає масу до

початкового положення. Проте, через інерцію, маса продовжує рух і "перескакує" положення рівноваги, викликаючи нове коливання. Цей процес повторюється до повного затухання коливань через опір повітря та внутрішнє тертя в пружному елементі.

Частота власних коливань кузова

Частота коливань кузова залежить від жорсткості пружних елементів та маси, яку вони підтримують:

Більша підресорена маса або м'які пружні елементи зменшують частоту власних коливань, але збільшують амплітуду (хід підвіски).

Менша маса або жорсткі пружні елементи підвищують частоту коливань і зменшують амплітуду.

Частоти власних коливань впливають на сприйняття комфортності їзди:

Частота менше 1 Гц здатна викликати нудоту у пасажирів.

Частоти понад 1,5 Гц погіршують комфорт, роблячи їзду менш приємною.

Частота близько 5 Гц і більше відчувається як небажана вібрація [5].

Оптимальна конструкція підвіски повинна забезпечувати баланс між комфортом, безпекою та динамічними характеристиками автомобіля.

Основні визначення, пов'язані з коливаннями

Коливання — переміщення підресореної маси кузова вгору і вниз відносно положення рівноваги.

Амплітуда — найбільше відхилення коливальної маси від положення рівноваги, також відоме як хід підвіски.

Період — час, необхідний для здійснення одного повного коливання.

Частота — кількість коливань (періодів), що здійснюються за одиницю часу (зазвичай, за секунду), вимірюється в герцах (Гц).

Частота власних коливань кузова — кількість повних коливань підресореної маси кузова за секунду без врахування зовнішніх збурень.

Резонанс — явище, коли підресорена маса (кузов) «підштовхується» силою, яка діє синхронно з ритмом власних коливань. Це призводить до зростання амплітуди коливань (розгойдування).

Ці параметри визначають основні характеристики системи підресорювання автомобіля, які впливають на комфорт і безпеку руху.

Налаштування частоти власних коливань кузова

Осьові навантаження на передній і задній осі автомобіля можуть значно відрізнитися в межах однієї моделі залежно від характеристик двигуна та додаткового обладнання. Для забезпечення стабільності таких параметрів, як висота кузова (кліренс) і частота власних коливань кузова, автомобіль оснащується різними комбінаціями пружних елементів і амортизаторів, адаптованих до осьових навантажень.

Наприклад: у моделі Audi A4 частота власних коливань налаштовується на 1,13 Гц для передньої осі і на 1,33 Гц для задньої осі (розрахункові дані) [9].

Вплив жорсткості пружних елементів

Жорсткість пружних елементів є ключовим параметром, який визначає частоту власних коливань кузова:

- Вища жорсткість збільшує частоту власних коливань.
- Нижча жорсткість зменшує частоту коливань і дозволяє підвісці мати більший хід.

Щоб швидко визначити жорсткість пружних елементів, використовують кольорове маркування, яке полегшує підбір елементів залежно від навантаження.

Роль амортизаторів

Ступінь демпферування амортизатором незначно впливає на частоту власних коливань кузова. Основне його завдання — регулювання часу загасання коливань.

- Високий ступінь демпферування сприяє швидшому затуханню коливань (вища постійна загасання).
- Низький ступінь демпферування дозволяє коливанням тривати довше.

Таким чином, налаштування системи підвіски спрямоване на досягнення оптимального співвідношення між комфортом руху та керованістю автомобіля.

Для визначення характеристик пружного елемента пружину встановлюють у спеціальній навантажувальній пристрій. Зі збільшенням прикладеної сили

вимірюють зміну довжини пружини, що дозволяє побудувати її характеристичну криву.

Жорсткість пружного елемента (позначається літерою c) визначається як відношення сили (F), що прикладається, до відповідного ходу (x) пружини: $c = \frac{F}{x}$.

Жорсткість вимірюється в Н/мм (ньютонів на міліметр) і характеризує, наскільки «жорстким» або «м'яким» є пружний елемент:

М'які пружини мають невелику величину жорсткості.

Жорсткі пружини мають високі значення жорсткості.

Характеристики пружних елементів

Лінійна характеристика: для таких пружин жорсткість (c) залишається постійною на всьому діапазоні ходу.

Графік залежності $F(x)$ являє собою пряму лінію. Використовується у випадках, коли потрібна прогнозована поведінка підвіски. Переваги: проста конструкція та розрахунок. Недоліки: може бути недостатньо ефективною для поглинання великих навантажень.

Пологі характеристики: властиві м'яким пружним елементам. Жорсткість зменшується зі зростанням ходу[1].

Графік залежності $F(x)$ виглядає як крива, яка вирівнюється з підвищенням навантаження. Використовується у специфічних випадках, наприклад, для забезпечення стабільної роботи при великих деформаціях. Переваги: добре підходить для випадків, коли потрібно знизити перенавантаження на кінцевих етапах роботи підвіски.

Круті характеристики: характерні для жорстких пружин. Жорсткість збільшується зі зростанням ходу[1].

Графік залежності $F(x)$ має вигляд плавної вигнутої лінії. Застосовується для забезпечення м'якої роботи підвіски при невеликих навантаженнях та поступового збільшення жорсткості при значних навантаженнях. Переваги: комфортна їзда за невеликих деформацій, а також ефективна підтримка під час високих навантажень.

Типова характеристика пружини обирається залежно від потреб транспортного засобу: для спортивних автомобілів використовують більш жорсткі пружини з прогресивною характеристикою; для легкових автомобілів, орієнтованих на комфорт, часто застосовуються м'які пружини з лінійною або комбінованою характеристикою.

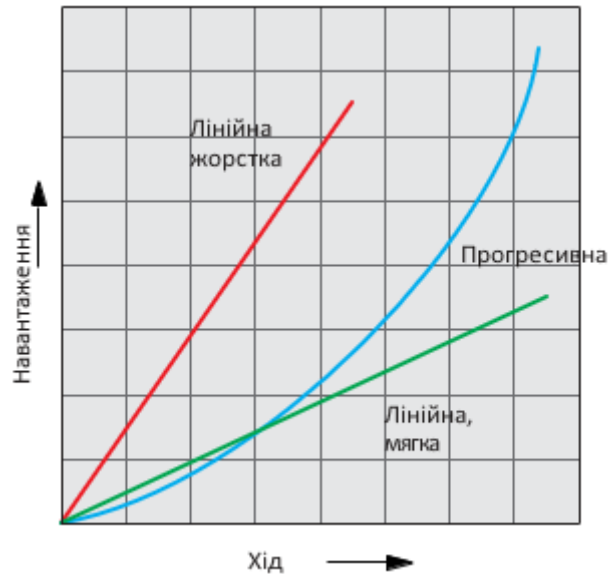


Рисунок 1.2. Характеристики пружин підвіски

Гвинтова пружина є найпоширенішим пружним елементом, що використовується в підвісках легкових автомобілів. Її жорсткість можна змінювати за допомогою конструктивних параметрів:

Збільшення діаметра прутка — робить пружину жорсткішою.

Зменшення діаметра пружини — збільшує жорсткість.

Зменшення числа витків — також підвищує жорсткість.

Якщо жорсткість гвинтової пружини зростає разом зі збільшенням її деформації, вона має **прогресивну характеристику**. Такі пружини використовуються для поєднання комфорту руху з ефективністю поглинання навантажень.

Гвинтові пружини з прогресивною характеристикою можна розпізнати за такими ознаками (рис. 1.3):

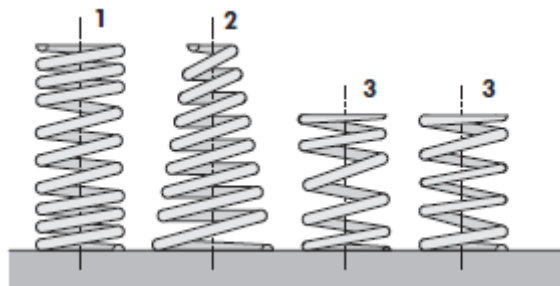
Нерівномірний крок витків — відстань між витками варіюється, забезпечуючи зміну жорсткості.

Конічна форма навивки — діаметр витків зменшується до кінця, що підвищує пружність під час стиснення.

Змінний діаметр прутка — товщина матеріалу пружини змінюється, забезпечуючи прогресивність характеристик.

Комбінація двох пружних елементів — складається з двох різних частин, які працюють послідовно при збільшенні навантаження.

Використання таких конструктивних рішень дозволяє оптимізувати роботу підвіски під різні умови руху, зберігаючи баланс між комфортом і безпекою[4].



1 - Нерівномірний крок витків; 2 - конічна форма навивки; 3 - змінний діаметр прутка та комбінація двох пружних елементів.

Рисунок 1.3. Гвинтові пружини з прогресивною характеристикою.

Переваги прогресивної характеристики пружного елемента:

- Поліпшення характеристик системи підресорювання при адаптації до широкого діапазону навантажень — від часткового завантаження до максимального.
- Стабільність частоти власних коливань кузова незалежно від завантаження автомобіля.
- Зменшення ризику пробією підвіски на великих нерівностях дороги завдяки підвищеній жорсткості при великих навантаженнях.
- Рациональне використання діапазону ходу підвіски, що забезпечує комфортність і ефективність роботи.

Деформація пружного елемента, що використовується у ходовій частині без механізмів регулювання дорожнього просвіту, визначається сумою:

Статичного ходу стиснення пружини ($S_{\text{стат}}$): виникає у нерухомому автомобілі під впливом маси спорядженого чи завантаженого автомобіля.

Динамічного ходу стиснення пружини ($S_{\text{дин}}$): додається під час руху через коливання транспортного засобу.

Загальна деформація пружного елемента розраховується за формулою:

$$S_{\text{заг}} = S_{\text{стат}}(\text{повний}) + S_{\text{стат}}(\text{споряд}) + S_{\text{дин}} \quad (1.1)$$

де:

$S_{\text{стат}}(\text{повний})$ — статичний хід при максимальному завантаженні,

$S_{\text{стат}}(\text{споряд})$ — статичний хід при спорядженій масі,

$S_{\text{дин}}$ — динамічний хід під час коливань.

У системах без механізмів регулювання дорожнього просвіту основною проблемою є зменшення ходу стиснення пружних елементів при завантаженні автомобіля, що може негативно впливати на:

плавність ходу,

стійкість автомобіля,

ефективність роботи підвіски на складних дорогах.

Застосування систем регулювання дорожнього просвіту дозволяє усунути ці недоліки, забезпечуючи постійну висоту кузова і стабільні характеристики.

Статичний хід стиснення є вихідною точкою (нулем) для динамічних переміщень підвіски:

- Хід стиснення (+): додаткове стискання пружних елементів під впливом навантажень під час руху.
- Хід відбою (-): розтягування або повернення до початкового положення після стиснення.

Положення при статичному ході стиснення залежить від:

- Жорсткості пружного елемента: впливає на здатність протистояти навантаженню.
- Навантаження на автомобіль: враховує підресорені маси спорядженого чи повністю завантаженого автомобіля.

Статичний хід стиснення розраховується як різниця між деформаціями пружного елемента:

$$S_{\text{стат}} = S_{\text{стат}}(\text{повний}) - S_{\text{стат}}(\text{споряд}) \quad (1.2)$$

де:

$S_{\text{стат}}(\text{повний})$ — статична деформація на повністю навантаженому автомобілі,

$S_{\text{стат}}(\text{споряд})$ — статична деформація на автомобілі зі спорядженням.

Вплив жорсткості пружини на величину статичного ходу

1. М'які пружини (пологий характер підвіски): статичний хід стиснення є відносно великим. Значне зменшення дорожнього просвіту при завантаженні.
2. Жорсткі пружини (крутий характер підвіски): статичний хід стиснення є відносно малим.

Дорожній просвіт змінюється несуттєво навіть при великому навантаженні.

М'які пружини краще поглинають дрібні нерівності дороги, але гірше підтримують висоту кузова при завантаженні. Жорсткі пружини забезпечують стабільність висоти кузова, однак передають більше вібрацій і ударних навантажень.

1.4 Амортизатори

Функції амортизаторів у конструкції підвіски автомобіля:

- Поглинання поштовхів від нерівностей дороги через елементи підвіски. Амортизатори гасять коливання, які виникають під час наїзду на нерівності. Без амортизаторів автомобіль на пружинах поведився б як м'ячик, підстрибуючи після кожного поштовху та тривалий час розхитуючись.
- Демпфування коливань кузова. Амортизатори нівелюють вібрації від кузова, які можуть впливати на комфортність їзди та сприйняття дороги. Це забезпечує стабільність автомобіля під час руху.
- Підтримання нормальної керованості автомобіля. Гасіння коливань амортизаторами сприяє збереженню контакту коліс із дорогою. Це особливо важливо під час різких маневрів, гальмування чи руху на

високій швидкості, коли забезпечення стійкості автомобіля критично важливе.

Завдяки амортизаторам автомобіль залишається стабільним, плавним та контрольованим навіть у складних дорожніх умовах.

В автомобілях використовуються кілька типів амортизаторів залежно від конструкції підвіски, призначення автомобіля та умов його експлуатації[2].

Основні типи:

Телескопічні амортизатори

Це найпоширеніший тип амортизаторів у сучасних автомобілях. Вони мають компактну та надійну конструкцію і використовуються як на передніх, так і на задніх осях.

Однотрубні амортизатори. Мають одну порожнину, яка містить робочу рідину та газ (зазвичай азот). Газ створює тиск і запобігає утворенню бульбашок у рідині під час інтенсивної роботи. Особливості: стабільна робота при високих навантаженнях. Краще охолодження завдяки прямому контакту корпусу з навколишнім середовищем.

Двотрубні амортизатори. Складаються з робочого циліндра, у якому переміщається поршень, та додаткового (зовнішнього) циліндра для компенсаційної камери. Особливості: простіші у виробництві та дешевші. Менш стабільні при великих навантаженнях або швидкій їзді.

Газо-масляні амортизатори

Поєднують рідину і стиснений газ. Це вдосконалена версія телескопічних амортизаторів.

Забезпечують плавне демпфування і стійку роботу під час високих навантажень.

Переважно використовуються в спортивних автомобілях або у версіях з підвищеним комфортом.

Регульовані амортизатори

Це пристрої з можливістю налаштування характеристик демпфування. Вони дозволяють змінювати жорсткість в залежності від умов руху:

Механічно регульовані — водій або механік вручну налаштовує рівень демпфування.

Електронно керовані — інтегровані з електронними системами автомобіля, налаштовуються автоматично або через бортовий комп'ютер.

Пневматичні амортизатори

Використовують стиснене повітря для забезпечення демпфування. Зазвичай застосовуються у підвісках преміум-класу та позашляховиків. Забезпечують можливість регулювання висоти дорожнього просвіту залежно від навантаження чи умов дороги.

Магнітореологічні амортизатори

Це інноваційні амортизатори, які використовують магнітореологічну рідину, що змінює свою в'язкість під впливом магнітного поля. Використовуються у високотехнологічних автомобілях, наприклад, спорткарах. Забезпечують миттєве реагування на зміну умов дороги.

Амортизатори важільного типу

Ці амортизатори з'явилися на початку автомобілебудування і використовуються рідко. Вони складаються з важеля, який передає коливання на поршень, що працює в робочій рідині. Зустрічаються в ретроавтомобілях і техніці спеціального призначення.

Вибір типу амортизатора залежить від: призначення автомобіля (спортивний, позашляховий, звичайний легковий); дорожніх умов та необхідного рівня комфорту та стійкості.

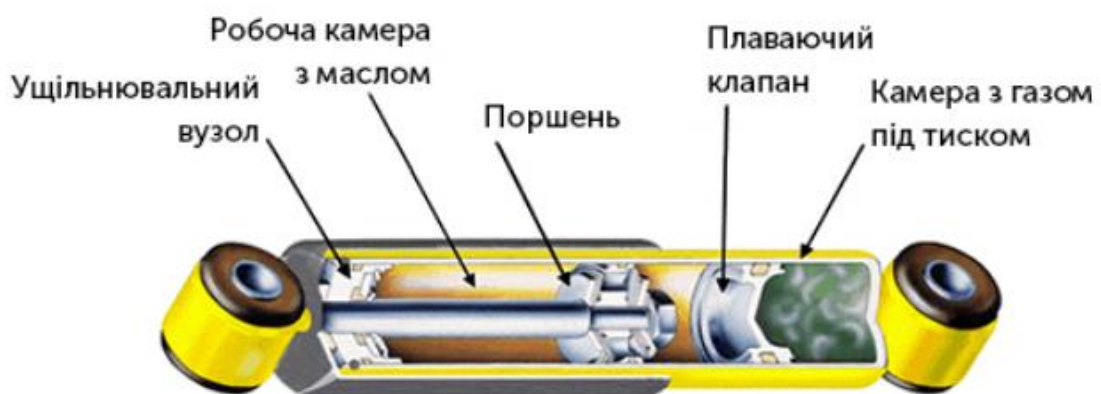


Рисунок 1.4 – Типова будова телескопічного амортизатора.

Типова будова телескопічного амортизатора зображена на рис. 1.4.

Зараз автовиробники ставлять демпфувальні пристрої двох видів: масляні і газомасляні.

Масляний амортизатор складається з двох співвісних циліндрів (двотрубний). Внутрішній циліндр (робоча камера) заповнений маслом. У ньому розташований рухливий шток, на ньому поршень зі зворотними клапанами різного діаметру. Робоча камера з'єднується з зовнішнім циліндром через клапан стиснення. Коли колесо наїжджає на перешкоду, шток амортизатора рухається вниз, поршень видавлює через клапани масло з нижньої камери в верхню. Коли колесо потрапляє в яму, масло опускається вниз. Через клапан стиснення масло потрапляє в компенсаційну камеру між робочою камерою і зовнішньою камерою, наповнену повітрям.

Газомасляний амортизатор. У сучасних авто застосовуються однотрубні чи двотрубні амортизатори двосторонньої дії, тобто стиснення і відбій.

Газомасляні амортизатори мають кілька ключових переваг порівняно з іншими типами амортизаторів, такими як масляні або пневматичні. Ось основні з них:

- Зменшення утворення піни: стиснений газ у газомасляних амортизаторах допомагає зменшити утворення піни в маслі при швидкому русі. Це особливо важливо на високих швидкостях, оскільки піна може значно знизити ефективність роботи амортизатора, збільшуючи вібрації та погіршуючи керованість.
- Покращена стабільність при високих навантаженнях: газ допомагає підтримувати стабільний тиск в амортизаторі навіть при великих навантаженнях або високих швидкостях, забезпечуючи стабільну поведінку і кращу керованість, особливо на нерівних дорогах.
- Швидке відновлення початкового стану: високий тиск газу у камері дозволяє амортизатору швидше повернутися до початкового стану після стискання або відбою. Це дає кращу реакцію під час руху по неідеальних поверхнях.

- Тривалий термін служби: оскільки газ у комбінації з маслом зменшує ймовірність перегріву і зниження ефективності амортизатора через утворення піни, газомасляні амортизатори часто мають більш тривалий термін служби порівняно з масляними.

- Більш ефективне поглинання ударів: завдяки структурі газомасляного амортизатора, він краще поглинає удари і зменшує вплив вібрацій на кузов і підвісну систему автомобіля. Це підвищує комфорт під час їзди.

- Можливість налаштування: газомасляні амортизатори часто мають можливість регулювання жорсткості (в залежності від моделі), що дозволяє адаптувати їх до різних умов їзди, забезпечуючи як комфорт, так і спортивну стабільність.

- Малі розміри та ефективність: газовий наповнювач дозволяє досягати високої ефективності амортизації при відносно компактних розмірах амортизатора, що робить їх ідеальними для використання в автомобілях з обмеженим простором для підвіски.

Ці переваги роблять газомасляні амортизатори популярним вибором для високопродуктивних та комфортабельних автомобілів, а також для машин, що експлуатуються на складних та нерівних дорогах.

2 КОЛИВАННЯ АВТОМОБІЛЯ

2.1 Вплив коливань на людину

Людський організм сприймає механічні коливання по-різному залежно від їх частоти. При коливаннях низької частоти (до 15-18 Гц) організм відчуває окремі цикли (коливання). Коливання високої частоти сприймаються не ізольовано, а як єдине ціле і називаються вібраціями. Межі вібраційної чутливості людського організму становлять 15-1500 Гц.

Кузов автомобіля одночасно піддається коливанням та вібраціям. Частота коливань кузова на ресорах становить 1,0-2,5 Гц (60-150 коливань за хвилину), частоти, викликані коливаннями осей на ресорах і шинах, становлять 6-15 Гц (360-900 коливань за хвилину). Вібрації двигуна, силової передачі та частин кузова відбуваються з частотами 17-70 Гц (1020-4200 коливань за хвилину).

Найбільш неприємний вплив на пасажирів спричиняють не вібрації, а коливання. Коливання та вібрації діють на органи чуття людини по-різному. Сприйняття коливань, пов'язаних зі зміною положення тіла в просторі, являє собою складний процес, що складається з ряду відчуттів, які доходять до мозку від різних органів чуття (рис. 2.2). Коливання сприймаються вестибулярним апаратом, очима, суглобами та м'язами (суглобово-м'язова чутливість), шкірою (шкірна чутливість); коливання передаються через кісткову тканину та можуть безпосередньо впливати на внутрішні органи (шлунок, печінка).

Основним органом людини, що відповідає за розпізнавання змін напрямку або швидкості руху, є вестибулярний апарат. Він також слугує допоміжним органом рівноваги та орієнтації положення тіла в просторі. Детальніше розглянемо його будову.

Вестибулярний апарат

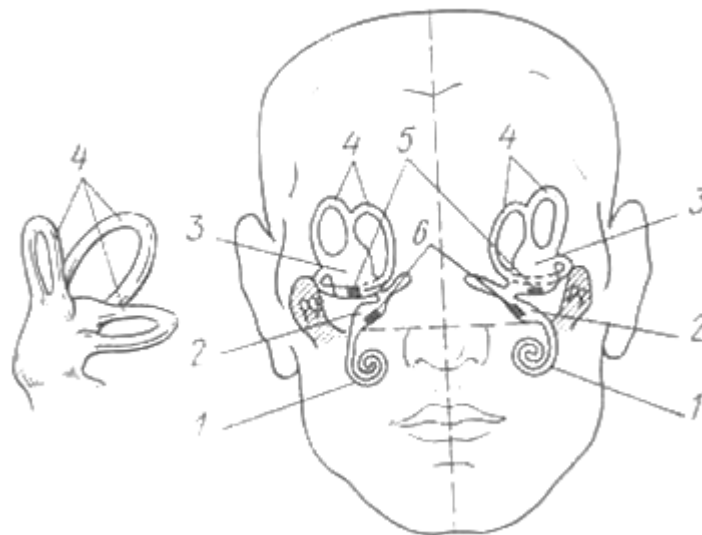
У товщі скроневої кістки знаходиться простір зі складними ходами, так званий лабіринт. Лабіринт заповнений рідиною (перилімфою). У рідині плаває шкірний апарат, за формою схожий на кістковий. Шкірний лабіринт, у свою чергу, заповнений рідиною (ендолімфою). Лабіринт складається з трьох частин: 1) трьох напівкругних каналів, 2) переддвер'я, 3) равлика. Напівкругні канали

та переддвер'я становлять вестибулярний апарат. Равлик є звуковосприймаючою частиною вуха і для подальшого її функціонування не становить інтересу.

Схема вестибулярного апарата показана на рис. 2.1. Переддвер'я складається з двох мішечків 2 та 3, з'єднаних між собою. Один з мішечків з'єднаний з равликом /, а інший — з трьома трубочками напівкруглих каналів 6. Напівкруглі канали взаємно перпендикулярні і лежать у площинах, приблизно паралельних трьом головним площинам людського тіла. У стінках мішечків переддвер'я розташовані закінчення вестибулярного нерва, що нагадують ніжний войлок, занурений в ендолімфу. На цьому "войлоку" розташовані дрібні кристали вапна, так звані отоліти. Дрібні кристали утворюють два конгломерати кристалів 4 і 5, по-різному орієнтованих у просторі.

У стінках напівкруглих каналів і в їх розширених частинах також розташовані нервові закінчення, що мають вигляд пензликів.

Отолітові апарати та напівкруглі канали виконують різні функції. Отолітові апарати призначені для сприйняття зміни положення тіла та прямолінійного прискорення (переважно); напівкруглі канали, завдяки своїй формі, реагують головним чином на кутові прискорення тіла.



1 — равлик; 2, 3 — мішечки отолітових апаратів; 4, 5 — кристали (отоліти) 6 — напівкруглі канали.

Рисунок 2.1 – Схема вестибулярного апарату.

Якщо тіло людини здійснює кутові переміщення, то в тому напівкруглому каналі, який лежить у площині обертання, рідина (ендолімфа) через інерцію спочатку буде трохи відставати від стінок. Зсув рідини відносно волосків нервових закінчень у стінках розширеної частини напівкруглих каналів викликає їх роздратування, що сприймається людиною як початок обертання. Розташування каналів у трьох взаємно перпендикулярних площинах дозволяє людині відчувати довільно спрямований рух. Якщо обертання стане рівномірним, рідина буде переміщатися одночасно зі стінками напівкруглих каналів, і вестибулярний апарат на таке обертання не реагуватиме.

При лінійних прискореннях змінюється тиск кристалів отоліта на нервові закінчення, що викликає їх роздратування. Отоліти також реагують на нахили тіла, оскільки при цьому змінюється складова сила тяжіння отоліта, що тисне на нервові закінчення.

Кожен з двох отолітів розташований так, що реагує переважно на певний напрям нахилу. Наприклад, якщо пасажир відчуває поздовжні коливання, вони сприймаються головним чином отолітом 5; нахили кузова у поперечній площині сприймаються отолітом 4.

Роздратування вестибулярного апарату, передаючись у головний мозок, викликає два види рефлексів, які впливають на працездатність людини: м'язові рефлекси, тобто рухи голови, очей, мимовільні рухи рук, ніг і тулуба, та так звані вегетативні рефлекси, що проявляються у різного ступеня блідості або почервоніння обличчя, серцебиття, потовиділення, нудоти, тобто симптомах заколисування (морська або повітряна хвороба).

Будова вестибулярного апарату і механізм його дії спонукали акад. Воячека назвати отолітові апарати та напівкруглі канали органами "акцелераційного чуття" людини.

Рідинні акселерометри, що застосовувалися під час динамічних випробувань автомобілів, за будовою і дією нагадують напівкруглі канали, а акселерометри з твердою масою — отолітові апарати [21]. Відчуття кутових прискорень триває довше дії подразника через інерцію рідини (ендолімфи) у напівкруглих каналах. При рівномірному обертанні людини її голова, ендолімфа

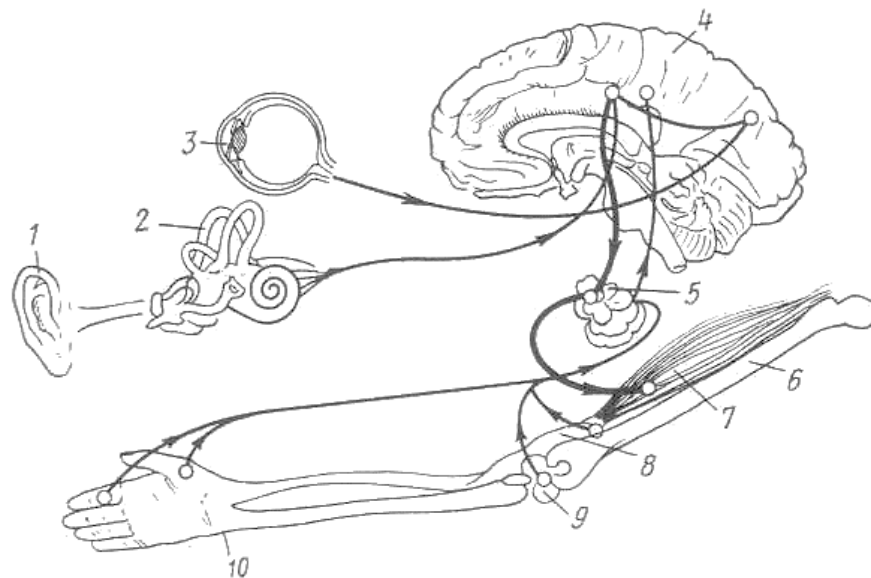
та нервові волоски в напівкругних каналах рухаються разом, не викликаючи відчуття руху. Якщо ж обертання зупиняється, ендолімфа за інерцією ще деякий час продовжує рух; нервові волоски відхиляються у напрямку вже припиненого обертання, і вестибулярний апарат, роздратовуючись, створює відчуття обертання у протилежний бік. Таку ілюзію протиобертання спостерігають під час випробувань кандидатів до авіаційних училищ. Якщо нетреновану людину посадити у закриту кабіну і дати їй 10 обертів за 20 секунд, а потім зупинити кабіну, ілюзія протиобертання може тривати іноді до 40 секунд. Якщо під час досліду у людини очі залишаються відкритими, то зорове сприйняття коригує відчуття, що надходять від вестибулярного апарату. Досвід показує, що вестибулярний апарат піддається тренуванню і пристосовується до повторних обертань; відчуття протиобертання поступово зникає.

Властивість вестибулярного апарату швидко пристосовуватися до коливань дозволяє пасажиром звикати до умов їзди в автомобілі. Ця здатність, яка різна у різних людей, певною мірою згладжує неприємні відчуття від поштовхів і коливань кузова. Вестибулярний апарат дуже чутливий до прискорень. Мінімальне значення прискорень, на яке він реагує, так званий поріг подразнення, відрізняється у різних людей і сильно змінюється залежно від тривалості дії прискорення. Для порогу подразнення вказуються такі середні значення: для вертикальних прискорень 11-12 см/сек², для кутових — 2°/сек² при тривалості дії 0,8 сек. та 80°/сек² при тривалості дії 0,022 сек. Досвід показує, що вплив прискорення змінюється з тривалістю його дії. У відомих межах добуток прискорення на час його дії є постійним, проте абсолютна величина цього добутку для різних людей різна[7]. Залежно від напрямку щодо основних осей тіла прискорення сприймаються людиною по-різному. Чим більші прискорення і навантаження передаються на голову, тим неприємніші відчуття. Проте людське тіло еластичне і може значно пом'якшувати передані коливання. Найкраще переносяться прискорення, спрямовані перпендикулярно до поздовжньої осі тіла (прискорення, що виникають при розгонах або гальмуванні автомобіля). Гірше переносяться прискорення в такому напрямку, при якому голова зміщується відносно тіла (наприклад, при горизонтальних коливаннях, перпендикулярних

до поздовжньої осі тіла лежачої людини). Ще гірше переносяться прискорення, спрямовані вздовж поздовжньої осі тіла, оскільки вони передаються на голову майже без пом'якшення. Найгірше переносяться короткі, різкі вертикальні поштовхи.

Вестибулярний апарат має здатність накопичувати подразнення. Слабкий поштовх викликає невелике подразнення вестибулярного апарату. Сліди цього подразнення залишаються. Кілька послідовних слабких поштовхів призводять до накопичення залишкових явищ і можуть викликати сильніше відчуття, ніж окремі ізольовані поштовхи[3].

Було відзначено, що вплив нахилів у поперечній площині відчувається пасажиром у 2-4 рази слабше, ніж нахилів у поздовжній площині автомобіля.



- 1 – вухо; 2 – вестибулярний апарат; 3 – око; 4 – головний мозок;
 5 – спинний мозок (в схематичному розрізі); 6 – кістка; 7 – м'язи;
 8 – зв'язки; 9 – суглоб; 10 – шкіра.

Рисунок 2.2 – Схема зв'язків вестибулярного апарату

Оцінка зміни положення тіла в просторі залежить від подразнення не тільки вестибулярного апарату, але й очей, нервових закінчень у шкірі, підшкірній жировій клітковині, м'язах і зв'язках, які утримують внутрішні органи від зміщення. Наприклад, завдяки шкірній чутливості людина починає сприймати нахили значно раніше, ніж через відчуття від вестибулярного апарату. На рис.2.2 показана схема зв'язків, які існують між вестибулярним апаратом та

іншими органами чуття. Їх значення різне і змінюється залежно від частоти і амплітуди коливань. Хоча це питання недостатньо вивчене, проте відзначається першорядне значення вестибулярного апарату при повільних коливаннях і значення поверхні шкіри при відчутті коливань високої частоти (15 Гц і більше). М'язові рефлекси, викликані коливаннями, прискорюють настання втоми.

Втомлюваність водія, особливо нервова, знижує безпеку руху. Тому в автомобілях, особливо в автобусах, слід приділяти належну увагу найбільш зручному устрою і розташуванню місця водія.

Вестибулярний апарат має здатність накопичувати подразнення. Легкий поштовх викликає незначне подразнення, яке залишається в апараті. Якщо таких поштовхів кілька, вони можуть призвести до акумулювання (накопичення) залишкових явищ, що у сукупності створюють відчуття, сильніше за одиничний поштовх.

Якщо коливання впливають на організм людини протягом тривалого часу, з року в рік, при певній інтенсивності вони можуть спричинити хворобливі та незворотні зміни в організмі. Це підтверджується випадками професійних захворювань серед водіїв автомобілів і трактористів.

До несприятливих умов роботи водія належать такі фактори[10]:

- Довготривала дія коливань, враховуючи пікові навантаження з великими прискореннями. Коливання супроводжуються тривалим напруженням м'язів торса, що виникає через протидію тіла переміщенням при коливаннях.

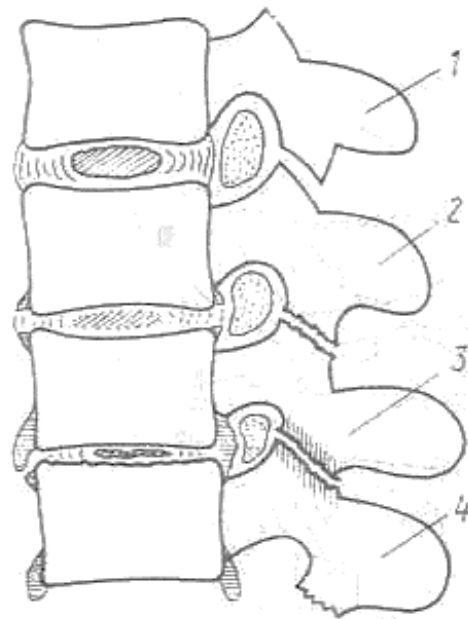
- Незручне положення. У сидячому положенні коливання безпосередньо передаються хребту, майже не впливаючи на нижні кінцівки. У стоячому положенні дію коливань пом'якшують суглоби нижніх кінцівок. Крім того, дугоподібна форма хребта в сидячому положенні менш ефективна для амортизації коливань, ніж його природна форма.

- Довготривале нервово-психологічне навантаження під час роботи, що інколи поєднується з значними м'язовими навантаженнями.

Шкідливий вплив коливань автомобіля полягає в розвитку попереково-сідничного болю (найчастіше ішіасу). Вплив коливань також може негативно позначатися на внутрішніх органах. Дослідження, проведене серед понад 450

водіїв (переважно вантажних автомобілів)[8], показало, що половина з них скаржиться на попереково-сідничні болі. Ішіас набагато перевищує інші захворювання за кількістю днів тимчасової непрацездатності і займає друге місце за кількістю випадків після таких поширених захворювань, як катар верхніх дихальних шляхів і грип. Вплив коливань на розвиток ішіасу підтверджується тим, що у водіїв вантажних автомобілів, які працюють в середніх дорожніх умовах, ішіас спостерігається втричі частіше, а в умовах важких доріг — в п'ять разів частіше, ніж у водіїв легкових автомобілів. Важливо зазначити, що попереково-сідничні болі можуть проявлятися навіть в порівняно молодому віці[11].

Ці ефекти обумовлені певними анатомічними властивостями хребта. Він складається з 24 хребців, між якими розташовані міжхребцеві диски, що з'єднують їх, а також м'язовий корсет, який перетворює хребет на пружну систему, здатну до значного поглинання коливань.



1 – хребець здоровий; 2 і 3 – хребці з виродженням; 4 – хребець із значним виродженням.

Рисунок 2.3 – Схема ділянки хребта

Коливання, які сприймаються людиною, що перебуває в вимушеному сидячому положенні, можуть травмувати хребет, його зв'язуючі структури та суглобовий апарат. Найбільший вплив мають нижні два-три поперекові міжхребцеві диски. Постійний вплив протяжних коливань, які водій відчуває щодня, може призвести до переродження хребта, зокрема, до дегенеративних

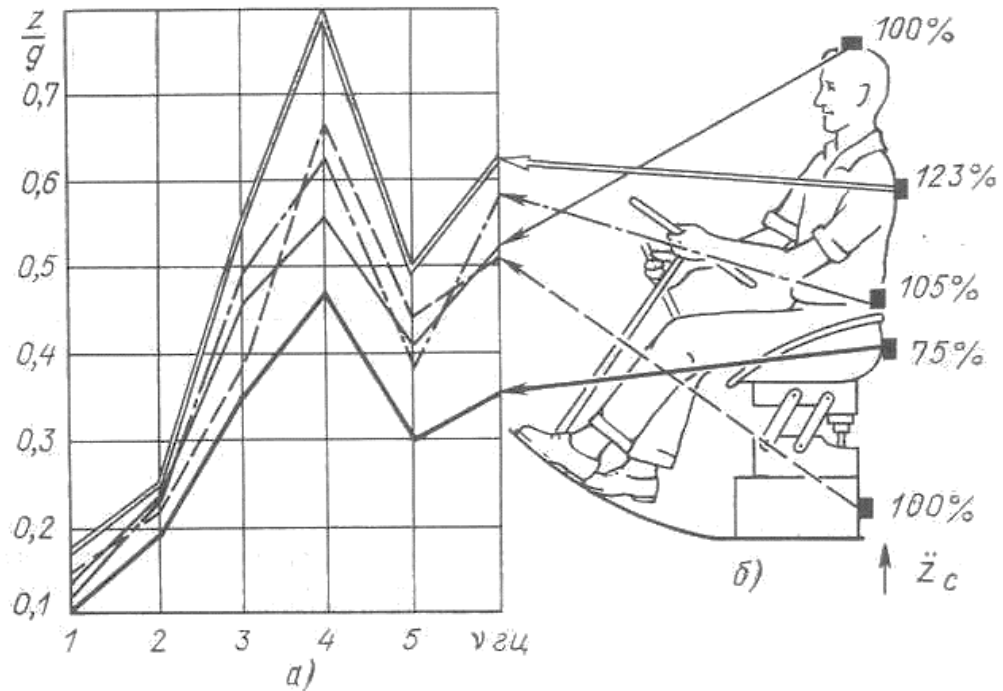
змін. На рис. 2.3 схематично зображені чотири хребці: перший — нормальний, інші (2–4) з різними ступенями переродження, при яких зменшується міжхребцевий простір, виникають зміни в поверхні та формі хребців.

Також варто зазначити, що ідеальний стан хребта зустрічається дуже рідко. Зазвичай після 30 років починаються дегенеративні зміни хребта. Це треба враховувати при відборі випробувальників для оцінки плавності ходу автомобіля, розробки його підвісок та інших характеристик.

2.2 Людина як коливальна система

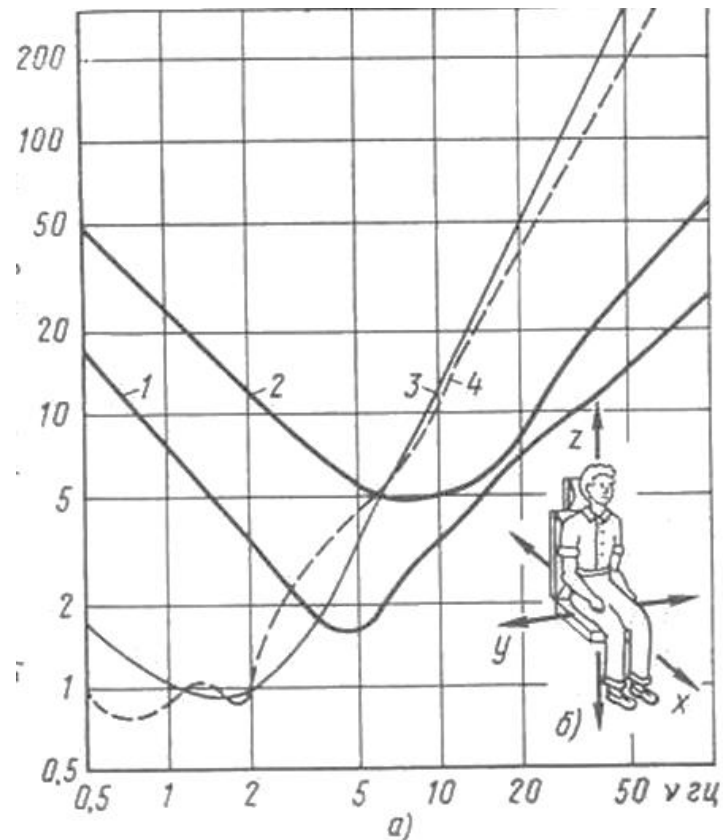
Неодноразові дослідження підтверджують, що людину можна розглядати як коливальну систему, в якій частини тіла під впливом коливань переміщуються відносно одна одної. На рис. 2.4 наведені середні дані, отримані в результаті випробувань на чотирьох різних сидіннях трьох водіїв з масами 51, 70 і 102 кг. Якщо прискорення прийняти за 100%, то підвіска сидіння знижує середнє прискорення тазу до 75%. Пружність торсу (м'язовий корсет хребта, тазовий пояс і черевний прес) збільшує значення прискорень — для попереку до 105%, а для спини — до 123%. Прискорення голови, яка пов'язана з грудною кліткою еластичною системою шийних м'язів, становить 100%[6].

Людину можна розглядати як складну систему, поведінка якої залежить не лише від частоти коливань, але й від напрямку їх впливу. На рис. 2.5 а показано результати випробувань людей на жорсткому сидінні, яке встановлено на вібраційному столі. Всі криві відповідають однаковим відчуттям, але різним напрямкам коливань відносно головних осей тіла людини (рис. 2.5 б). Криві 1 та 2 показують вертикальні коливання, які передаються через сидіння і ноги випробуваної особи відповідно. Для кожного положення тіла є оптимальні частоти, при яких цей рівень відчуттів викликається мінімальними значеннями прискорень. Згідно з отриманими результатами, коливання з частотою нижче 3–4 Гц гірше переносяться при поздовжніх і поперечних коливаннях, а на вищих частотах — при вертикальних. Поздовжні і поперечні коливання сприймаються приблизно однаково, в той час як вертикальні коливання, що передаються через ноги, переносяться набагато краще, ніж ті, що передаються через сидіння.



а – амплітудно-частотні характеристики прискорень; б – положення водія на сидінні і розміщення датчиків.

Рисунок 2.4 – Середні дані, отримані при випробуванні водіїв.



а – криві прискорень вібраційного столу; б – положення головних осей людського тіла; 1 і 2 – вертикальні прискорення, які передаються відповідно через сидіння і ноги; 3 і 4 – поздовжні і поперечні прискорення.

Рисунок 2.5 – Криві, що відповідають однаковим відчуттям сидячих людей при гармонічних коливаннях, різних по частоті і напрямках.

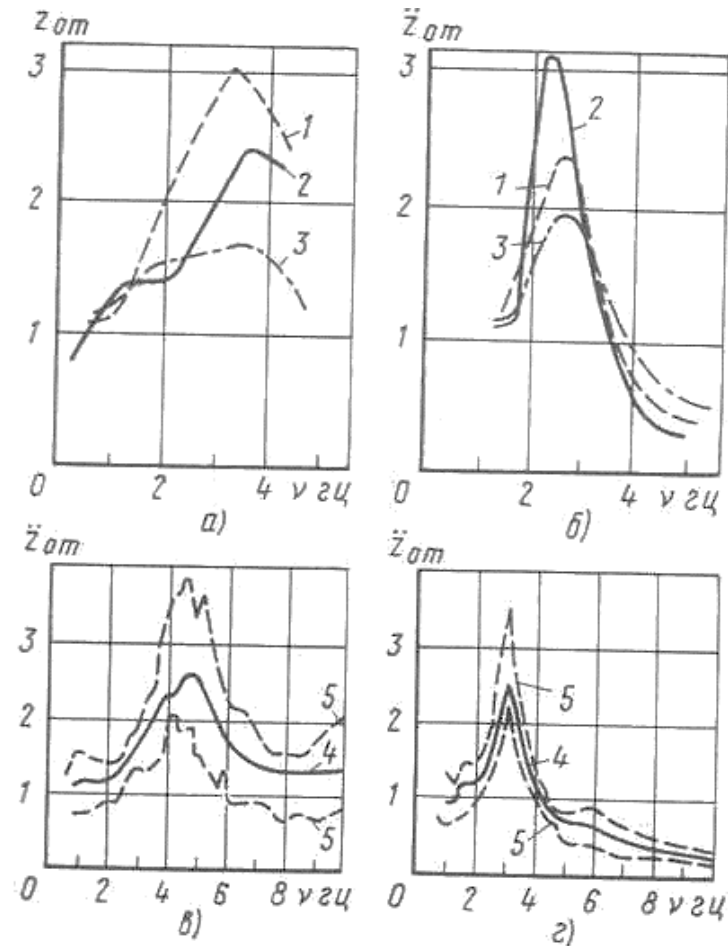
Складність людського організму як коливальної системи пояснюється також нелінійністю та відхиленнями пружних характеристик і характеристик затухання, які існують в м'язах, зв'язках і суглобах людини. Положення і стан тіла можуть значно впливати на його характеристики як коливальної системи. Це підтверджується випробуваннями людини на сидінні з трьома різними варіантами посадки: природною, напруженою (незручна посадка) і розслабленою («вільна посадка»).

Для однієї і тієї ж людини прискорення грудей відносно тазу (рис. 2.6) були найменшими при вільній посадці (крива 3), більшими при напруженій посадці (крива 1) і найбільшими при природній посадці (крива 2). Прискорення тазу відносно вібраційного столу мали інший характер: найбільші прискорення спостерігалися при напруженій посадці, а найменші — при розслабленій. Стан м'язів тіла при різних варіантах посадки надає різний ефект, насамперед змінюючи опір коливанням: чим більше напружені м'язи, тим більше тіло наближається до твердої поверхні, зменшуючи не тільки пружність, а й затухання коливань.

Якщо людина розглядається як коливальна система, то її слід моделювати та потім аналізувати в контексті автомобіля як єдину коливальну систему. Для такого моделювання необхідна основа, зокрема переконання, що людське тіло можна віднести до однієї або обмеженої кількості коливальних систем з стабільними характеристиками[4].

Однак досі недостатньо даних, що дозволяють статистично оцінити вплив індивідуальних відмінностей між людьми на їх характеристики як коливальних систем.

Моделювання людини як пружної системи можна здійснити за допомогою біодинамічних моделей, вибору передавальних функцій людського тіла, а також врахування впливу різних типів коливань і відчуттів на організм людини.



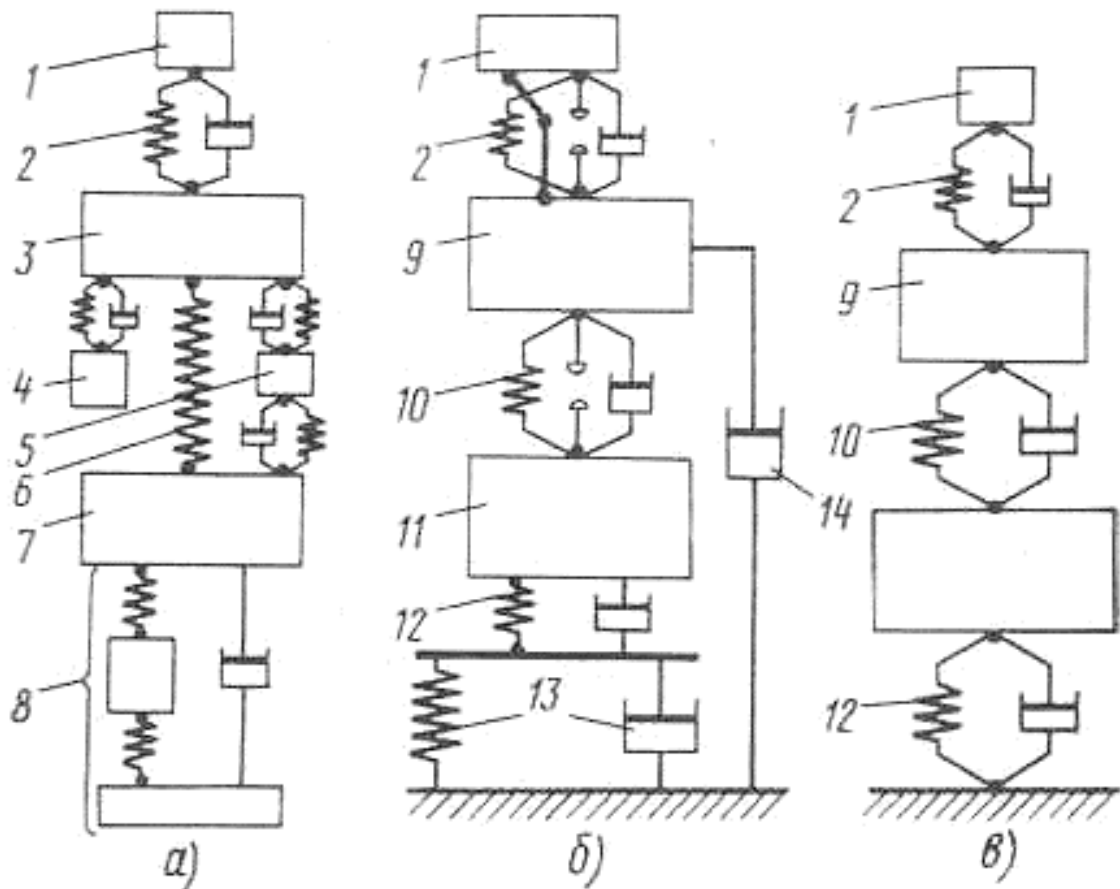
а і б – різні посадки; 1 – природна; 2 – напружена; 3 – вільна; в і г – різні маси та зріст; 4 – середні значення; 5 – граничні значення (а і в – для системи груди-таз; б і г – для системи таз-стіл)

Рисунок 2.6 – Амплітудно-частотні характеристики прискорень в залежності від посадки, маси та зросту людини

Біодинамічні моделі, представлені на рис. 2.7 а, імітують різні маси: голови, грудей, тазу, рук, внутрішніх органів та ніг. Модель, зображена на рис. 2.7 б, є тримасовою і відображає людину, яка сидить і спирається руками на рульове колесо, враховуючи антропометричні дані. Всі маси (голова, ноги, руки тощо) з'єднані пружинами і амортизаторами, що моделюють шийку, м'язи торса (поперек). Пружини та амортизатори, які моделюють м'які частини сидиць, можна ігнорувати, особливо при використанні м'якого сидіння[12].

В звичайному автомобільному сидінні спинка не залежить від подушки. Тому між спинкою сидіння та спиною людини виникає значне тертя, яке в моделі відображено амортизатором. За результатами досліджень, власна частота коливання маси тазу, що спирається на м'яке сидіння, становить 2,8 Гц, для верхньої частини тулуба (грудей) — 4,8 Гц, а для голови — 1,8 Гц. Основна

власна частота коливань людського тіла знаходиться в межах від 3,5 до 5 Гц. Ці дані щодо власних частот коливань тіла є критично важливими для проектування сидінь[5].



1 – голова; 2 – шия; 3 – груди; 4 – руки; 5 – черевна порожнина; 6 – хребет;
7 – таз; 8 – ноги; 9 – грудь і руки; 10 – поперек; 11 – таз і ноги;
12 – ягодиці; 13 – подушка сидіння; 14 – тертя об спинку сидіння.
Рисунок 2.7 – Біодинамічні моделі (а, б і в) людини.

Шия для голови є ділянкою з порівняно малою жорсткістю опору. Під час руху голова здійснює обертальні рухи на шиї, що не тільки навантажує вестибулярний апарат, а й викликає втому м'язів шиї та очей, оскільки очі, що фіксуються на дорозі, повинні зберігати своє положення незалежно від коливань голови і тулуба. Для зменшення втомлюваності пасажирів в автомобілях та автобусах встановлюються підголівники.

Підводячи підсумок, необхідно зазначити, що в удосконалених підвісках, зменшуються коливання кузова автомобіля як на гладких асфальтових дорогах, так і на бездоріжжі, що позитивно впливає на здоров'я водія та пасажирів. Зокрема, зменшується кількість випадків укачування, запаморочення та блювання у пасажирів, тобто навантаження на вестибулярний апарат значно

знижується. Також важливо відзначити зниження втоми і профзахворювань водіїв: завдяки такому вдосконаленню водій може перебувати на дорозі довше без потреби в регулярному відпочинку, що веде до економії часу під час поїздки. Професійні хвороби, як-то проблеми з хребтом, вискакування міжхребцевих дисків, захворювання очей та інші, не зникають повністю, але їх прояви затримуються до більш пізнього віку.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Цифровий акселерометр

Цифрові акселерометри призначені для вимірювання прискорень у трьох напрямках (X, Y, Z) і визначення сил, що діють на об'єкти в їхньому русі. Вони широко використовуються в різних сферах, таких як автомобільна індустрія, наукові дослідження, медицина, робототехніка та електроніка. Призначення та можливості цифрових акселерометрів включають:

Призначення цифрових акселерометрів:

Вимірювання прискорень: цифрові акселерометри вимірюють лінійне прискорення, яке виникає в результаті сили, що діє на об'єкт. Це може бути корисним для визначення швидкості зміни руху, вивчення коливань або виведення векторів руху.

Моніторинг руху: акселерометри часто використовуються для моніторингу та аналізу руху різних об'єктів, таких як транспортні засоби, спортивне обладнання, побутові прилади, мобільні пристрої тощо.

Інтерфейс управління: вони можуть використовуватись у якості інтерфейсів управління, де рух користувача (наприклад, нахил смартфона чи іншого пристрою) впливає на певні дії чи функції приладу.

Виявлення вібрацій і ударів: цифрові акселерометри здатні виявляти вібрації чи удари, що робить їх незамінними в техніці для оцінки стану об'єктів або визначення рівня їхньої пошкодженості.

Перерахуємо можливості цифрових акселерометрів.

Висока точність: сучасні акселерометри можуть вимірювати прискорення з великою точністю, що дозволяє їх застосовувати для моніторингу стабільності, вигнутості конструкцій або руху на високих швидкостях.

Широкий діапазон вимірювань: вони здатні вимірювати прискорення в широкому діапазоні значень — від дуже низьких прискорень (виявлення незначних вібрацій) до високих значень (удари або різкі зміни швидкості).

Цифровий вивід даних: на відміну від аналогових акселерометрів, цифрові моделі надають дані безпосередньо у вигляді числових значень, що легко

передаються для подальшого оброблення комп'ютером або іншими електронними пристроями.

Інтеграція з іншими системами: завдяки цифровому виходу даних, акселерометри можна без проблем інтегрувати в більш складні системи автоматизації, моніторингу або контролю — наприклад, у системи активної безпеки автомобіля, де дані акселерометра можуть використовуватися для управління стабілізацією руху або системою вибухових подушок.

Інтерфейси і налаштування: більшість цифрових акселерометрів дозволяють програмувати або налаштовувати параметри вимірювань, як-то чутливість, діапазон вимірювань, частотні характеристики тощо, для оптимізації використання залежно від умов експлуатації.

Швидкість і частота дискретизації: цифрові акселерометри здатні здійснювати вимірювання з високими частотами дискретизації (від кількох герц до кількох кілогерц), що дозволяє проводити точні вимірювання при швидких або динамічних змінах руху.

Ми використали акселерометр FXLS8967AF від виробника NXP[16]. Цей пристрій живиться безпосередньо від порту USB, має компактні розміри (20x20x5 мм) та може вимірювати в діапазоні ± 16 g. Частотний діапазон вимірювань становить від 0,78 до 3200 Гц.

Для збору і аналізу даних застосовувалася програма Accelerometer Meter[19]. Вона дозволяє записувати миттєві прискорення акселерометра із максимальною частотою дискретизації 1 Гц, яка є достатньою для наших досліджень. Крім того, програма дозволяє проводити спектральний аналіз коливань до 100 Гц.

Отримані дані зберігаються у текстовому форматі, що полегшує їх імпорт до середовища Excel для подальшого аналізу.

3.2 Мета проведення експериментальних досліджень

Метою проведення наших експериментальних досліджень було:

- дослідження плавності ходу автомобіля за допомогою визначення миттєвих прискорень його салону за допомогою використання акселерометра для різних типів легкових автомобілів;

- дослідження плавності ходу автомобіля при нормальному нормальному технічному стані та при несправностях підвіски та подушок кріплення двигуна.

Для виконання наших експериментальних досліджень використовувались автомобілі Mercedes W210 E220 2001 р.в. та Fiat Doblo 1,3 DCi 2006 р.в.

3.3 Дослідження коливань автомобілів під час їздових випробувань

Як було вказано вище, для дослідження плавності ходу, а отже миттєвих прискорень кузова (тобто самих коливань) було використано цифровий акселерометр. Частина досліджень проводились при незадовільному технічному стані підвіски автомобіля Fiat, друга частина експериментів проводилась при повністю справній та правильно налаштованій підвісці цього автомобіля та для порівняння проведено дослідження коливань автомобіля Mercedes.

Для проведення експериментальних досліджень використовувалась дорога із полотном не надто хорошої якості та облаштована частково асфальтним покриттям та покриттям із бруківки.

Задля достовірності отриманих результатів експериментальні дослідження проводились із однаковою швидкістю руху (50 км/год), а в якості точки синхронізації використовувалась точка з'єднання покриття дороги із асфальту та бруківки, оскільки тут присутній досить помітний перехід дорожнього покриття у вигляді невеликого горба.

Оскільки обладнання під час однієї поїздки збирає величезний обсяг даних (близько 5000 точок), для спрощення аналізу було здійснено вибіркове скорочення їх кількості. Вибрані дані репрезентують загальну характеристику роботи підвіски в різних умовах експлуатації. Такий підхід дозволяє провести ефективний аналіз без втрати суттєвої інформації про поведінку підвіски.

На рис. 3.1 представлено зміну прискорення кузова автомобіля Fiat у часі на ділянці дороги з бруківкою. Отримані результати свідчать, що максимальна амплітуда коливань на цій ділянці досягає $8,5 \text{ м/с}^2$.

На рис. 3.2 показано зміну прискорення кузова автомобіля Mercedes на тому самому відрізку дороги. У цьому випадку максимальна амплітуда коливань складає лише $1,8 \text{ м/с}^2$.

Порівняння двох графіків демонструє суттєве зменшення амплітуди коливань для автомобіля Mercedes, що свідчить про значно покращену плавність ходу та підвищення рівня комфорту. Це також підтверджується суб'єктивними відчуттями, зафіксованими під час експерименту.

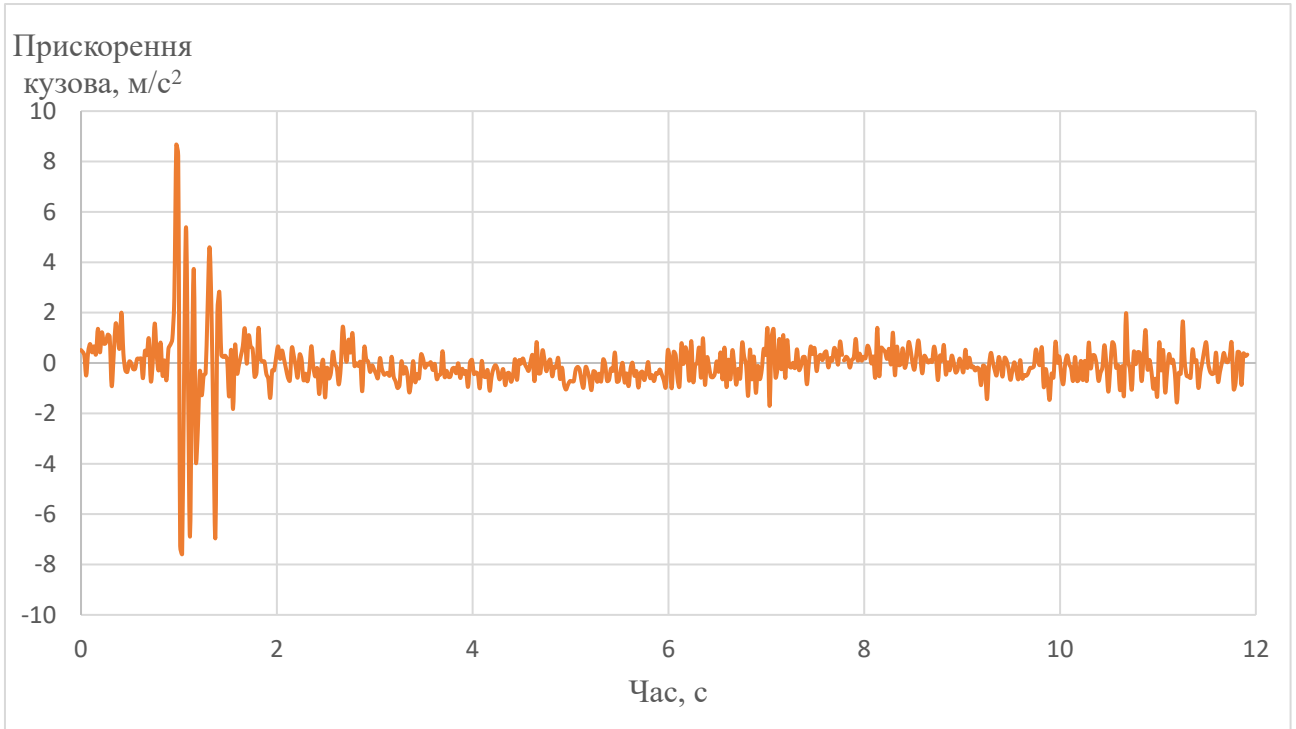


Рисунок 3.1. Прискорення кузова автомобіля Fiat.

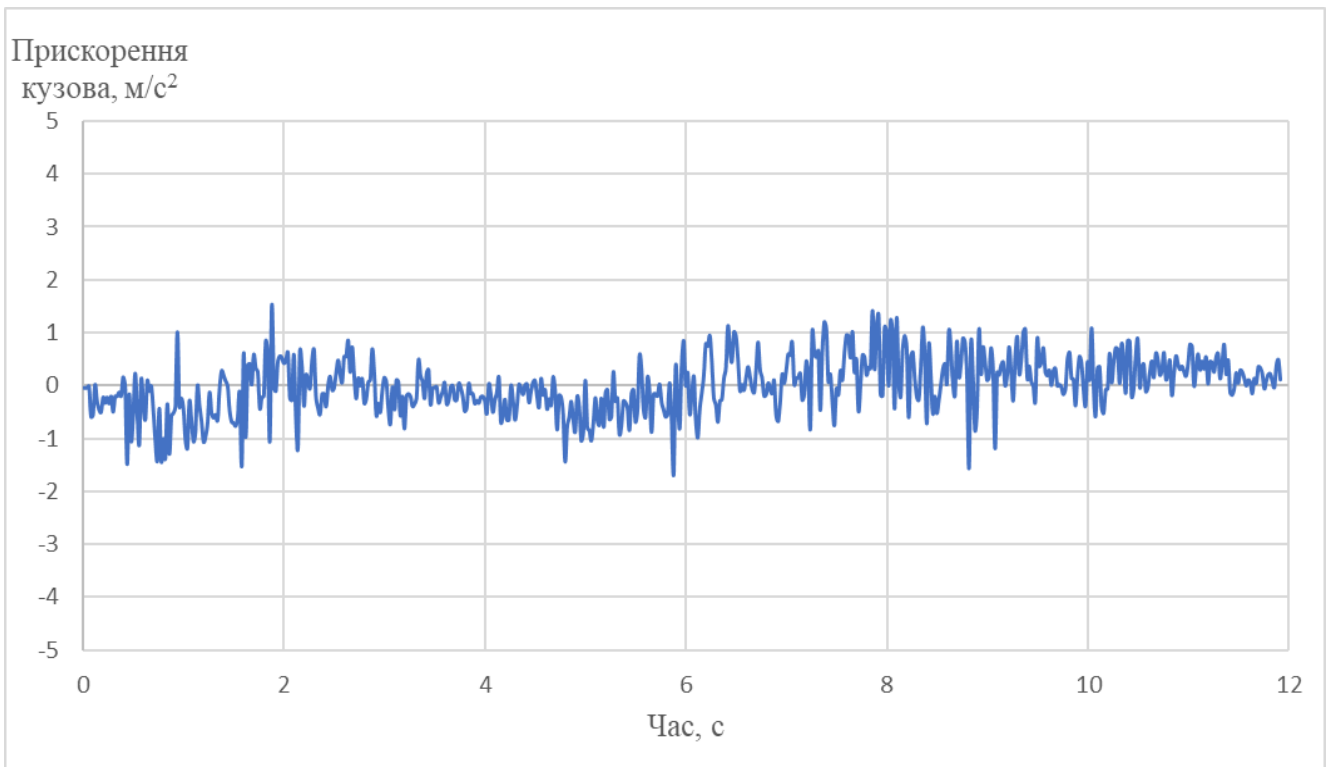


Рисунок 3.2. Прискорення кузова автомобіля Mercedes.

Також було проведено аналіз спектру частот коливань кузова обох досліджуваних автомобілів у діапазоні 3–100 Гц. Результати для автомобіля Fiat із справною системою підвіски представлені на рис. 3.3, а для автомобіля Mercedes — на рис. 3.4.

Ці графіки дозволяють оцінити частотну характеристику коливань кожного автомобіля та виявити домінуючі частоти, які впливають на комфорт під час їзди.

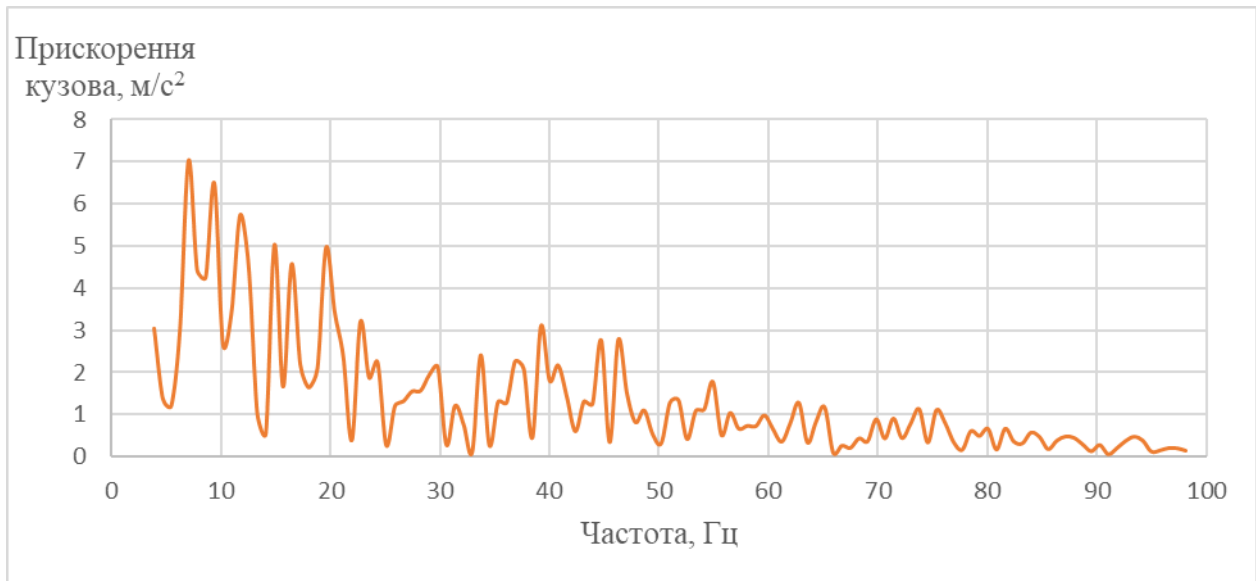


Рисунок 3.3. Спектр коливань кузова автомобіля Fiat.

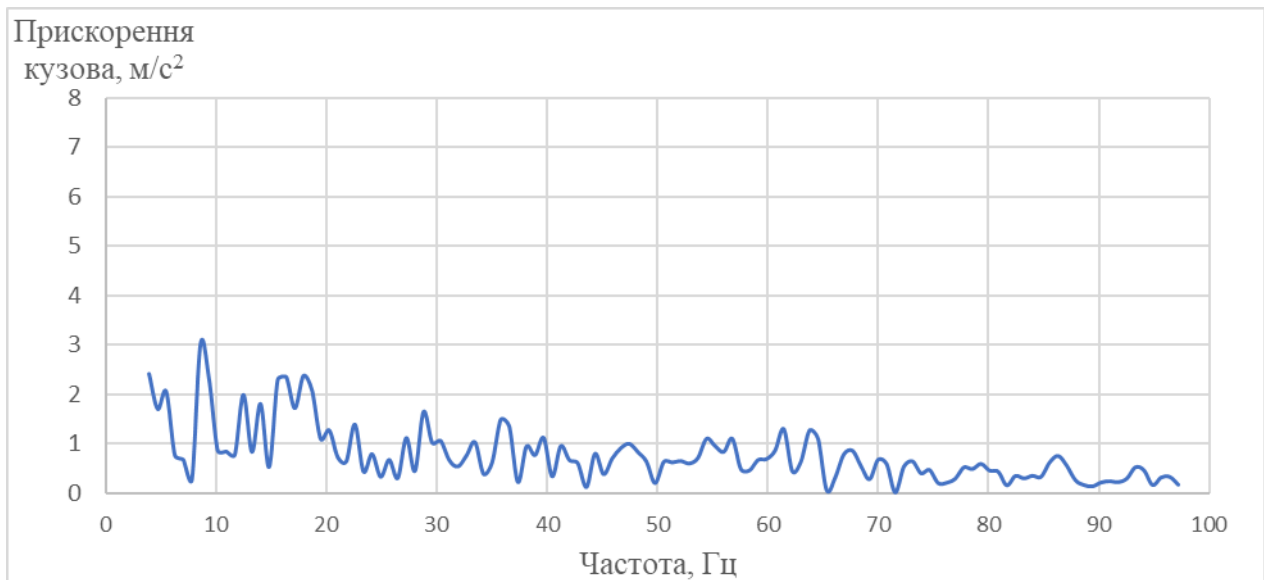


Рисунок 3.4. Спектр коливань кузова автомобіля Mercedes.

Аналізуючи отримані результати, видно, що для автомобіля Fiat амплітуда коливань при всіх частотах є значно вищою. Також видно, що в даному автомобілі є відчутними вібрації. Очевидно це пов'язано як і з масою автомобіля,

типом шин, що використовується та конструктивними особливостями самої підвіски.

Амплітуда коливань (за дослідженням змін прискорень кузова): Mercedes W210: максимальна амплітуда коливань — $1,8 \text{ м/с}^2$.

Спектр частот у межах 3–100 Гц демонструє розподіл енергії з переважанням нижчих частот (характерно для м'якої підвіски).

Fiat Doblo: максимальна амплітуда коливань — 8 м/с^2 на дорожньому покритті з бруківкою. В спектрі частот вищий рівень енергії у середньо- та високочастотних зонах (характерно для жорсткої підвіски).

Підвіска Mercedes W210 краще поглинає нерівності дороги, що знижує вібрації, передані на кузов і салон. Забезпечує кращий комфорт, менше стомлення водія та пасажирів, особливо на довгих дистанціях.

Fiat Doblo: відчутно більш жорстка підвіска, яка краще пристосована до перевезення вантажів. Менший комфорт під час їзди, особливо на поганих дорогах, але конструкція підвіски залишається більш витривалою для експлуатації у важких умовах.

Висновки.

В даному експерименті Mercedes W210 є беззаперечним лідером у забезпеченні плавності ходу, завдяки вдосконаленій конструкції підвіски та орієнтації на комфорт. Автомобіль менше піддається вібраціям і демонструє краще загасання коливань.

Fiat Doblo більше адаптований для практичного використання (перевезення вантажів, експлуатація на поганих дорогах), однак має обмежені показники комфорту та суттєві коливання під час руху на нерівностях.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Структурно-функціональний аналіз робіт та моделювання травмонебезпечних ситуацій

Процеси формування та виникнення аварій, а також виробничих травм є випадковими подіями (явищами), що утворюють конкретну аварійну або травмонебезпечну ситуацію і пов'язані між собою причинно-наслідковими зв'язками. В них є початкові, проміжні та кінцеві події. Усі початкові події (небезпечні умови, небезпечні дії) слід виявляти у процесі обстеження об'єктів виробництва, а проміжні та кінцеві на основі логічного аналізу можливих варіантів перебігу подій.

Поняття «початкові події» введено умовно, бо насправді цим подіям можуть передувати інші. Але вони першими помічаються при обстеженні робочих місць та інших об'єктів виробництва. Якщо на схемах, що зображують процеси перебігу випадкових подій, починаючи з початкових і закінчуючи кінцевими, показати причинно-наслідкові зв'язки, то ми одержимо логічні моделі процесів, що вивчаються.

Логічна модель процесу формування та виникнення небезпечної або аварійної ситуації (табл. 4.1) складається з певної кількості випадкових подій, які між собою можуть бути статистичне залежними або незалежними. Статистичне залежні події – це такі, коли поява наступної події неможлива без виникнення попередньої. Якщо кожна з двох подій, що входять до однієї моделі, можуть з'являтися незалежно одна від одної, то такі події є статистичне незалежними. Як правило, у таких моделях незалежні випадкові події одна відносно одної розміщуються паралельно, а залежні - послідовно.

Причинно-наслідкові зв'язки зображені стрілками, які, крім того, ще показують напрямок протікання (перебігу) подій. Шляхом дослідження небезпечних ситуацій, які можуть виникати при експлуатації виробничого обладнання в галузях автомобільного господарства, описані і побудовані логічні моделі різні за формою і характером подій.

Таблиця 4.1
 Моделювання травмонебезпечних і аварійних ситуацій

Вид робіт	Виробнича небезпека			Можливі наслідки	Заходи запобігання небезпечній ситуації
	Небезпечна умова (НУ)	Небезпечна дія (НД)	Небезпечна ситуація (НС)		
Монтаж-демонтаж амортизатора	Монтаж амортизатора на автомобіль здійснюється вручну НУ	Можливе випадкове падіння важеля НД ₁ Можливе падіння амортизатора НД ₂	Можливе падіння амортизатора на працівника, взаємодія радіатора із органами працівника	Травма, аварія	Автомобіль повинен бути надійно зафіксованим перед монтажем, користуватись спеціальним взуттям
<p>НУ → НД₁ → НС → Т ↑ НД₂</p> <p>Модель процесу</p>					
Виконання розбирально-складальних операцій	Неналежний технічний стан інструменту НУ	Зривання ключа з граней кріпильних елементів НД	Удар кистю руки об елементи стенду НС	Травма	Використання справного інструменту
<p>НУ → НД → НС → Т</p> <p>Модель процесу</p>					

Це дало можливість перейти до побудови більш складних моделей аварій, травм і катастроф, які потрібні для встановлення причин виникнення потенційних небезпек, без чого неможливо взяти обґрунтованих профілактичних заходів.

Метод логічного моделювання потенційних аварій, травм і катастроф відкриває можливість розробити досконалу систему управління безпекою життєдіяльності виробництва, яка базується на оперативному пошуку виробничих небезпек, їх глибокому логічному (при необхідності і математичному) аналізі й терміновому прийнятті заходів для усунення

потенційних небезпек, ще до виникнення травмонебезпечних та катастрофічних ситуацій. Процес пошуку потенційних небезпек на виробництві ґрунтується на більш точному і ефективному проведенні існуючого оперативного контролю, який також повинен бути відповідно удосконалений [20,22].

Аналізуючи кожну з побудованих логічних моделей процесів формування та можливого виникнення травмонебезпечних та аварійних ситуацій, завжди можна знайти подію, з якої починається небезпечний процес і до виникнення небезпечних наслідків (табл. 4.1). Якщо дослідження логічних зв'язків провести у зворотному напрямку, то обов'язково можна знайти ту подію (явище), що є причиною (однієї з причин) формування досліджуваного процесу. Метод логічного моделювання травмонебезпечних аварійних та інших ситуацій значно полегшує пошук причин аварій, виробничих травм і дорожньо-транспортних пригод при їх розслідуванні.

4.2 Заходи з охорони праці під час виконання технологічної операції

Профілактичне обслуговування та ремонт транспортних засобів необхідно виконувати згідно з Положенням про профілактичне обслуговування та ремонт рухомого складу автомобільного транспорту, Правилами технічної експлуатації рухомого складу автомобільного транспорту.

Профілактичне обслуговування та ремонт транспортних засобів проводяться на спеціально відведених ділянках, робочих місцях (постах), які оснащені необхідним устаткуванням, пристроями, інструментом, приладами згідно з нормативно-технологічною документацією.

Розташування постів профілактичного обслуговування та ремонту, відстань між автомобілями, що установлені на цих постах, а також між автомобілями і конструкціями будівель повинні відповідати нормам технологічного проектування.

Установлювати автомобілі в кількості, що перевищує норму, порушувати спосіб розстановки, зменшувати відстань між транспортними засобами і елементами будівель забороняється.

Виробниче устаткування і робочі місця слід розташовувати з урахуванням безпеки працюючих, зручності при виконанні технологічних операцій згідно з нормами технологічного проектування підприємств автомобільного транспорту ОНТП 01-91.

Робітники, які проводять обслуговування та ремонт транспортних засобів, агрегатів, вузлів та деталей, повинні мати справні інструменти та пристрої, що відповідають вимогам безпеки.

Перед початком роботи слід перевірити весь інструмент, несправний інструмент необхідно замінити.

Під час роботи устаткування не допускається його чищення, змазування або ремонт.

Пристрої та інструменти, необхідні для виконання робіт, повинні використовуватись за призначенням, їх слід розміщувати у легкодоступних місцях таким чином, щоб виключалась можливість випадкового переміщення або падіння.

Робочі місця, виконання робіт на яких пов'язано з небезпекою для працюючих, повинні позначатися знаками безпеки згідно з ДСТУ 12.4.026-76 та відповідними галузевими нормативними документами.

Для зняття, установлення, а в окремих випадках транспортування деталей, вузлів, агрегатів вагою більше 20 кг необхідно використовувати підйомно-транспортні механізми, які обладнані спеціальними пристроями (захватами).

Під час проведення робіт на постах обслуговування та ремонту, діагностики автомобілів з працюючим двигуном повинні застосовуватись пристрої для відведення відпрацьованих газів.

Забороняється у виробничих приміщеннях, де знаходяться автомобілі, у баках та балонах яких є паливо, зберігаються або використовуються горючі

та легкозаймисті матеріали і рідини (бензин, гас, стиснутий і зріджений горючий газ, фарби, розчинники, стружка, вата тощо), користуватися відкритим вогнем.

Відходи виробництва, відпрацьовані матеріали тощо повинні після кожної роботи прибиратися з робочого місця. Пролиті легкозаймисті та горючі матеріали повинні бути негайно видалені.

Прибирати робочі місця від пилу, ошурків, стружки, дозволяється тільки щіткою. Забороняється здувати їх стиснутим повітрям.

Пуск двигуна та зрушення автомобіля з місця, його в'їзд і виїзд з виробничих приміщень слід проводити за умови забезпечення безпеки працюючих.

Забороняється знаходження сторонніх людей на робочих місцях, де відбуваються роботи з підвищеною небезпекою.

Особи, зайняті на роботах з профілактичного обслуговування та ремонту транспортних засобів, повинні використовувати засоби індивідуального захисту. Особи, які проводять перевірку технічного стану, обслуговування та ремонт транспортних засобів на оглядових канавах, підйомниках та естакадах, повинні працювати у захисних касках.

При проведенні обслуговування та ремонту транспортних засобів поза підприємством слід виконувати вимоги безпеки, приведені у цьому розділі.

У зоні технічного обслуговування і ремонту автомобілів забороняється:

- виконувати роботи на робочих місцях, які не відповідають вимогам безпеки;
- протирати автомобіль і мити агрегати, легкозаймистими рідинами (бензином, розчинниками і т.п.);
- зберігати легкозаймисті рідини і горючі матеріали, кислоти, фарби, карбід кальцію тощо в кількостях більше змінної потреби;
- проводити роботи з відкритим вогнем без спеціального дозволу і вжиття заходів протипожежної безпеки;

- заправляти автомобіль паливом;
- зберігати чисті обтиральні матеріали разом з використаними;
- захищати проходи між стелажми і виходи з приміщень матеріалами, обладнанням, тарою, знятими агрегатами тощо;
- зберігати відпрацьоване масло, порожню тару з-під палива і мастильних матеріалів;
- при установці автомобіля на оглядову яму перекривати їм основний і запасний виходи з неї;
- встановлювати автомобілі з відкритою горловиною баків і при наявності течії із паливної системи.
- підключати електроінструмент до мережі при відсутності або несправності штепсельного роз'єму;
- переносити електричний інструмент, тримаючи його за кабель, а також торкатися рукою частин, що обертаються, до їх зупинки;
- направляти струмінь повітря на себе або на інших при роботі з пневматичним інструментом;
- встановлювати прокладку між зівом ключа і гранями гайок і болтів, а також нарощувати ключ трубою або іншими важелями, якщо це не передбачено конструкцією ключа.

Для перевірки і випробовування гальм на стенді необхідно вжити заходів, що виключають самовільне скочення автомобіля з валиків стенда.

Робота на діагностичних і інших постах з працюючим двигуном дозволяється при включеній місцевій витяжній вентиляції, яка ефективно видаляє відпрацьовані гази.

Забороняється працювати у виробничих приміщеннях, де виділяються шкідливі речовини, при несправній або не включеній вентиляції.

На дільницях і в цехах, де ведуться роботи з деталями, забрудненими етилованим бензином, повинні встановлюватися баки з гасом.

У разі попадання етилованого бензину на шкіру рук або інші частини тіла необхідно обмити ці місця гасом, а потім теплою водою з милом.

Забороняється працювати на обладнанні зі знятим, незакріпленим або несправним обгороджуванням.

4.3 Розрахунок штучного освітлення зони технічного обслуговування

Світло має велике значення для роботи і збереження здоров'я людини, так як діє на органи зору, а через них на центральну нервову систему. Раціональне освітлення виробничих приміщень відіграє важливу роль у створенні сприятливих і безпечних умов праці.

Недостатнє або неправильно виконане освітлення примушує робочого ближче нахилитися до оброблюваної деталі, що збільшує небезпеку пошкодження лиця або очей.

Результати дослідження показують, що покращення виробничого освітлення забезпечує: підвищення продуктивності праці і зниження браку продукції в середньому на 1,5-2%, зниження втомлюваності працюючих в 1-1,5 рази, зменшення числа нещасних випадків на 30%.

В залежності від джерела світла освітлення поділяється на природне, штучне і суміщене [21, 22].

В проєктованій зоні є суміщене освітлення, тобто природне світло потрапляє туди через вікна і двері, але його недостатньо для забезпечення нормальної видимості, тому виконано розрахунок штучного освітлення.

Освітлення у виробничих приміщеннях характеризується рядом кількісних і якісних показників. Кількісні показники це світловий потік Φ , сила світла I , освітленість E , яскравість L коефіцієнт відбиття ρ . Якісні показники це: фон, контраст K , коефіцієнт пульсації k_p .

Величина нормованої освітленості E_n регламентується ДБН В.2.5-28:2018 в залежності від розряду роботи з врахуванням фону, контрасту між об'єктом і фоном. Норми освітлення робочих поверхонь у виробничих приміщеннях наведені у спеціальних таблицях.

Розрахунок загального штучного освітлення виконується методом коефіцієнта використання або методом граничної потужності. Метод граничної потужності є менш точним. Даний метод дозволяє визначити

світловий потік ламп, необхідний для достатньо великої території. В місцях, де освітлення не відповідає нормам використовують комбіноване освітлення. Воно складається із загального та місцевого освітлення.

$$P = P_u \cdot S = 18,8 \cdot 110 = 2068 \text{ Вт}, \quad (4.1)$$

де P – електрична потужність ламп, Вт;

P_u – питома потужність, Вт/м²;

S – площа приміщення, м².

Маючи питому потужність ламп, можна визначити кількість ламп певної потужності. У розроблювальній зоні використовуються світлодіодні лампи потужністю 50 Вт, їх світлова віддача становить 110 лм Вт, термін служби таких ламп становить 10000 год.

$$n = P/P_l = 2068/110 = 18,8$$

Приймаємо $n = 19$ шт.

Лампи використовуються разом із світильниками. Світильники призначені для перерозподілу світлового потоку з метою підвищення економічності освітлювальної установки, для захищення очей від дії джерел світла великої яскравості, для захисту джерел світла від забруднення і механічного пошкодження, забезпечення пожежної і вибухової безпеки, для закріплення лампи. Світильники є трьох типів: прямого світла, розсіяного і відбитого. По призначенню діляться на світильники загального і місцевого освітлення. При використанні світлодіодних ламп для освітлення виробничих приміщень з малою запиленістю і нормальною вологістю використовуються світильники типу ОД, а в приміщеннях з вмістом пилу і вологи закриті світильники ПВЛ (пилевологозахисний світлодіодний)

Вихідні дані:

$a = 11$ м – довжина приміщення ;

$b = 10$ м – ширина приміщення;

$H = 6,2$ м – висота приміщення;

Поверхні стендів, столів знаходяться на висоті $h_p = 1,0$ м.

Мінімальна освітленість, враховуючи категорію робіт, 200 лк.

Площа приміщення $S=110 \text{ м}^2$.

Коефіцієнт запасу освітленості $K=1,5$ при коефіцієнті нерівномірності освітлення $Z=1,2$.

Враховуючи специфіку ділянки використаємо водонепроникний світильник з матовим склом. З конструктивних міркувань висота підвіски світильника.

$$h_c=(0.2-0.5)H = 0,4 \cdot 7,2=2,9 \text{ м.}$$

Проведемо розрахунок:

Висота підвішування світильника.

$$H_c = H - h_c - h_p = 7,2 - 2,9 - 1,0 = 3,3 \text{ м;}$$

$$\frac{L}{H_c} = 1,4,$$

тоді

$$L = 3,3 \cdot 1,4 = 4,62 \text{ м.}$$

Кількість світильників визначаємо за формулою:

$$n = \frac{S_n}{L^2} = \frac{142}{4.62^2} = 6.6.$$

Приймаємо 8 світильників. Причому розміщуємо їх в 2 ряди: в I – 4 світильники, в II – 4 світильники (див. план розташування ділянки).

Визначаємо показник приміщення

$$i = \frac{S_n}{H_c(a+b)} = \frac{142}{3.3(16+9)} = 1.72.$$

Визначаємо коефіцієнт використання установки: при $i=1.72$ для вибраного типу світильника $\eta=57\%$ – коефіцієнт використання світлового потоку ламп; $\rho_c = 70\%$ – коефіцієнт відбиття стелі; $\rho_{cm} = 50\%$ – коефіцієнт відбиття стін.

Визначаємо світловий потік однієї лампи за формулою:

$$F_{\lambda} = \frac{E_{\min} \cdot S_n \cdot z \cdot k}{n \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 142 \cdot 1.2 \cdot 1.5}{7 \cdot 0.57} = 12788 \text{ лм.}$$

Згідно ДСТУ 2039-60 вибираємо лампу потужністю 30 Вт при напрузі $U=220\text{ В}$ з фактичним світловим потоком 20000 лм.

Фактична освітлюваність

$$E_{\phi} = E_{\min} \frac{F_{\text{факт}}}{F_{\text{л}}} = \frac{200 \cdot 20000}{12788} = 313 \text{ лм.}$$

Висновок: згідно розрахунку штучне освітлення на ділянці відповідає вимогам існуючих норм, так як $E_{\phi} > E_{\min}$.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Економічна ефективність показує правильність прийнятих економічних вирішень відносно способу використання трудових, грошових та матеріальних ресурсів. Вона вираховується згідно типової методики, в котрій визначено методи стосовно проведення розрахунку та обґрунтування капітальних вкладень, що стосуються галузей організації та механізації робіт щодо проведення ремонту та обслуговування автомобілів [20].

Розрахувати економічну ефективність нашої дипломної роботи можна внаслідок впровадження запропонованих нами методів проведення діагностики на сервісному підприємстві, що займається поточним ремонтом та проведенням ТО автомобілів. Проведемо наші економічні розрахунки для пункту ПР та ТО системи живлення дизельних двигунів із безпосереднім впорскуванням при побудові окремої станції техобслуговування та використанні в якості робочої сили двох сервісних працівників.

1.1 Визначення затрат на оплату праці робітників

Основна оплата праці рахується слідуючим чином.

$$З_{\text{осн}} = T_{\text{рм}} * C_{\text{гр}} * K_{\text{днч}}, \text{ грн.}$$

де, $T_{\text{рм}}$ – загальна трудомісткість станції,

$$T_{\text{рм}} = 4900 \text{ люд.год.};$$

$C_{\text{гр}}$ – середньогодинна тарифна ставка робітника, $C_{\text{гр}} = 55 \text{ грн./год.};$

$K_{\text{днч}}$ – коефіцієнт доплат за неурочний час, $K_{\text{днч}} = 1,04;$

$$З_{\text{осн}} = 4900 * 55 * 1,04 = 280280 \text{ грн.}$$

Додаткова оплата праці .

Додаткова оплата праці $З_{\text{дод}}$ беремо в розмірі 12 % від основної оплати праці:

$$З_{\text{дод}} = 0,12 * З_{\text{осн}} = 0,12 * 280280 = 33634 \text{ грн.}$$

Нарахування на оплату праці сервісного працівника становить 36,5% від суми основної та додаткової оплати праці .

$$З_{\text{нар}} = 0,365 * (280280 + 33634) = 114568 \text{ грн.}$$

Приймаємо , що час для проведення повної діагностики одного авто становить приблизно 4... 6 люд.-год., тоді кількість обслуговувань автомобілів на рік становитиме 690 авто/рік.

Вартість запасних частин , які використовують на один процес загальної діагностики системи підвіски на 1 одиницю становить 400 грн.

Сума усіх запасних частин на рік становитиме:

$$C_{зпч.} = 690 * 400 = 276000 \text{ грн.}$$

Ціна витратних матеріалів, для проведення однієї процедури ремонту та діагностики чи ремонту, становить 200 грн., тобто за рік буде становити:

$$C_{зм} = 690 * 200 = 138000 \text{ грн.}$$

Уся заробітна плата працівнику сервісної станції:

$$З_{пзг} = З_{посн} + З_{под} + З_{нар} = 280280 + 33634 + 114568 = 428482 \text{ грн. ;}$$

Загальна сума прямих витрат за рік складатиме :

$$C_{зпв.} = 138000 + 138000 = 276000 \text{ грн.}$$

Накладні затрати $C_{н.в} = C_{з.в} + C_{з.г} + C_{п.в}$.

де , $C_{з.в}$ – загально-виробничі витрати, грн.;

$C_{з.г}$ – загально-господарські затрати, грн.;

$C_{п.в}$ – позавиробничі затрати, грн.;

Загально-виробничі затрати визначаємо згідно формули:

$$C_{зв} = З_{птп, моп} + C_{зд.м} + C_{за} + C_{зпр} + C_{зуст} + C_{зел} + C_{зпар} + C_{зпоб} + C_{зоп} + C_{зох.п} + C_{зрац} + C_{зп-т} + C_{зрем} ;$$

$З_{птп, моп}$ – річна оплата праці, грн.

На ділянці у нас працюють два сервісних механіки, отже середньорічні затрати на заробітню плату становитимуть :

$$З_{птп, моп} = 374000,4 \text{ грн. ;}$$

$C_{зд.м}$ – затрати на додаткові матеріали беруться в розмірі 11% від вартості основних матеріалів з прямих витрат по формулі

$$C_{зд.м} = 0,11 * C_{м} = 0,11 * 147800 = 14780 \text{ грн. ,}$$

$S_{ЗА}$ – річна сума відрахувань на амортизацію, що вираховується виходячи з річних норм відрахувань на амортизацію та балансової ціни основних фондів.

Амортизація може нараховуватись лише тільки для повного відновлення основних фондів.

1.2 Визначення вартості основних фондів

Розрахунок об'єму будівлі :

$$V_B = F * h = 90 * 4,2 = 378 \text{ м}^3 ,$$

де, F – площа будівлі сервісу, м^2 ;

h – висота будівлі сервісу, м.

Ціна будівлі :

для нашого випадку становитиме:

$$V_{Зб.с} = 1200 * V_B = 378 * 1200 = 453600 \text{ грн.}$$

Ціна обладнання для сервісу розраховується в залежності від ціни будівель , та приймається на рівні 0,7 від ціни будівлі .

$$V_{Зобл} = 0,7 * V_{Зб.с} = 0,7 * 453600 = 317520 \text{ грн.}$$

Сумарна ціна основних виробничих фондів :

$$\Phi_{Цосн} = (V_{Зобл} + V_{Зб.с}) * K_{Кінш} * K_{Кінд}$$

де , $K_{Кінш}$ – коефіцієнт , що враховує інші основні фонди , $K_{Кінш} = 1,21$,

$K_{Кінд} = 1,12$ – коефіцієнт, що враховує рівень індексації зростання у будівництві .

$$\Phi_{Цосн} = (453600 + 317520) * 1,21 * 1,12 = 1045021 \text{ грн.}$$

$S_{Зпр}$, $S_{Зуст}$ – затрати щодо утримання та проведення ремонту будівлі за рік беремо 13% від балансової вартості основних фондів :

$$S_{Зпр} + S_{Зуст} = 0,13 * 1045021 = 135852 \text{ грн.}$$

$S_{Зел}$ – затрати по електроенергії

Амортизаційні відрахування

Група основних фондів	Балансова вартість	Процент %	Річна сума амортизаційних відрахувань
I Будівлі і споруди	453600	6	27216
II Транспортні засоби	0	25	0
III Інші основні фонди та обладнання	1045021	15	156753,15
Всього :	1498621	-	183969,15

Загальногосподарські затрати :

$$C_{зг} = (0,4 \dots 0,6) \cdot Z_{зар} = 0,55 \cdot 158634,8 = 79816,4 \text{ грн.},$$

Позавиробничі затрати :

$$C_{пв} = (0,05 \dots 0,1) \cdot Z_{зар} = 0,08 \cdot 158634,8 = 13622,61 \text{ грн.}$$

Загальна сума накладних витрат в проектному періоді складе :

$$C_{знв} = 463986 + 86817,4 + 11522,61 = 502326,01 \text{ грн.}$$

Повна собівартість всіх робіт по ремонту :

$$C_{зпов} = C_{зпов} + C_{знв} = 365150 + 492326,01 = 847475,01 \text{ грн.}$$

а) Затрати електроенергії на силові потреби

- електроенергія для технологічних потреб :

$$P_{ссил} = N_{вобл} \cdot \Phi_{р} \cdot K_{зз} \cdot K_{звтр} ;$$

де , $N_{вобл}$ – встановлена потужність обладнання , $N_{обл} = 4 \text{ кВт}$,

$K_{звтр}$ – коефіцієнт , що враховує втрати у мережі , $K_{втр} = 1,05$,

$K_{зз}$ – коефіцієнт завантаження , $K_{з} = 0,9$,

$\Phi_{р}$ – річний фонд робочого часу , $\Phi_{р} = 2080 \text{ год}$,

$$P_{ссил} = 4 \cdot 2080 \cdot 0,9 \cdot 1,05 = 4936,76 \text{ кВт/год.}$$

б) затрати електроенергії для освітлення робочого місця:

$$P_{сосв} = N_{собл} \cdot \Phi_{зр} \cdot K_{звдк}$$

де , $\Phi_{вр}$ – річний фонд роботи , (при однозмінній роботі 600-800год.)

$N_{обл}$ – зальна потужність освітлення ,

$K_{\text{ВІДК}}$ – коефіцієнт відключень , $K_{\text{ВІДК}} = 0,85$;

$$P_{\text{СОСВ}} = N_{\text{обл}} * 600 * 0,85 = 0,35 * 800 * 0,85 = 248 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

$$N_{\text{обл}} = 10 * 40 + 5 * 10 = 450 \text{ Вт.}$$

Повна сума споживаної електроенергії становитиме :

$$C_{\text{ЕЛ}} = (P_{\text{СИЛ}} + P_{\text{СОСВ}}) \cdot C_{\text{е}} ,$$

де , $C_{\text{е}}$ – ціна за 1 кВт·год = 10,50 грн.

$$C_{\text{ЕЛ}} = (5435,86 + 248) * 4,50 = 25577,37 \text{ грн.},$$

$C_{\text{ПАР}}$ – затрати на використання технологічного пару та води, стиснене повітря , становлять 1,81 грн. на ремонтну одиницю, отже при кількості $N = 690$ шт.

$$C_{\text{ПАР}} = 690 * 1,81 = 1248,9 \text{ грн.}$$

$C_{\text{ПОБ}}$ – затрати на побутові потреби, що становлять 534,6 грн. на одного сервісного працівника на рік :

$$C_{\text{ПОБ}} = 534,6 * 2 = 1069,2 \text{ грн.}$$

$C_{\text{ОП}}$ – затрати на опалення – становлять 3,98 грн. на 1 м³ об'єму споруди,

$$C_{\text{ОП}} = 3,98 * 378 = 1504,44 \text{ грн.}$$

$C_{\text{ОХ.ПР}}$ – затрати на охорону праці , становлять 50 – 65 грн. на одного робітника .

$$C_{\text{ОХ.ПР}} = 2 * 65 = 130 \text{ грн.}$$

$C_{\text{РАЦ}}$ – затрати на раціоналізацію становлять від 15 до 40 грн. на одного робітничого.

$$C_{\text{РАЦ}} = 2 * 30 = 60 \text{ грн. ;}$$

$C_{\text{РЕМ}}$ – інші затрати , що становлять 3% від усіх попередніх статей.

Визначаємо загальну суму загальновиробничих витрат :

$$C_{\text{ЗВ}} = (Z_{\text{ПІП, МОП}} + C_{\text{Д.М}} + C_{\text{ЗА}} + C_{\text{ЗПР}} + C_{\text{ЗУСТ}} + C_{\text{ЕЛ}} + C_{\text{ПАР}} + C_{\text{ПОБ}} + C_{\text{ОП}} + C_{\text{ОХ.П}} + C_{\text{РАЦ}} + C_{\text{П-Т}}) * C_{\text{РЕМ}}$$

$$C_{\text{ЗВ}} = (174000,4 + 14780 + 135852 + 144405,3 + 25577,37 + 1809,2 + 1248,9 + 1069,2 + 1504,44 + 130 + 60 + 20) * 1,03 = 515470,51 \text{ грн.}$$

Собівартість одиниці ремонту по затратах становитиме:

$$S_{од.ф.} = \frac{C_{ПОВ}}{N} = \frac{847475,01}{690} = 1228,22 \text{ грн.}$$

Собівартість одиниці ремонту згідно відпускних цін :

$$S_{од.відп.} = \frac{C_{ВП}}{N} = \frac{1145687,2}{690} = 1710,13 \text{ грн.}$$

де , $C_{ЗВП}$ – ціна всієї продукції , розрахована вище.

1.3 Визначення прибутку

Прибуток знаходиться , як різницю між вартістю готової продукції та її собівартістю згідно такої формули:

$$ПРо = C_{ЗВП} - C_{ЗПОВ}$$

$$ПРо = 1145687,2 - 847475,01 = 298212,19 \text{ грн.},$$

Рівень рентабельності випускної продукції рахується як відношення прибутку до собівартості продукції, виражене у відсотках.

$$P = \frac{ПРо}{C_{ПОВ}} = \frac{298212,19}{847475,01} \cdot 100\% = 35,19\%$$

Коефіцієнт використання виробничих площ :

$$К_{КП} = C_{ЗВП} / P_{длльн} = 1185688,2/90 = 13174,51 \text{ грн/м}^2;$$

Коефіцієнт фондівдачі :

$$К_{ф} = C_{ВП} / К_{ЗАГ} = 1185688,2/912600 = 1,3 \text{ грн/грн}$$

Коефіцієнт загальної економічної ефективності :

$$Ек_{ЗАГ} = (C_{ЗВП} - C_{ЗПОВ}) / К_{ЗАГ} = 0,351$$

Умова $Ек_{ЗАГ} \geq 0,15$ виконується .

Термін окупності капіталовкладень :

$$Т_{ЗАГ} = К_{ЗАГ} / ПР = 3,22 \leq 6...7 \text{ років .}$$

Усі основні показники вносимо в табл. 5.2.

Основні показники економічних розрахунків

№	Показники роботи	Умовне позначення	Одиниці вимірювання	Числове значення
1	Загальні вкладення капіталу	$K_{\text{заг}}$	грн.	1480480
2	Загальна трудоемність	$T_{\text{прм}}$	люд.-год.	4900
3	Вартість продукції	$C_{\text{зВП}}$	грн.	1145687,2
4	Кількість обслуговувань	N	шт./рік	690
5	Собівартість всіх виконаних ремонтних робіт	$C_{\text{зПоВ}}$	грн.	847475,01
6	Вартість одиниці ремонту : а) фактична б) відпускна ціна	$S_{\text{зод.ф}}$	грн.	1228,22
		$S_{\text{зод.відп}}$	грн.	1710,13
7	Середня річна оплата праці працівника	$C_{\text{зсер}}$	грн.	114568
8	Прибуток	$ПРз$	грн.	298212,19
9	Рівень рентабельності коштів	R_p	%	35,19
10	Продуктивність праці працівників	$ПП$	грн.	587845,6
11	Коефіцієнт використання площ	$K_{\text{кП}}$	грн./м ²	13174,51
12	Коефіцієнт фондівдачі	$K_{\text{кф}}$	грн./грн.	1,3
13	Термін окупності	$T_{\text{ЗАГ}}$	роки	3,20

Отже, в даному розділі нами проведено розрахунок економічної ефективності підприємства, на якому працюють два працівники при проведенні діагностики та ремонту підвіски автомобілів.

ВИСНОВКИ

1. Розглянуто дорожні умови експлуатації автомобіля. Проаналізовано типи коливань автомобіля та вимоги стосовно його підвіски.

2. Описано вплив коливань автомобіля на людину та розглянуто людину, як коливну систему.

3. Проведено експериментальні дослідження миттєвих прискорень кузова та спектру їх частот двох типів автомобілів за допомогою використання цифрового акселерометра, із подальшим аналізом отриманих даних у середовищі Excel.

4. Визначено, що підвіска Mercedes W210 краще поглинає нерівності дороги, що знижує вібрації, передані на кузов і салон. Забезпечує кращий комфорт, менше стомлення водія та пасажирів, особливо на довгих дистанціях. В той же час Fiat Doblo більше адаптований для практичного використання (перевезення вантажів, експлуатація на поганих дорогах), однак має обмежені показники комфорту та суттєві коливання під час руху на нерівностях.

5. Розглянуто структурно-функціональний аналіз робіт під час обслуговування підвіски автомобіля та пораховано штучне освітлення зони технічного обслуговування.

6. Додавання розширеної діагностики до процесу технічного обслуговування та ремонту підвіски автомобілів може забезпечити помітну економічну вигоду, яка оцінюється через скорочення витрат на експлуатацію, підвищення якості послуг і збільшення обсягів клієнтів. Розрахований термін окупності становить 3,22 роки, що є показником прийнятної інвестиційної ефективності в галузі обслуговування автомобілів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Bosch Automotive Handbook - 8th Edition/Bentley Production-2015 – 600 p.
2. Don Knowles. Automotive Suspension & Steering Systems. - Clifton Park – 2007 – 1032 p.
3. Кисликов В. Ф., Лущик В. В. К44 Будова й експлуатація автомобілів: Підручник. — 6-те вид. - К.: Либідь, 2006. — 400 с.
4. Avesta Goodarzi; Amir Khajepour. Vehicle Suspension System Technology and Design/ Morgan & Claypool Publishers; May 2017.
5. Chris Johanson, Martin T. Stockel. Auto Suspension & Steering Workbook, A4 Fourth Edition, Workbook/ Goodheart-Willcox; Fourth Edition, Workbook (January 31, 2014)
6. Uwe Kiencke, Lars Nielsen. Automotive Control Systems. For Engine, Driveline, and Vehicle. Second edition Springer-Verlag, 2005 – 512 p.
7. Genta G., Morello L. The Automotive Chassis Vol. 2: System Design/ Springer, 2009 - 834 p.
8. Говорущенко Н.Я. Основы теории эксплуатации автомобилей / Н.Я. Говорущенко. – К. : Вища школа, 1971.–232 с.
9. Stephen M. Highstein, Richard R. Fay, Arthur N. Popper. The vestibular system. — Springer, 2004. — 560 с.
- 10.Ткачук В. І. Електромеханотроніка/Підручник — Львів. Видавництво Львівської політехніки, - 2006 - 440 с.
- 11.Bosch Robert GmbH (Ed.) Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics Systems and Components, Networking and Hybrid Drive/ 5th Edition. — Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014. — 530 p.
- 12.Popp K., Schiehlen W. Ground Vehicle Dynamics/ Springer, 2010 - 366 p.
- 13.Рабинович Э.Х. Расчет коэффициентов сопротивления движению автомобиля по пути выбега / Э.Х. Рабинович, В.П. Волков, Е.А. Белогуров // Вестник ХНАДУ : сб. научн. тр. – Харьков : ХНАДУ.– 2009. – Вып. 44. – С. 30–34

- 14.Сажко В.А. Електричне та електронне обладнання автомобілів/Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. - К.: Каравелла, 2006. - 296 с.
- 15.Crolla D.A. (ed.) Automotive Engineering: Powertrain, Chassis System and Vehicle Body/ Butterworth-Heinemann, 2009 - 850 p.
- 16.Volkswagen Technical Site / Volkswagen Technical Site: URL: <http://volkswagen.com> (дата звернення: 1.10.2024)
- 17.Audi Technology Portal : Adaptive Air Suspension. URL: https://www.audi-technology-portal.de/en/chassis/suspension-control-systems/adaptive-air-suspension_en. (дата звернення: 8.10.2024)
- 18.NXP Semiconductors: FXLS8967AF accelerometer sensor. URL: <https://www.nxp.com/products/sensors/accelerometers/2g-4g-8g-16g-low-power-12-bit-digital-accelerometer:FXLS8967AF>
- 19.Придбати Accelerometer Analyzer-Microsoft Store. URL: <https://www.microsoft.com/uk-ua/p/accelerometer-analyzer/9nm82jcbgz5r?activetab=pivot:overviewtab> (дата звернення: 4.9.2024)
- 20.Жидецький В.Н. Основи охорони праці / Жидецький В.Н., Джигирей В.С., Мельников О.В. – Львів: Афіша, 2001. – 349 с.
- 21.Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: Підручник. 5-е вид. / За ред. М.П. Гандзюка. - К.: Каравела, 2011. - 384 с.
- 22.Джигирей В. С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища: навч. посіб. / В. С. Джигирей. – 5-те вид., випр. і доп. – К. : Знання, 2007.