

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР.АТ-55.00.00.000 ПЗ

Група АТ-22-2

Орест КУЗИК

2026

Івано-Франківський національний технічний університет
нафти і газу Міністерства освіти і науки України
Інститут інженерної механіки та робототехніки
Кафедра автомобільного транспорту

Кузик Орест Михайлович
(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 629.3.027:534.1
(індекс)

БАКАЛАВРСКА РОБОТА

Тема: Вплив балансування коліс на рівень вібрації автомобіля та безпеку експлуатації транспортного засобу
(назва роботи)

Автомобільний транспорт
(назва освітньої програми)

274-Автомобільний транспорт
(шифр і назва спеціальності)

О.М. Кузик

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник Гнип Марія Михайлівна, д.ф., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Допущено до захисту

В.о. завідувача кафедри

Криштопа С.І.

(підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Рецензент

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Івано-Франківськ – 2026

Інститут інженерної механіки та робототехніки

Кафедра автомобільного транспорту

Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр

Спеціальність: „Автомобільний транспорт”

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри АТ

С.І. Криштопа

„_____” _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ

Бакалавр

Кузик Орест Михайлович

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Тема: Вплив балансування коліс на рівень вібрації автомобіля та безпеку експлуатації транспортного засобу.

затверджена наказом по університету від _____ № _____

2. Термін здачі студентом закінченого проекту (роботи) 15.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проекту:

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)

Вступ 4.1. Огляд літературних джерел 4.1.1 Поняття вібрації 4.1.2 Джерела вібрацій в автомобілі 4.1.3 Вплив вібрації на здоров'я людини 4.1.4 Негативний вплив вібрацій на технічний стан автомобіля 4.1.5 Балансування автомобільних коліс 4.1.6 Дисбаланс автомобільних коліс 4.1.7 Обладнання для балансування коліс 4.1.8 Маркування шин кольоровими позначками 4.2 Методика досліджень 4.2.1 Об'єкт дослідження 4.2.2 Вимірювальне обладнання 4.2.3 Додаткове обладнання 4.2.4 Порядок проведення дослідження 4.3 Експериментальні результати досліджень 4.3.1 Вимірювання вібрації під час руху на зимових та літніх шинах 4.3.2 Визначення добового рівня впливу вібрації. 4.4 Висновки 4.5

Перелік посилань на джерела Додаток А - Комплект презентаційних матеріалів

5. Перелік графічного матеріалу

5.1 презентаційні плакати в PowerPoint.

Керівник

(Особистий підпис)

М.М. Гнип

(Розшифровка підпису)

Завдання прийняв до виконання

(Особистий підпис)

О.М. Кузик

(Розшифровка підпису)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер і назва етапів проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту	Примітка
Вступ 4.1. Огляд літературних джерел 4.1.1 Поняття вібрації 4.1.2 Джерела вібрацій в автомобілі 4.1.3 Вплив вібрації на здоров'я людини	18.05.2026 р.	
4.1.4 Негативний вплив вібрацій на технічний стан автомобіля 4.1.5 Балансування автомобільних коліс 4.1.6 Дисбаланс автомобільних коліс	22.05.2026 р.	
4.1.7 Обладнання для балансування коліс 4.1.8 Маркування шин кольоровими позначками 4.2 Методика досліджень 4.2.1 Об'єкт дослідження 4.2.2 Вимірювальне обладнання 4.2.3 Додаткове обладнання	26.05.2026 р.	
4.2.4 Порядок проведення дослідження	005.06.2026 р.	
4.3 Експериментальні результати досліджень 4.3.1 Вимірювання вібрації під час руху на зимових та літніх шинах	10.06.2026 р.	
4.3.2 Визначення добового рівня впливу вібрації. 4.4 Висновки 4.5 Перелік посилань на джерела Додаток А - Комплект презентаційних матеріалів	12.06.2026 р.	
Готовність проекту до попереднього захисту	15.06.2026 р.	

Бакалавр _____
Особистий підпис

Орест КУЗИК _____
Розшифровка підпису

Керівник роботи _____
Особистий підпис

Марія ГНИП _____
Розшифровка підпису

РЕФЕРАТ

Оскільки люди дедалі більше часу проводять у транспортних засобах, необхідно забезпечити комфортні та безпечні для здоров'я умови пересування. Ця тема є актуальною для більшості з нас, оскільки з балансуванням коліс стикаються всі власники транспортних засобів.

У бакалаврській роботі проведено огляд наукової літератури та досліджено вплив балансування коліс на вібрації транспортного засобу. Дослідження виконано на автомобілі Audi A4. Вимірювання проводилися в різних точках автомобіля. Змінюючи швидкість руху та величину дисбалансу коліс, було виміряно рівень вібрації на підлозі автомобіля, сидінні, спинці сидіння, кермі та в багажному відділенні.

Дослідження проводилося з використанням двох типів шин. Для створення дисбалансу коліс закріплювалися додаткові балансувальні вантажі масою від 25 г до 80 г. Для проведення вимірювань використовувався вимірювач вібрації SVAN 958.

Аналіз отриманих результатів показав, що під час руху на літніх шинах значення вібрації є вищими. У всіх досліджуваних випадках найбільші коливання були зафіксовані на спинці сидіння. Також чітко встановлено, що рівень вібрації в автомобілі суттєво зростає при досягненні швидкості 100 км/год.

У бакалаврській роботі також виконано розрахунки для оцінювання добового рівня впливу вібрації за тривалості її дії 1, 2 та 4 години. Результати розрахунків показали, що рівень вібрації, яка передається на руки водія, є значно нижчим за встановлені допустимі нормативні значення.

Ключові слова: вібрація, дисбаланс коліс, автомобіль, віброприскорення, безпека руху, транспортний засіб.

ABSTRACT

As people spend more and more time in vehicles, it is necessary to ensure comfortable and safe travel conditions. This topic is relevant for most of us, since all vehicle owners encounter wheel balancing.

In the bachelor's thesis, a review of scientific literature was conducted and the effect of wheel balancing on vehicle vibrations was investigated. The study was performed on an Audi A4 car. Measurements were taken at different points in the car. By changing the speed of movement and the amount of wheel imbalance, the vibration level was measured on the car floor, seat, seat back, steering wheel and in the luggage compartment.

The study was conducted using two types of tires. To create wheel imbalance, additional balancing weights weighing from 25 g to 80 g were attached. The SVAN 958 vibration meter was used to conduct measurements.

Analysis of the results showed that when driving on summer tires, vibration values are higher. In all cases studied, the largest vibrations were recorded on the seat back. It is also clearly established that the vibration level in the car increases significantly when the speed reaches 100 km/h.

The bachelor's thesis also includes calculations to assess the daily level of vibration exposure for durations of 1, 2 and 4 hours. The results of the calculations showed that the level of vibration transmitted to the driver's hands is significantly lower than the established permissible regulatory values.

Keywords: vibration, wheel imbalance, car, vibration acceleration, traffic safety, vehicle.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	8
1.1. Поняття вібрації	8
1.2. Джерела вібрацій в автомобілі	11
1.3. Вплив вібрації на здоров'я людини	14
1.4 Негативний вплив вібрацій на технічний стан автомобіля	16
1.5 Балансування автомобільних коліс.....	17
1.6 Дисбаланс автомобільних коліс	18
1.7. Обладнання для балансування коліс.....	21
1.8 Маркування шин кольоровими позначками	23
2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	25
2.1 Об'єкт дослідження	25
2.2 Вимірювальне обладнання.....	26
2.3. Додаткове обладнання.....	28
2.4. Порядок проведення дослідження	31
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	33
3.1 Вимірювання вібрації під час руху на зимових та літніх шинах.....	33
3.2 Визначення добового рівня впливу вібрації	42
ВИСНОВКИ	46
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	47

					БР.АТ-55.00.00.000 ПЗ			
Змін.		№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Ю. Кузик				Вплив балансування коліс на рівень вібрації автомобіля та безпеку експлуатації транспортного засобу	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.	М. Гнип						5	
Реценз.						ІФНТУНГ, АТ-22-2		
Н. контр.	Криштопа С.І.							
Затверд.	Криштопа С.І.							

ВСТУП

Актуальність теми.

Вібрації, що виникають в автомобілі, є шкідливим явищем. Досить часто в салоні раптово відчуються неприємні коливання або починає вібрувати кермо. Вібрація є дуже шкідливим фактором для здоров'я людини, тому прагнуть забезпечити якомога менший її рівень, який відчувається в автомобілі. Усім працівникам повинні бути забезпечені робочі місця, а умови праці мають відповідати вимогам законодавства та нормативно-правових актів з охорони праці та здоров'я працівників. Робочі місця повинні бути організовані таким чином, щоб працівники були захищені від можливих травм [1].

Розглядаючи автомобіль як робоче місце, можна стверджувати, що він належить до найбільш небезпечних через декілька причин:

- Ризик виникнення професійних захворювань;
- Ризик нещасних випадків.

Основними шкідливими та небезпечними чинниками професійного ризику на робочих місцях, які впливають на здоров'я працівників, є хімічні, фізичні, біологічні, ергономічні, психосоціальні та фізичні фактори. За даними Державної служби України з питань праці, 83,7 % професійних захворювань спричинені впливом шуму та вібрації. Серед професійних захворювань, викликаних фізичними чинниками, 64 % становлять захворювання, пов'язані з впливом загальної та локальної (на руки) вібрації. Такі проблеми найчастіше виявляються у водіїв та операторів мобільної техніки — екскаваторників, трактористів, бульдозеристів, машиністів кранів. На їхню частку припадає 74,6 % усіх професійних захворювань [2].

Вібрація, що впливає на все тіло та руки людини, виникає в автомобілі тоді, коли обертові деталі є незбалансованими, внаслідок чого коливання

					БР.АТ-55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

передаються на кузов і кермо. Такі показники є досить несприятливими для транспортної галузі, тому в даній роботі буде досліджено причини виникнення вібрацій в автомобілі, а також визначено вплив коливань, що створюються колесами, на загальний рівень вібрації транспортного засобу.

Мета роботи: дослідити вплив балансування коліс автомобіля на рівень вібрацій транспортного засобу.

Завдання роботи:

1. Описати поняття вібрації та основні джерела вібрацій в автомобілі.
2. Розглянути процес балансування коліс і основні способи його виконання.
3. Визначити вплив балансування коліс на виникнення вібрацій у салоні автомобіля та на кермовому колесі.
4. Встановити, чи не перевищують виявлені вібрації допустимих нормативних значень.

Об'єкт дослідження – вібраційні процеси, що виникають у автомобілі під час руху.

Предмет дослідження – закономірності зміни параметрів вібрації автомобіля залежно від величини дисбалансу коліс, швидкості руху та типу встановлених шин.

					БР.АТ-55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1. Поняття вібрації

Вібрація — це повторювані рухи твердого тіла відносно положення рівноваги. Людина здатна відчувати коливання тіл з частотою до 8000 Гц. Найчастіше зустрічаються вібрації в діапазоні частот від 20 до 200 Гц. Причиною виникнення вібрації є непропорційний періодичний вплив сили на систему [3]. Основними джерелами вібрацій є дисбаланс обертових деталей механізмів, а також застосування ударних і вібраційних процесів у промисловості та будівництві. Коливання можуть створювати багато інструментів, що використовуються у повсякденній діяльності.

Більшість таких інструментів застосовується під час будівельних та ремонтних робіт, зокрема електричні дрилі, пневматичні інструменти, відбійні молотки, шліфувальні машини та інше обладнання. Значною проблемою є також вібрації, що виникають під час експлуатації транспортних засобів і впливають практично на кожного водія. З впливом вібрації стикаються працівники підприємств із виробництва бетону та залізобетонних конструкцій, дорожні робітники, водії вантажних автомобілів і тягачів, водії легкових автомобілів, машиністи екскаваторів і кранів, лісоруби, працівники металообробної галузі та представники багатьох інших професій.

Основними параметрами, що характеризують вібрацію, є такі:

Амплітуда — A [м];

Частота — f [Гц];

Період коливань — T [с];

Вібраційна швидкість — v [м/с];

Вібраційне прискорення — a [м/с²].

За характером впливу на людину вібрація поділяється на загальну (що діє на все тіло) та локальну (що діє на руки).

					БР.АТ-55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вібрація, що впливає на все тіло (англ. *Whole Body Vibration, WBV*), — це механічні коливання, які передаються всьому організму людини та можуть негативно впливати на здоров'я і безпеку працівника, особливо спричиняючи захворювання поперекового відділу спини та пошкодження хребта. Такий вид вібрації вважається особливо шкідливим для організму людини, оскільки впливає на основні опорні поверхні тіла.

Під час роботи сидячи вібрація передається через сидіння та його спинку, а також через ступні ніг, що контактують із підлогою. Під час роботи стоячи вібрація передається через ноги на весь організм, а під час сидіння — через таз і хребет. Тривалий вплив такої вібрації може призводити до різноманітних порушень опорно-рухового апарату.

Схему впливу вібрації на людину за осями x , y та z наведено на рисунку 1.1 [5].

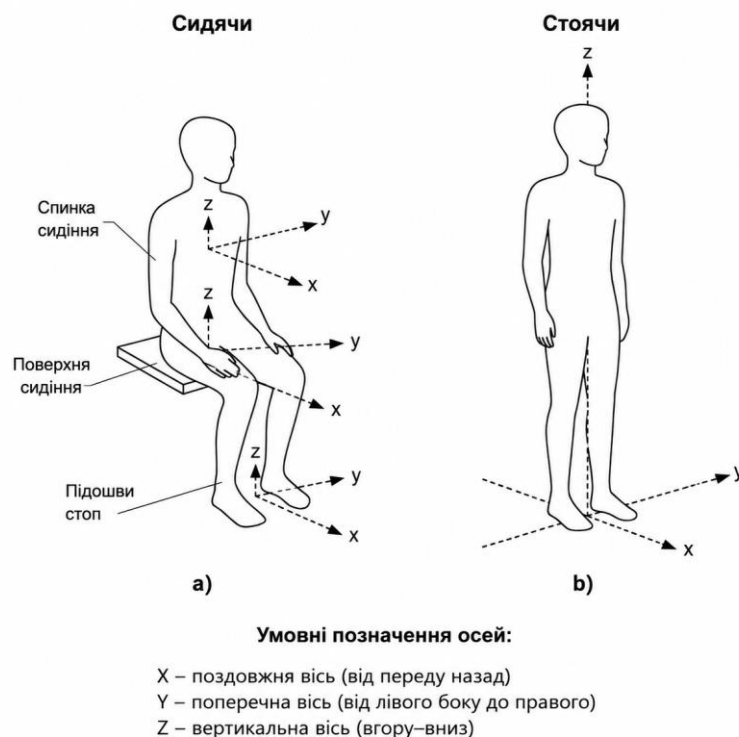


Рисунок 1.1 - Напрямки дії вібрації: а) на людину в положенні сидячи; б) на людину в положенні стоячи [5].

Вібрація, що впливає на руки (англ. *Hand-Arm Vibration*, HAV), — це вібрація, яка передається через механічні коливання на кисті та руки людини і негативно впливає на її здоров'я [6].

Напрямки дії вібрації, що впливає на руки, вимірюються за трьома координатними осями (x , y , z) і наведені на рисунку.

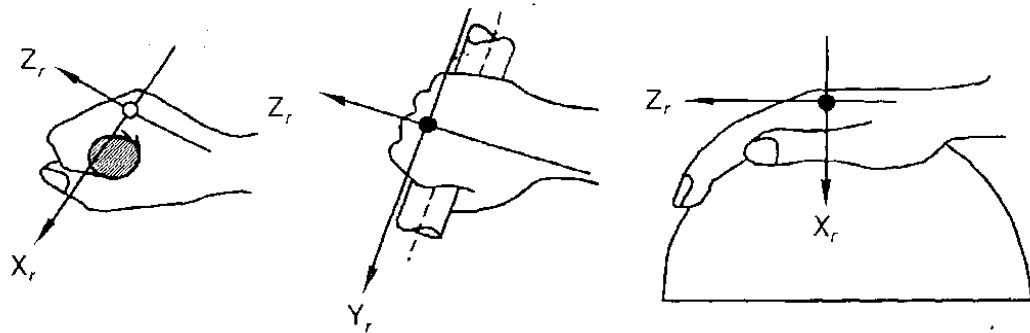


Рисунок 1.2 - Напрямки вимірювання вібрації, що передається через руки [6].

Шкідливий вплив вібрації, що передається через руки, залежить від величини переміщення та частоти коливань. Встановлено, що найбільш небезпечною є область низьких частот до 250 Гц. Вважається, що низькочастотна вібрація є більш небезпечною порівняно із середньочастотною та високочастотною, оскільки саме вона спричиняє найбільш негативний вплив на здоров'я працівника [7].

Залежно від виду та умов виконуваної роботи вібрація може впливати лише на одну руку або одночасно на обидві руки. При цьому вона передається через кисть і може поширюватися вздовж усієї руки аж до плечового суглоба. Найінтенсивніше вібрація передається на руки оператора від переносних або ручних машин і механізмів, що створюють коливання під час роботи [6].

Особливо небезпечним для здоров'я є технічно несправний автомобіль. Водій, перебуваючи на сидінні автомобіля, зазнає впливу загальної вібрації, що діє на все тіло, а під час контакту з кермовим колесом — також локальної

вібрації, яка передається через руки. Тому для визначення безпечності умов праці водія необхідно проводити дослідження вібрацій, що виникають в автомобілі, та порівнювати отримані значення з установленими допустимими нормативами.

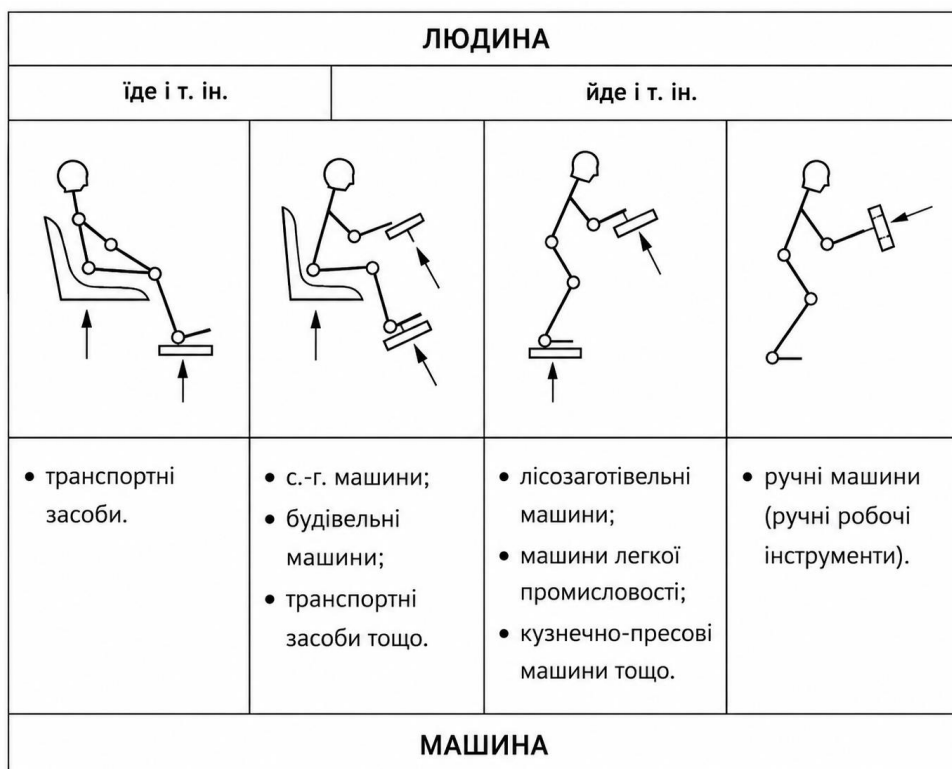


Рисунок 1.3 - Схеми впливу механічної вібрації на людину (працівника) в системі «людина – машина».

1.2. Джерела вібрацій в автомобілі

Автомобіль — це транспортний засіб, який може рухатися в досить широкому діапазоні швидкостей. Сучасні серійні автомобілі здатні розвивати швидкість до 250 км/год. З цієї причини автомобіль повинен характеризуватися високою стійкістю руху та надійним зчепленням із дорожнім покриттям. Основними джерелами вібрацій в автомобілі є:

- Двигун внутрішнього згоряння.

Обертові деталі двигуна внутрішнього згоряння створюють коливання, які передаються на кузов автомобіля. Рівень цих вібрацій може значно зростати у разі технічних несправностей двигуна або його систем.

- Різке блокування коліс [26].

У ситуаціях, коли відбувається блокування коліс під час руху, внаслідок руйнування підшипника колеса може бути пошкоджена шина. Подальша експлуатація такої шини призводить до виникнення вібрацій. Приклад такого пошкодження наведено на рисунку 1.4. У цьому випадку виникає статичний дисбаланс колеса, через що колесо починає підстрибувати під час обертання, створюючи додаткові вібрації.

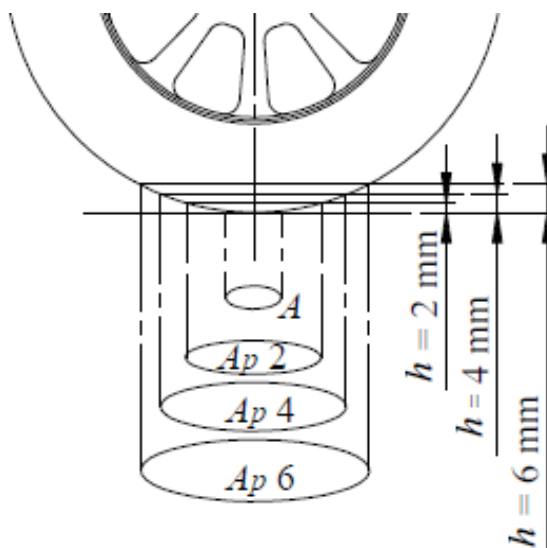


Рисунок 1.4 - Схема зношування шини: А – площа контакту непошкодженої шини з дорожнім покриттям; A_p – площа контакту пошкодженої шини з дорожнім покриттям; h – глибина зношування шини [26].

Помилки під час кріплення колеса

Нецентроване або нерівномірне затягування коліс призводить до виникнення вібрацій, які негативно впливають як на транспортний засіб, так і на людей, що перебувають у ньому.

					БР.АТ-55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Існує два основні способи центрування коліс:

За виступом маточини автомобіля — центральний отвір колеса точно відповідає центру колеса та встановлюється на центрувальний виступ маточини.

За отворами під кріпильні болти або шпильки — колесо центрується за допомогою болтів або гайок під час його встановлення.

Більшість оригінальних колісних дисків центруються саме за виступом маточини, тобто їхній центральний отвір виготовляється з високою точністю для конкретної моделі автомобіля. Значна частина колісних дисків, що продаються в магазинах як універсальні або неоригінальні, центрується за допомогою отворів під кріпильні болти [8].

Відсутність балансування коліс

Однією з найпоширеніших причин виникнення вібрацій є незбалансовані колеса. Така ситуація може виникнути внаслідок втрати балансувальних вантажів або деформації колеса. У результаті порушується рівномірний розподіл маси колеса відносно осі обертання, що спричиняє появу коливань під час руху автомобіля. Найчастіше такі вібрації відчуються на кермовому колесі, особливо під час руху на підвищених швидкостях.

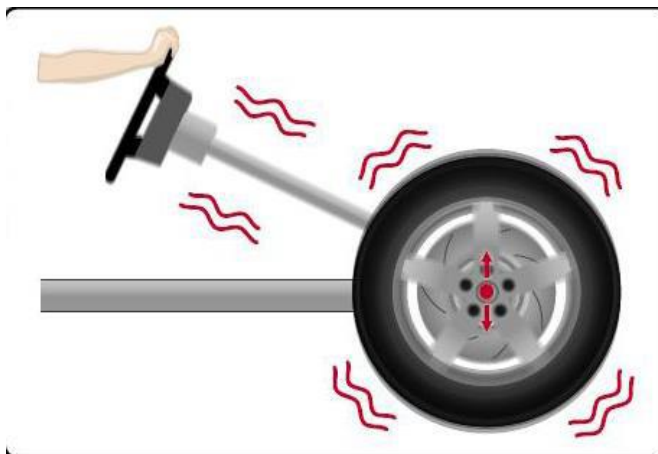


Рисунок 1.5 - Вібрація, спричинена дисбалансом коліс автомобіля

1.3. Вплив вібрації на здоров'я людини

Внутрішні органи людини мають власні резонансні частоти коливань, тому особливо небезпечною є ситуація, коли частота зовнішніх вимушених коливань збігається з власною частотою певного органа або частини тіла. У такому випадку виникає явище резонансу, яке може призвести до значного посилення коливань і негативного впливу на здоров'я людини.

Як видно з наведеного рисунка, власні частоти окремих частин тіла людини можуть змінюватися в діапазоні від 2 до 80 Гц. Детальніше розподіл резонансних частот різних органів і частин тіла наведено на рисунку.

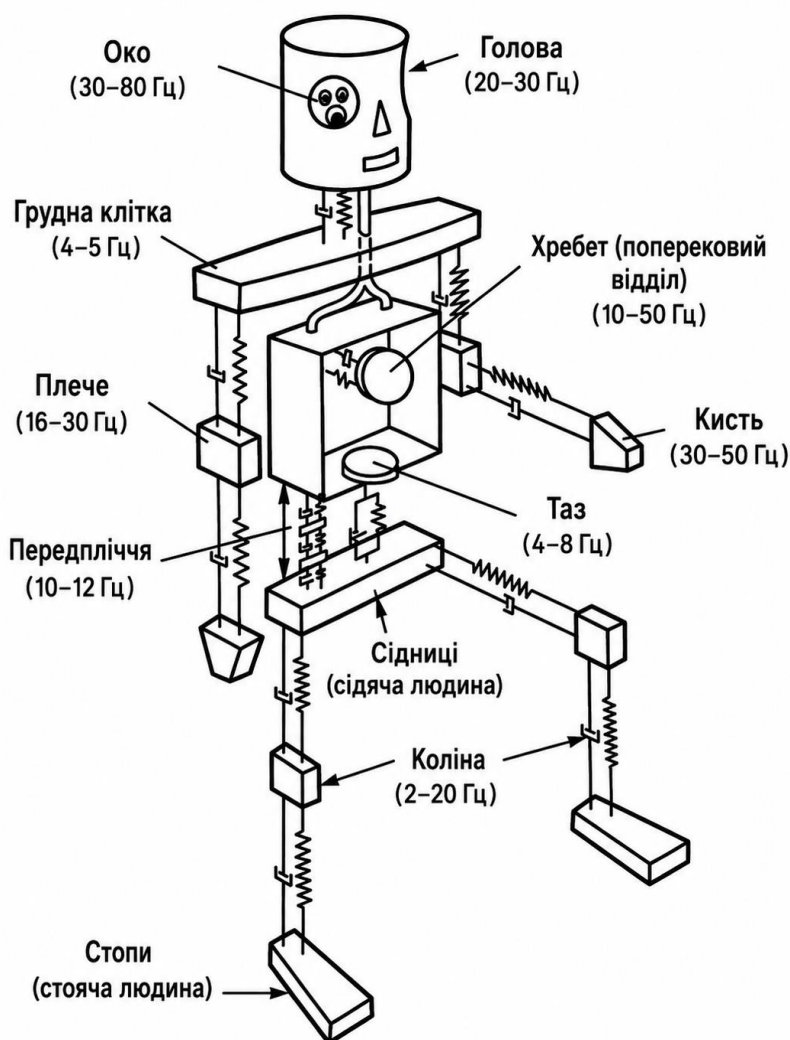


Рисунок 1.6 - Власні (резонансні) частоти окремих частин тіла люди

Водії транспортних засобів та оператори самохідних машин повинні особливо остерігатися впливу вібрації. Оскільки ці працівники постійно зазнають дії коливань, ризик розвитку вібраційної хвороби значно зростає. Наслідками цього захворювання можуть бути ураження нервових закінчень і порушення кровообігу.

Порушення опорно-рухового апарату — це захворювання м'язів, суглобів, сухожилів, зв'язок, нервів або локальні порушення кровообігу, які виникають або загострюються переважно внаслідок виконання трудових обов'язків та впливу виробничого середовища. Більшість професійно зумовлених захворювань опорно-рухового апарату мають накопичувальний характер і розвиваються через тривале багаторазове прикладання як значних, так і незначних фізичних зусиль.

Захворювання опорно-рухового апарату найчастіше вражають спину, шию, плечі та верхні кінцівки, проте можуть поширюватися й на нижні кінцівки. Під час виконання ручних робіт задіюються різні групи м'язів шиї, плечового пояса, рук і кистей. Чим більшу силу необхідно прикладати під час роботи з певними предметами або механізмами, тим більше навантаження припадає на відповідні групи м'язів.

Хоча іноді порушення в ділянці шиї та верхніх кінцівок виникають унаслідок інтенсивного застосування значних фізичних зусиль, у більшості випадків вони розвиваються через тривале виконання повторюваних рухів, що потребують відносно невеликих зусиль. Це може призводити до втоми м'язів, незначних ушкоджень м'яких тканин шиї та кінцівок, а також до розвитку захворювань шийного відділу хребта і верхніх кінцівок.

Усі негативні наслідки впливу вібрації наведено на рис. 1.7 [10].

					БР.АТ-55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.7 – Негативний вплив вібрації на організм людини [11].

1.4 Негативний вплив вібрацій на технічний стан автомобіля

Під час роботи двигуна внутрішнього згоряння повністю уникнути виникнення вібрацій в автомобілі неможливо. У сучасних автомобілях конструктори прагнуть максимально збалансувати рухомі деталі двигуна, щоб зменшити шкідливі коливання, проте повністю усунути їх неможливо. Вібрації в автомобілі також виникають під час руху, особливо по нерівному дорожньому покриттю.

Під впливом вібрацій окремі вузли та агрегати автомобіля можуть втрачати працездатність, а деталі зазнавати прискореного зношування. Досить часто значні вібраційні навантаження спричиняють втому металів та інших конструкційних матеріалів, що призводить до появи тріщин у кузові, несучих кронштейнах та інших елементах конструкції автомобіля.

Одним із найпоширеніших джерел вібрації в автомобілі є колеса. У разі їхнього дисбалансу виникають коливання, які найчастіше відчуються під час руху зі швидкістю понад 80 км/год. Якщо цю проблему своєчасно не усунути, можуть виникнути такі негативні наслідки:

- прискорене або нерівномірне зношування шин;
- підвищене навантаження на елементи рульового керування та підвіски;
- погіршення керованості автомобіля та зниження його курсової стійкості;
- збільшення витрати палива;
- підвищення рівня шуму в салоні автомобіля.

Для запобігання зайвим витратам рекомендується виконувати балансування коліс приблизно через кожні 10 000 км пробігу. Якщо шини мають значний ступінь зношування, їх необхідно замінити новими.

Вібрація в автомобілі викликає дискомфорт у водія та пасажирів, тому важливим фактором є своєчасне технічне обслуговування транспортного засобу. Не менш важливим є підтримання нормативного тиску в шинах. Недостатній або надмірний тиск призводить до прискореного зношування шин, погіршення керованості автомобіля та збільшення рівня вібрацій під час руху.

1.5 Балансування автомобільних коліс

Балансування автомобільного колеса — це процес усунення його дисбалансу та забезпечення рівномірного розподілу маси відносно осі обертання. Правильно виконане балансування коліс сприяє подовженню терміну служби шин, підвищенню комфорту руху та покращенню експлуатаційних характеристик автомобіля.

У разі неправильного балансування або відсутності балансування коліс водій і пасажирів відчують вібрації, які спричиняють швидшу втому під час руху. Крім того, такі вібрації негативно впливають на технічний стан

					БР.АТ-55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

автомобіля, викликаючи прискорене зношування шин, елементів підвіски, рульового керування та інших вузлів.

Балансування коліс необхідно виконувати після кожного демонтажу шини, проведення ремонтних робіт із колесом або шиною, а також у випадках появи вібрацій чи биття коліс під час руху автомобіля.



Рисунок 1.11 – Балансувальний стенд для автомобільних коліс.

1.6 Дисбаланс автомобільних коліс

Дисбаланс коліс — це нерівномірний розподіл маси автомобільного колеса відносно осі його обертання. Ця проблема найчастіше виникає через асиметричність окремих складових елементів колеса. З дисбалансом коліс рано чи пізно стикається кожен водій автомобіля. Усунення цієї несправності не є складним, однак потребує звернення до спеціалізованого сервісного центру. Недостатня увага до цієї проблеми може призвести до виникнення серйозніших несправностей.

Дисбаланс коліс найбільш відчутний під час руху зі швидкістю понад 80 км/год. Водночас ступінь прояву цього явища залежить від конструктивних особливостей автомобіля, маси пасажирів і вантажу, а також стану дорожнього покриття. Через зазначені фактори швидкість, за якої водій

					БР.АТ-55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

починає відчувати наслідки дисбалансу, може суттєво відрізнятись та змінюватися майже вдвічі.

Під час наявності дисбалансу значно погіршується керованість автомобіля, особливо під час проходження поворотів. У таких умовах виникають додаткові коливання коліс, що супроводжуються вібрацією транспортного засобу та можуть викликати його відхилення або «відведення» в один чи інший бік від заданої траєкторії руху [14].

Досить часто виникають ситуації, коли на появу вібрацій не звертають належної уваги. Одні водії ігнорують цю проблему через недостатню обізнаність, інші — через рідкісне використання автомобіля. Проте дисбаланс коліс потребує своєчасного усунення, оскільки його ігнорування може призвести до виникнення серйозніших несправностей, усунення яких потребуватиме значних фінансових витрат. Крім того, експлуатація транспортного засобу з дисбалансом коліс негативно впливає на безпеку та комфорт водія і пасажирів.

Основними наслідками несвоєчасного усунення дисбалансу коліс є:

- прискорене або нерівномірне зношування шин;
- пошкодження елементів рульового керування та підвіски;
- погіршення керованості автомобіля;
- збільшення витрати палива;
- підвищення рівня шуму під час руху транспортного засобу.

Статичний дисбаланс — це нерівномірний розподіл маси поблизу центральної площини колеса, який спричиняє його вертикальні коливання під час руху. Статичний дисбаланс можна виявити без обертання колеса. Якщо балансування виконується лише за статичною схемою, компенсується тільки одна складова дисбалансної сили. Саме тому на сучасних комп'ютеризованих балансувальних стендах статичне балансування часто називають одноплощинним балансуванням. Під час встановлення колеса на вал балансувального стенда його найважча частина завжди опиняється внизу під

					БР.АТ-55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дією сили тяжіння, що дозволяє визначити статичний дисбаланс без обертання колеса.

Динамічний дисбаланс виникає тоді, коли дві зони підвищеної маси розташовані по різні боки колеса та зміщені відносно його центральної площини. У такому випадку колесо може бути добре збалансованим у статичному стані, але при обертанні створюватиме додаткові моменти сил і вібрації. Причиною цього є розташування мас дисбалансу на різних площинах колеса. Після виконання динамічного балансування колесо стає збалансованим як у динамічному, так і в статичному відношенні.

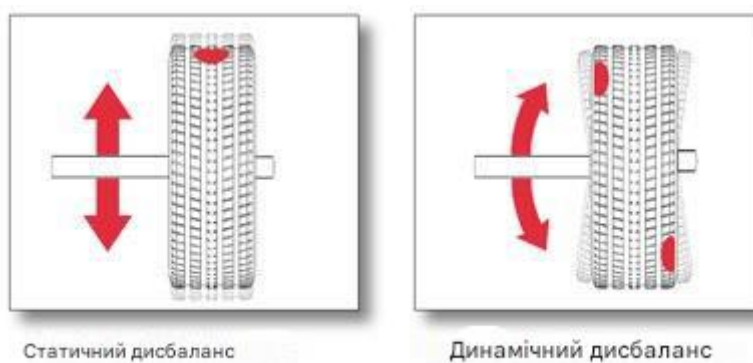


Рисунок 1.12 – Схема статичного та динамічного дисбалансу автомобільного колеса

Як видно з рисунка 1.12, статичний дисбаланс найчастіше виникає внаслідок зміни розподілу маси в зоні протектора шини. Як приклад можна навести появу на шині характерного пошкодження — так званої «грижі». Внаслідок виникнення такого дефекту колесо починає створювати коливання, тобто здійснювати вертикальні підстрибуючі рухи. У результаті цих коливань вібрації передаються через кузов автомобіля, за якими водій може виявити наявність несправності та повинен якнайшвидше усунути її.

Динамічний дисбаланс найкраще відчувається через рульове колесо. На рисунку 1.12 показано, що під час обертання колеса за наявності динамічного

дисбалансу різниця в розподілі мас спричиняє його коливання, які передаються на рульове керування та руки водія у вигляді вібрацій.

Найчастіше така несправність виникає внаслідок пошкодження колісного диска або шини, що призводить до зміни розподілу мас і порушення динамічної рівноваги колеса.

Основним завданням даної бакалаврської роботи є визначення характеру зміни рівня вібрацій в автомобілі залежно від величини динамічного дисбалансу колеса.

1.7. Обладнання для балансування коліс

Сучасні балансувальні стенди оснащуються електронними системами вимірювання та автоматичного введення параметрів колеса. Під час роботи колесо встановлюється на вал стенда та розкручується до заданої швидкості. Датчики реєструють вібрації та відцентрові сили, що виникають у процесі обертання, після чого програмне забезпечення обчислює величину дисбалансу та визначає місця встановлення балансувальних вантажів. Використання такого обладнання дозволяє підвищити комфорт руху, знизити динамічні навантаження на вузли автомобіля та забезпечити безпечну експлуатацію транспортного засобу.

Для обслуговування легкових автомобілів на станціях технічного обслуговування найчастіше використовуються автоматичні балансувальні стенди з цифровою індикацією результатів вимірювання. Вони характеризуються високою точністю, швидкістю виконання робіт та можливістю балансування коліс різних типорозмірів, що робить їх незамінним обладнанням сучасних автосервісних підприємств.

					БР.АТ-55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 - Обладнання для балансування коліс

Балансувальний стенд B9755 	За допомогою цього стенда можна збалансувати колеса. Після монтажу шини колесо необхідно обов'язково збалансувати, інакше під час руху будуть відчуватися вібрації.
Верстат для рихтування колісних дисків Atek Professional DIGITAL 5200. 	Цей верстат призначений для рихтування колісних дисків після їх механічної деформації. Виконання цієї операції є необхідною умовою для подальшого якісного балансування коліс.
Кліщі для встановлення та зняття балансувальних вантажів VS0361. 	Вони призначені для зняття старих балансувальних вантажів і встановлення нових.
Набивні балансувальні вантажі для штампованих і литих колісних дисків 	Ці балансувальні вантажі призначені для усунення дисбалансу коліс. Після проведення балансування на балансувальному стенді визначається необхідна маса вантажів та місця їх встановлення для забезпечення рівномірного

	розподілу маси колеса відносно осі обертання.
Самоклеючі балансувальні вантажі для балансування коліс. 	Ці балансувальні вантажі найчастіше використовуються для балансування коліс із легкосплавними дисками.

1.8 Маркування шин кольоровими позначками

Після придбання нових шин на їхній поверхні зазвичай можна помітити кольорові точки. За їх допомогою балансування коліс автомобіля можна виконати з меншими витратами зусиль і ресурсів. Найчастіше це кольорові мітки діаметром близько 10 мм, нанесені на зовнішню поверхню шини. Вони можуть мати різні кольори, проте найбільш поширеними є жовтий, білий, зелений і червоний.

Зазвичай жовтим або білим кольором позначають найлегшу ділянку шини. Позначене місце рекомендується суміщати з вентиля колісного диска. У такому випадку колесо легше піддається балансуванню та потребує меншої кількості балансувальних вантажів. Якщо біла або жовта позначка і вентиль будуть суміщені максимально точно, балансування може бути виконане навіть без використання додаткових вантажів.

Червона позначка вказує на найтовщу та найважчу ділянку шини, яка повинна розташовуватися якомога далі від вентиля [15]. За умови правильного поєднання зон різної маси можна досягти такого балансу, за якого

					БР.АТ-55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

встановлення додаткових балансувальних вантажів може не знадобитися, що значно спрощує процес балансування коліс.



Рисунок 1.13 – Маркування найлегшої та найважчої зон автомобільної шини.

					БР.АТ-55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Об'єкт дослідження

Під час проведення дослідження з метою визначення впливу балансування коліс на вібрації, що виникають в автомобілі, буде виконано вимірювання вібрації в реальному автомобілі Audi A4 B5 в реальних умовах експлуатації.



Рисунок 2.1 – Дослідний автомобіль Audi A4.

Технічні характеристики автомобіля:

- Рік випуску – 1996;
- Виробник – Audi;
- Модель – A4 (8D, B5);
- Двигун – 1.9 TDI (110 к.с.);
- Тип кузова – седан;
- Кількість місць – 5;
- Максимальна маса – 1790 кг;
- Робочий об'єм двигуна – 1896 см³;
- Потужність двигуна – 81 кВт;
- Паливна система – дизельний двигун;

					БР.АТ-55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Середня витрата пального – 4,9 л/100 км;
- Шини – 195/65 R15;
- Колісні диски – 6J.

Обраний автомобіль має понад 20 років експлуатації, тому перед проведенням експериментів буде виміряно рівень вібрації за умови правильно збалансованих коліс. Це дозволить визначити частку постійних вібрацій, характерних саме для даного автомобіля. Отримані результати дадуть можливість порівняти рівень вібрації з показниками більш сучасних моделей автомобілів.

2.2 Вимірювальне обладнання

У даній роботі для дослідження вібрацій, що виникають унаслідок дисбалансу автомобільних коліс, використовується чотириканальний вимірювач та аналізатор рівня вібрації і шуму SVAN 958, який дозволяє вимірювати звук і вібрації в діапазоні частот до 20 кГц.



Рисунок 2.2 – Прилад для вимірювання вібрації SVAN 958

Прилад призначений для вимірювання віброприскорення та віброшвидкості, що дає можливість оцінити рівень акустичного шуму.

					БР.АТ-55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Комплект вимірювальної системи включає вібродатчики типу SV 39A/L та SV 50.

Вібродатчик SV 39A/L використовується для вимірювання вібрацій, що впливають на все тіло людини, а датчик SV 50 – для вимірювання вібрацій, що передаються через руки.

У практиці дослідження вібрацій застосовується метод спектрального аналізу, який полягає у розкладанні безперервного потоку коливань на окремі частотні смуги. Для формування спектрів використовуються смугові фільтри з шириною смуги 1/3 октави. [19]

Технічні характеристики SVAN 958:

- чотириканальні паралельні вимірювання шуму та вібрації в реальному часі до 20 кГц;
- FFT-аналіз у реальному часі до 1920 спектральних ліній у діапазоні 22,4 кГц;
- аналіз 1/1 та 1/3 октави в реальному часі;
- вимірювання вібрацій, що впливають на людину, відповідно до стандарту ISO 8041:2005, включаючи параметри VDV та MTVV;
- вимірювання рівня шуму відповідно до класу точності 1 згідно з ІЕС 61672:2002;
- функція акустичного дозиметра;
- вимірювання інтенсивності звуку;
- вимірювання часу реверберації;
- запис сигналів у реальному часі;
- удосконалений реєстратор даних із можливістю одночасного запису до 12 змінних та результатів спектрального аналізу;
- зовнішній USB-накопичувач для практично необмеженого зберігання даних;
- інтерфейси USB 1.1 Host & Client, RS232 та IrDA;
- програмований час інтегрування до 24 годин;

					БР.АТ-55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- живлення від чотирьох батарей типу АА [20.]

Під час вимірювання прилад визначає значення прискорення вздовж осей координатної системи X, Y та Z.

Для визначення загального зваженого прискорення використовується формула:

$$a_{3\theta} = \sqrt{a_{3\theta x}^2 + a_{3\theta y}^2 + a_{3\theta z}^2}$$



Рисунок 2.3 – Осі вимірювання вібрацій, що впливають на все тіло людини.

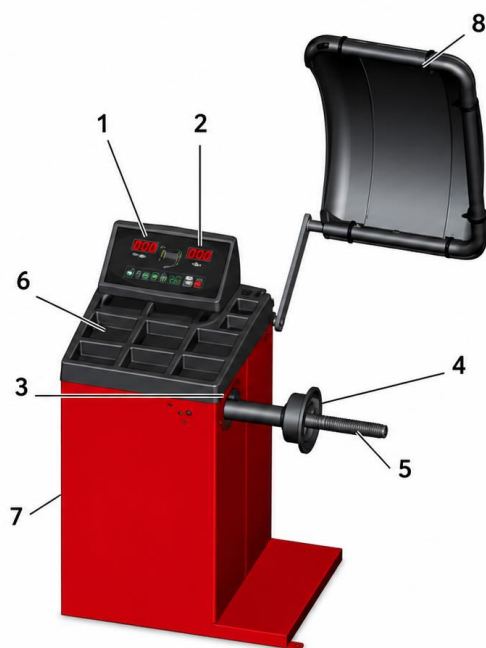
2.3. Додаткове обладнання

Для імітації реального дисбалансу колеса в даній роботі використовуватиметься балансувальний стенд, за допомогою якого визначатиметься величина дисбалансу. Збільшення дисбалансу здійснюватиметься шляхом послідовного встановлення балансувальних вантажів щоразу більшої маси. Для проведення дослідження використовуватиметься комп'ютеризований балансувальний стенд John Bean B9100 (рис. 2.3).

					БР.АТ-55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У цьому балансувальному обладнанні застосовано сучасні технології, які забезпечують зручність експлуатації та високу надійність роботи. Невелика швидкість обертання колеса під час балансування гарантує безпечне виконання робіт. Дисплей та панель введення параметрів адаптовані для швидкого й інтуїтивно зрозумілого виконання операцій балансування коліс. Це дає змогу максимально скоротити тривалість роботи та водночас забезпечити високу точність балансування.

Даний стенд для балансування демонтованих коліс призначений для виконання статичного та динамічного балансування коліс легкових автомобілів, легких комерційних транспортних засобів і вантажних автомобілів, технічні параметри яких відповідають характеристикам, зазначеним у технічній документації обладнання. Він забезпечує точне визначення та усунення як статичного, так і динамічного дисбалансу коліс.



Основні конструктивні елементи та їх функціональне призначення:

1. Екран
2. Панель введення параметрів
3. Внутрішня кнопка вимірювання
4. Вал
5. Гайка вала та затискний пристрій
6. Лоток для балансувальних вантажів
7. Кронштейн або отвір для зберігання конусів та прижимних деталей
8. Захисний кожух колеса

Рисунок 2.4 – Балансувальний стенд John Bean B9100.

Технічні характеристики John Bean B9100

Живлення:

- Напруга живлення – 220/240 В, 50/60 Гц;
- Споживаний струм – 1,5 А;
- Номінальна потужність двигуна – 0,22 кВт.

Параметри вимірювання:

- Тривалість вимірювання – 7 с;
- Частота обертання під час вимірювання – 200 об/хв;
- Діапазон переміщення – 0–250 мм;
- Роздільна здатність вимірювання маси – 1/5 г або 0,05/0,25 унції.

Параметри колеса:

- Максимальна ширина – 500 мм;
- Максимальний діаметр – 1016/880 мм;
- Максимальна маса – 65 кг;
- Ширина обода – 25–407 мм (1–16");
- Ширина обода (динамічне балансування) – 76–407 мм (3–16");
- Діаметр обода – 305–560 мм (12–22").

Вал:

- Діаметр основного вала – 40 мм.

Габаритні розміри:

- Маса стенда – 80 кг;
- Маса в упаковці – 96 кг;
- Розміри (висота × глибина × ширина) – 1633 × 1111 × 1036 мм;
- Розміри упаковки – 1145 × 1120 × 1060 мм.

Інші характеристики:

- Рівень шуму – менше 70 дБ(А).

					БР.АТ-55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4. Порядок проведення дослідження

Експериментальні дослідження проводилися під час руху автомобіля асфальтованою дорогою з одночасним вимірюванням вібрацій у різних точках автомобіля: на підлозі, сидінні, спинці сидіння, у багажному відділенні та на кермовому колесі.

Вимірювання проводилися за швидкостей руху 50, 70 та 100 км/год. Довжина дослідної ділянки становила 2 км. Усі випробування виконувалися на одній і тій самій ділянці дороги.

Для моделювання дисбалансу коліс на колеса автомобіля встановлювалися додаткові балансувальні вантажі.

Перша серія випробувань проводилася із зимовими шинами R15. Для оцінки впливу типу та сезонності шин дослідження було повторено з літніми шинами R16, встановленими на легкосплавних дисках.

Кожне випробування виконувалося двічі, після чого визначалося середнє геометричне значення отриманих результатів.

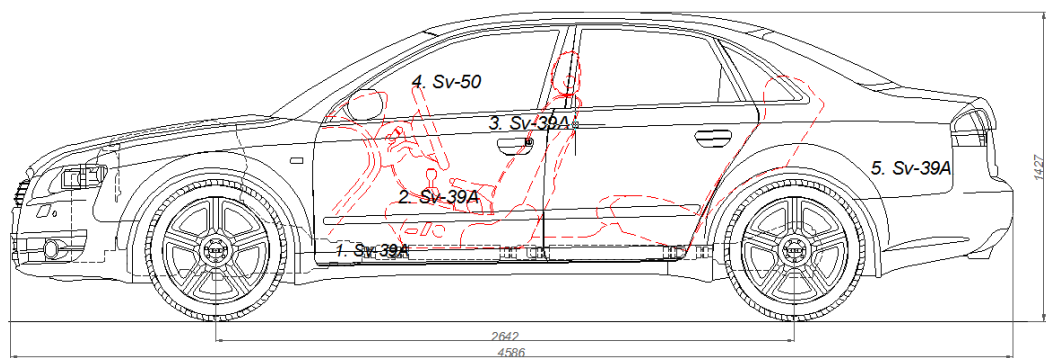
Випробування проводилися в такій послідовності:

1. Дисбаланс передніх коліс – 25 г.
2. Дисбаланс передніх коліс – 45 г.
3. Дисбаланс передніх і задніх коліс – 45 г.
4. Дисбаланс передніх і задніх коліс – 55 г.
5. Дисбаланс передніх і задніх коліс – 80 г.

Схема розташування датчиків вібрації наведена на рисунку 2.5.

					БР.АТ-55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

AUDI A4



1 – підлога автомобіля; 2 – сидіння; 3 – спинка сидіння; 4 – кермове колесо; 5 – багажне відділення.

Рисунок 2.5 – Місця проведення вимірювань в автомобілі

					БР.АТ-55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Вимірювання вібрації під час руху на зимових та літніх шинах

Перший експеримент було проведено на автомобілі Audi A4. Вимірювання вібрації виконувалися на підлозі автомобіля з боку водія. У процесі дослідження змінювалися швидкість руху транспортного засобу та величина дисбалансу коліс, у результаті чого були отримані значення віброприскорення, які надалі подано у графічному вигляді.

Залежність рівня вібрації автомобіля від швидкості руху та величини дисбалансу коліс наведено на відповідних графіках.

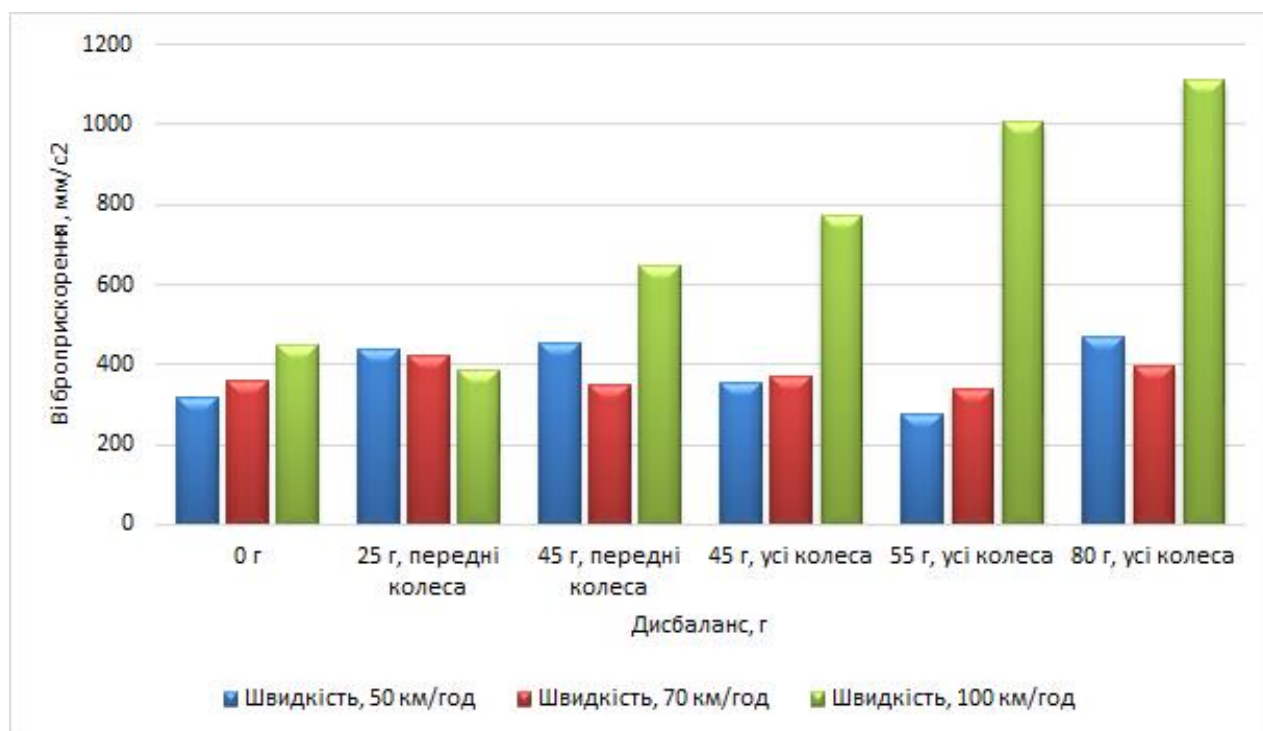


Рисунок 3.1 – Вібрації підлоги автомобіля під час руху на зимових шинах.

Як видно з наведеної діаграми, найбільші вібрації підлоги автомобіля спостерігаються при досягненні швидкості руху 100 км/год. За наявності дисбалансу всіх коліс величиною 80 г значення віброприскорення перевищує

1,1 м/с². Під час руху зі швидкістю 100 км/год на правильно збалансованих колесах віброприскорення підлоги автомобіля є у 2,47 раза меншим.

Вібрації підлоги при швидкостях 50 км/год та 70 км/год відрізняються незначно. При русі зі швидкістю 50 км/год різниця між рівнями вібрації за відсутності дисбалансу та при дисбалансі 80 г становить 1,47 раза.

Дослідження вібрацій підлоги автомобіля було повторено із використанням нових літніх шин R16 (рисунок 4.2). Місце встановлення балансувального вантажу позначене стрілкою для забезпечення однакового положення вантажу під час проведення випробувань із вантажами більшої маси.



Рисунок 3.2 – Проведення експерименту з використанням літніх шин R16.

Результати дослідження з використанням літніх шин наведено на рисунку 3.3.

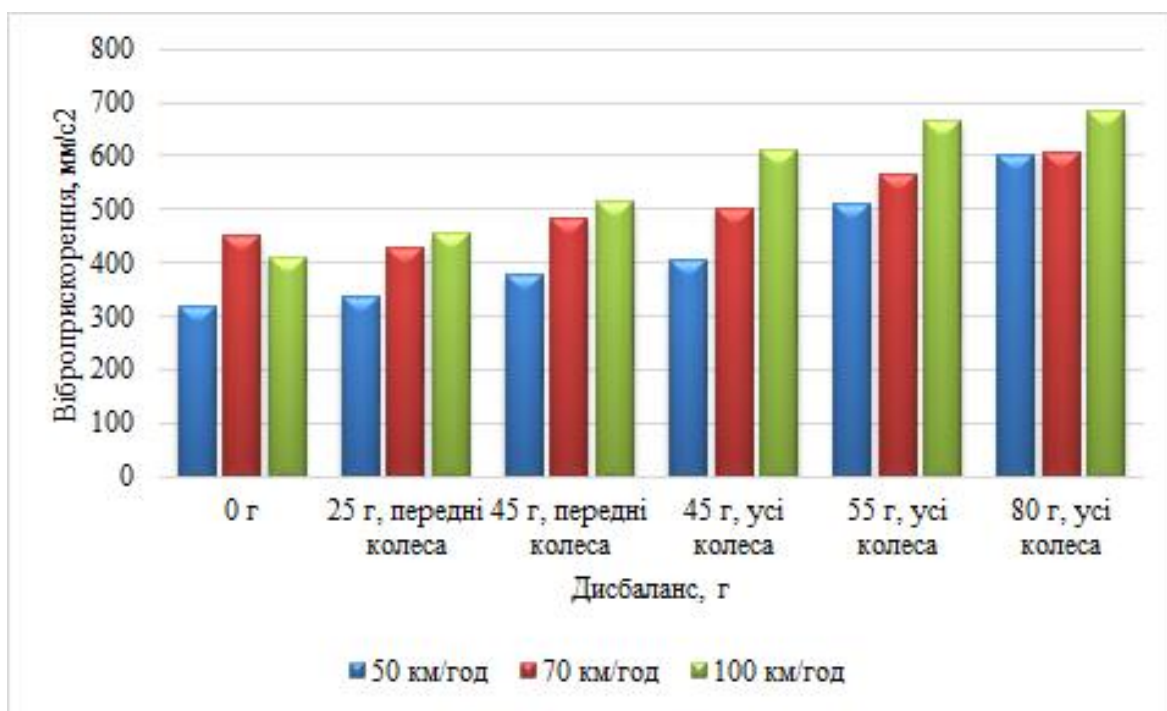


Рисунок 3.3 – Вібрації підлоги автомобіля під час руху на літніх шинах.

Як і у випадку із зимовими шинами, найбільший рівень вібрації в автомобілі спостерігається при досягненні швидкості 100 км/год. При дисбалансі коліс 80 г величина віброприскорення підлоги становить 685 мм/с², тоді як за відсутності дисбалансу цей показник є у 1,6 раза меншим.

Порівняння рисунків 4.1 та 4.3 показує, що під час руху на літніх шинах вібрація підлоги автомобіля досягає вищих значень, ніж на зимових шинах, при швидкостях 50 км/год та 70 км/год. Проте при швидкості 100 км/год і дисбалансі коліс 80 г вібрація під час руху на зимових шинах є у 1,6 раза більшою, ніж на літніх.

Другий експеримент полягав у вимірюванні вібрацій на сидінні автомобіля. Датчик вібрації було встановлено на сидінні автомобіля Audi A4, що дало змогу визначити рівень коливань, які безпосередньо впливають на людину, яка перебуває на цьому місці. Місце встановлення датчика показано на рисунку 3.4.

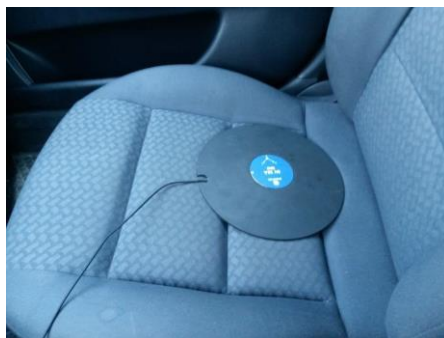


Рисунок 3.4 – Вимірювання вібрацій на сидінні автомобіля.

Далі наведено експериментальні дані, отримані під час руху автомобіля із зимовими та літніми шинами.

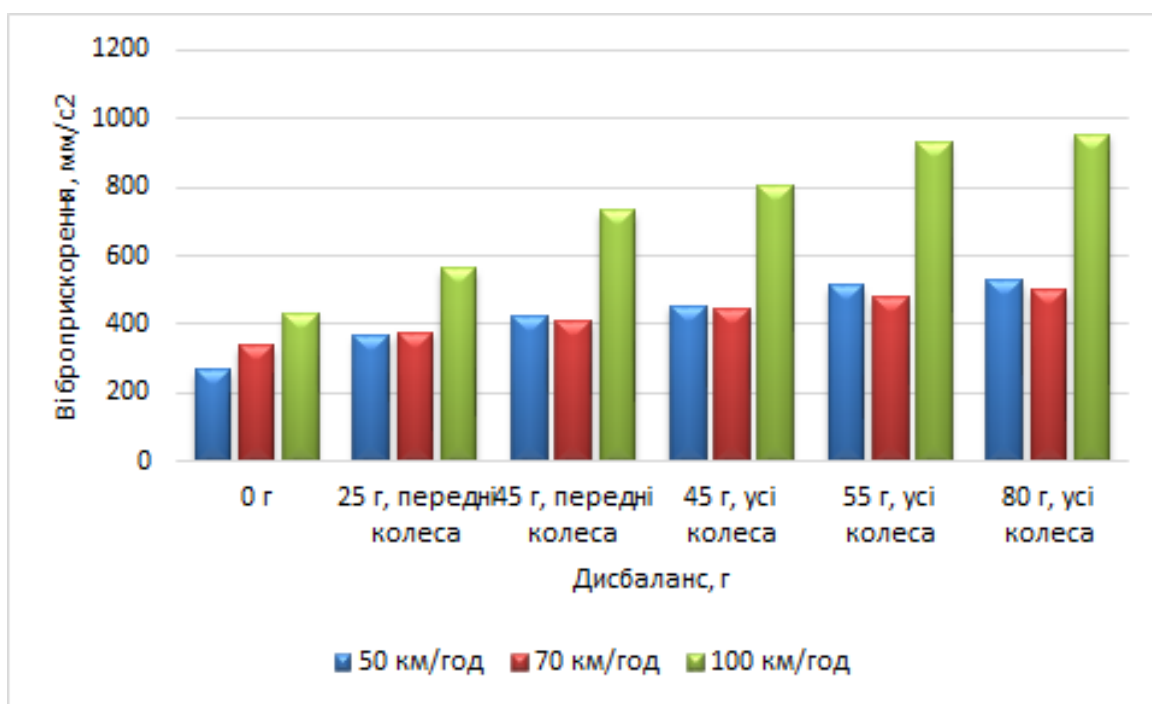


Рисунок 3.5 – Вібрації автомобільного сидіння під час руху із зимовими шинами.

Після проведення випробування із зимовими шинами встановлено, що за однакового дисбалансу коліс і зміні швидкості від 50 км/год до 70 км/год зміна вібрацій є незначною. Під час вимірювання вібрації сидіння при швидкості 100 км/год видно, що при збільшенні дисбалансу коліс від 0 г до 80

г рівень вібрації зростає у 2,2 раза. Як і в попередніх випробуваннях, вібрації суттєво зростають при досягненні швидкості 100 км/год. Відповідно при русі зі швидкістю 50 км/год співвідношення вібрацій між дисбалансом 0 г та 80 г становить 1,9 раза. Далі розглянемо вібрації сидіння під час руху з літніми шинами.

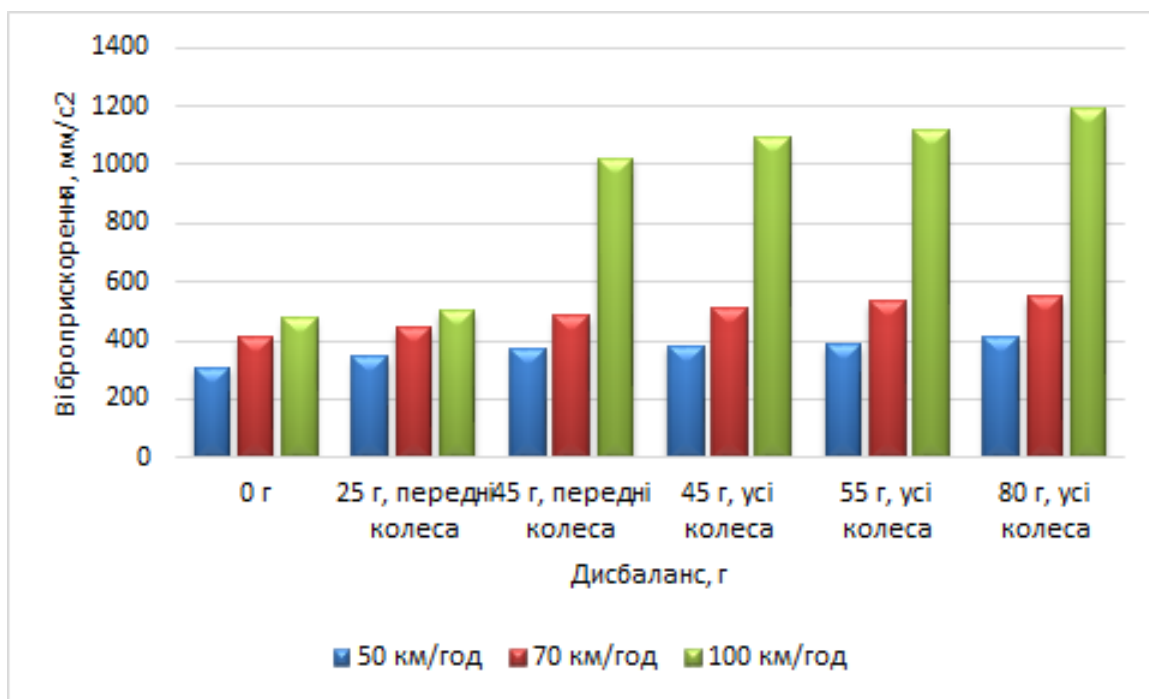


Рисунок 3.6 – Вібрації автомобільного сидіння під час руху із літніми шинами

Як видно з отриманих результатів, під час руху з літніми шинами вібрації на сидінні є більшими. Для порівняння, при швидкості 100 км/год і дисбалансі коліс 80 г рівень вібрації на автомобільному сидінні на 243 мм/с² вищий, ніж із зимовими шинами. Також встановлено, що за нульового дисбалансу вібрації з літніми шинами є більшими. При дисбалансі 45 г і більше та збільшенні швидкості від 70 км/год до 100 км/год вібрація на автомобільному сидінні зростає приблизно у два рази.

Третє випробування було проведено шляхом вимірювання вібрацій на спинці сидіння. За допомогою додаткових засобів віброметр SV-39A був закріплений на спинці сидіння. Вібрації вимірювалися на пасажирському

сидінні. Випробування проводилося із зимовими шинами. Отримані дані наведено на рисунку 3.7

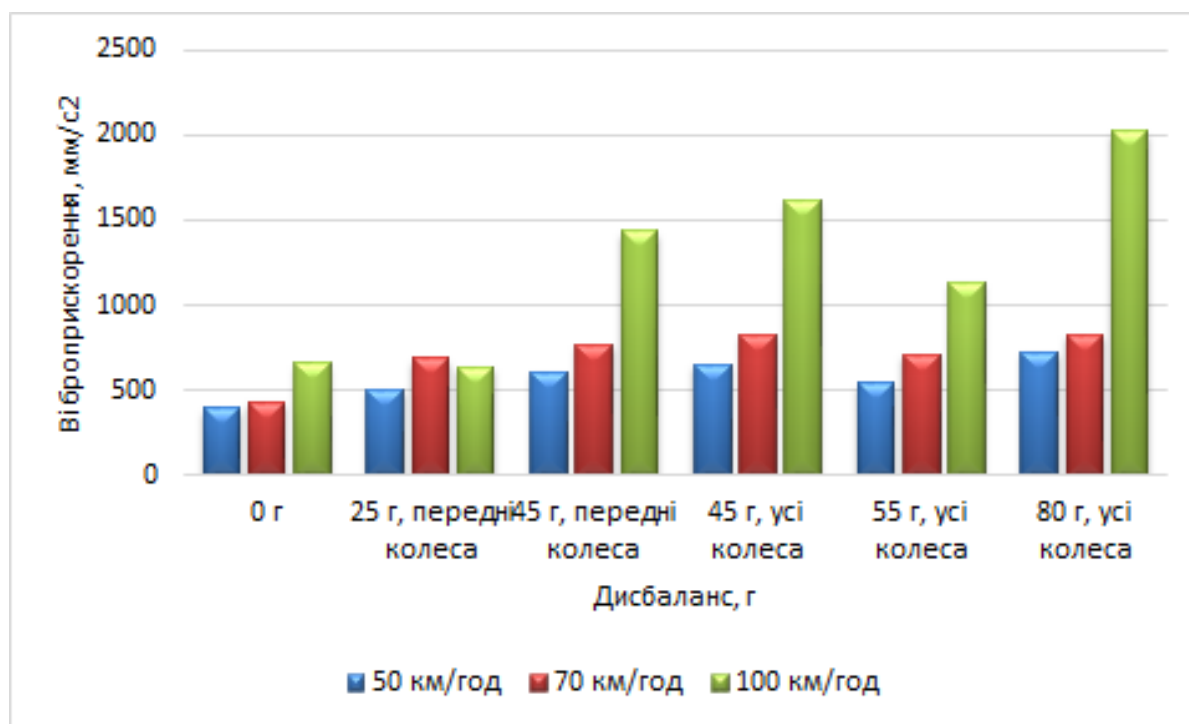


Рисунок 3.7 – Вібрації спинки автомобільного сидіння під час руху із зимовими шинами

Після аналізу наведеного графіка видно, що вібрації спинки сидіння при дисбалансі всіх коліс 80 г досягають 2 м/с², а при зниженні швидкості до 70 км/год значення прискорення вібрацій зменшується до 0,83 м/с². За нульового дисбалансу при русі зі швидкістю 70 км/год значення прискорення становить 429 мм/с², тоді як при виникненні дисбалансу 80 г вібрація збільшується у 1,9 раза. Ще більша різниця спостерігається при досягненні швидкості 100 км/год — вібрації відрізняються майже у 3 рази. З діаграми видно, що вібрації спинки сидіння пропорційно зростають зі збільшенням дисбалансу коліс. Далі були виміряні значення вібрацій спинки сидіння під час руху з літніми шинами, що представлено на рисунку 3.8.

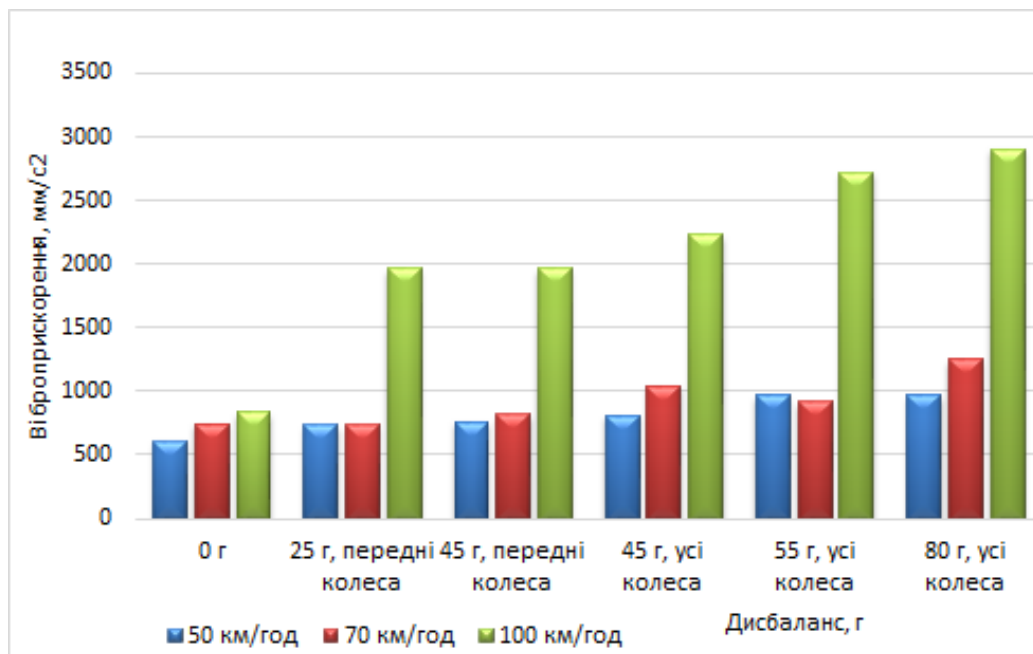


Рисунок 3.8 – Вібрації спинки автомобільного сидіння під час руху із літніми шинами

З отриманих результатів видно, що вібрації в автомобілі є більшими, ніж під час руху із зимовими шинами. При русі з правильно збалансованими колесами вібрація спинки сидіння приблизно на 200 мм/с² більша, ніж при русі із зимовими шинами. Із збільшенням дисбалансу коліс ця різниця зростає. Під час руху автомобіля з літніми шинами при дисбалансі всіх коліс 45 г вібрація змінюється від 809 мм/с² до 2227 мм/с², тоді як при русі із зимовими шинами значення вібрації є нижчими — від 651 мм/с² до 1612 мм/с². При подальшому збільшенні дисбалансу до 80 г і русі зі швидкістю 100 км/год із літніми шинами вібрація спинки сидіння є у 1,45 раза більшою, ніж із зимовими. Підсумовуючи діаграми 4.7 і 4.8, можна зробити висновок, що вібрація спинки сидіння є більшою при русі з літніми шинами, що може бути зумовлено іншим складом гумової суміші зимових шин. Завдяки м'якшій гумовій суміші частина вібрацій не передається на кузов автомобіля, а відповідно і на спинку сидіння.

Четверте випробування було проведено за допомогою датчика вібрації SV-50, який був закріплений на кермі. Кріплення датчика показано на рис. 3.9. За допомогою віброметра SVAN-958 та датчика SV-50 було виміряно вібрацію, що впливає на руки водія. Відповідно до наказу ЛР, допустиме щоденне значення вібрації при 8-годинному робочому дні не повинно перевищувати $0,5 \text{ м/с}^2$, або доза впливу вібрації не повинна перевищувати $9,1 \text{ м/с}^{1,75}$ [24]. Випробування, як і попередні, було повторено двічі — із зимовими та літніми шинами.



Рисунок 3.9 – Вимірювання вібрацій на кермі.

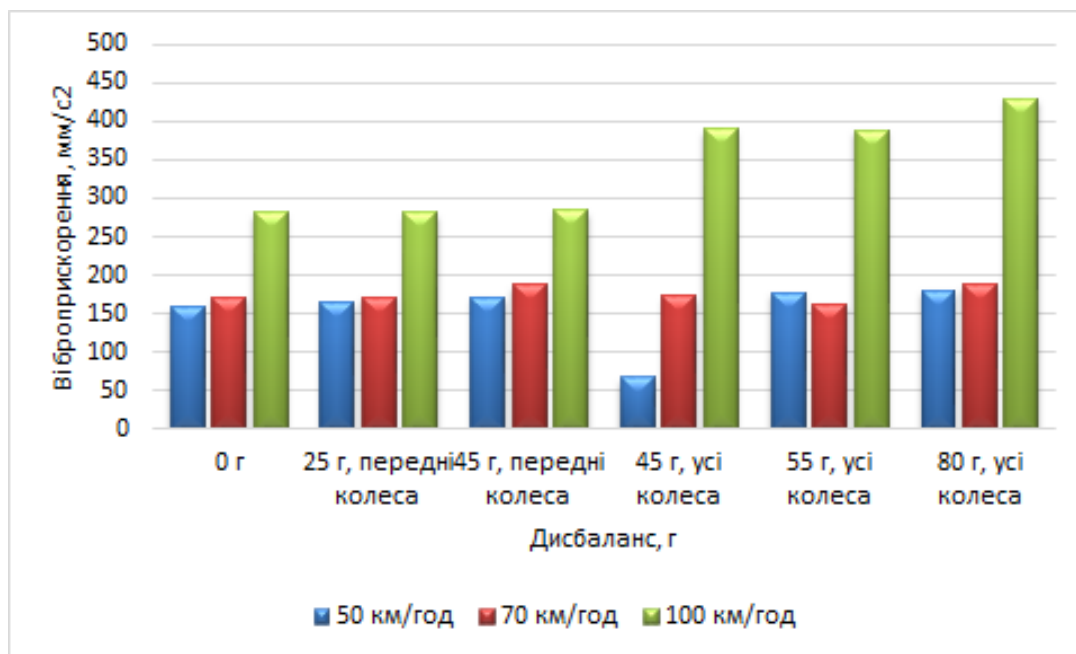


Рисунок 3.10 – Вібрації на кермі автомобіля під час руху із зимовими шинами

Після проведення випробування встановлено, що максимальне значення вібрації становить 430 мм/с^2 . За нульового дисбалансу коліс значення вібрації при русі зі швидкістю 100 км/год становить 282 мм/с^2 . Ця різниця складає $34,5 \%$. Менші зміни спостерігаються при нижчих швидкостях, тобто 50 км/год і 70 км/год . Подальший аналіз даних показує, що при русі зі швидкістю 50 км/год за нульового дисбалансу вібрація на кермі збільшується на $12,1 \%$ порівняно з дисбалансом 80 г коліс. При збільшенні швидкості до 70 км/год зміна вібрації є менш значною — вона змінюється від 172 мм/с^2 до 187 мм/с^2 , що становить 8% .

Результати випробування з літніми шинами наведено на рисунку 3.11.

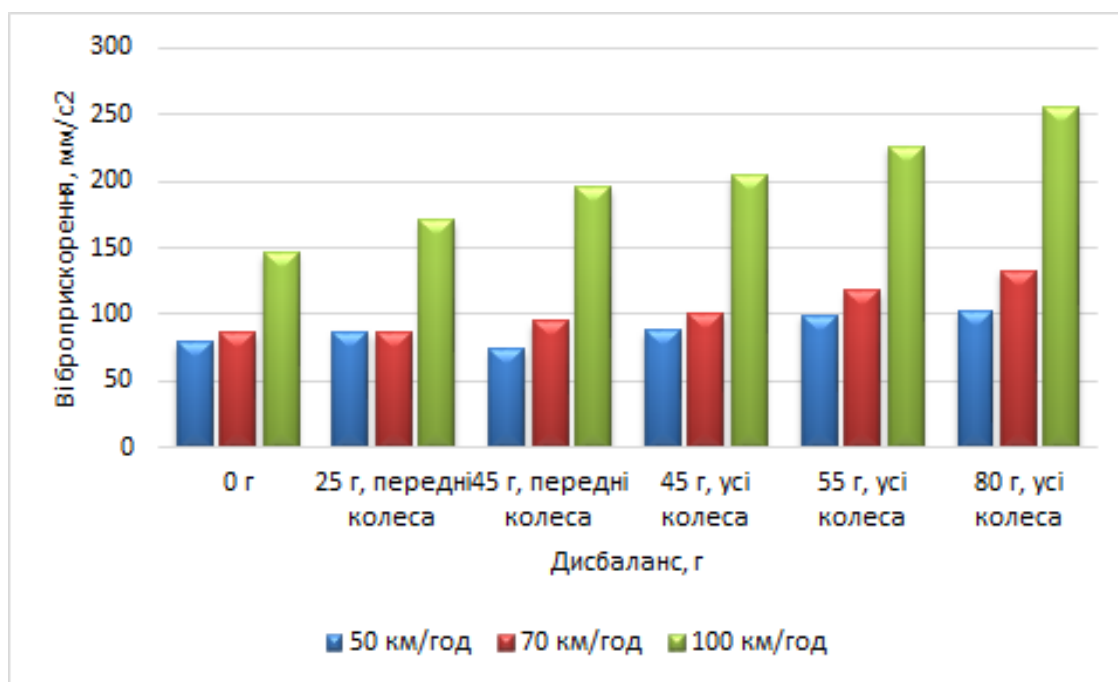


Рисунок 3.11 - Вібрації на кермі автомобіля під час руху на літніх шинах

Під час випробування з літніми шинами R16 встановлено, що значення прискорення є значно меншими, ніж під час руху на зимових шинах. При швидкості 100 км/год рівень вібрації змінюється від 146 мм/с^2 за відсутності дисбалансу коліс (0 г) до 255 мм/с^2 при дисбалансі 80 г , тобто збільшується у $1,74$ раза. Порівняння діаграм, наведених на рис. 4.10 та 4.11, показує, що за

однакової швидкості руху 100 км/год і дисбалансу всіх коліс 80 г рівень вібрації при використанні літніх шин є у 1,68 раза меншим.

Оскільки на тіло людини вібрація передається через три основні опорні поверхні — підлогу, сидіння та спинку сидіння, додатково були проведені вимірювання на спинці сидіння. Встановлено, що саме в цій зоні спостерігаються найбільші значення вібрації. Максимальне значення вібрації було зафіксовано під час руху на літніх шинах при дисбалансі коліс 80 г і становило 2,904 м/с². Отримані результати свідчать про те, що спинка сидіння є найкращим провідником вібрацій в автомобілі.

Після вимірювання вібрації на кермі було встановлено, що її рівень є вищим при використанні зимових шин. Вібрація, яка передається на кермо, досягає 0,43 м/с² під час руху зі швидкістю 100 км/год при дисбалансі коліс 80 г.

3.2 Визначення добового рівня впливу вібрації

3.2.1 Вібрація, що впливає на все тіло під час руху на літніх шинах.

Використовуючи отримані результати досліджень, визначимо добове значення впливу вібрації. Вібрація всього тіла під час перебування людини на сидінні автомобіля передається через три основні опорні поверхні: підлогу автомобіля, сидіння та спинку сидіння.

Добове значення впливу вібрації — це сумарний рівень впливу вібрації за 8-годинний робочий день, який виражається через частотно-зважені ефективні середньоквадратичні (RMS) значення віброприскорення та визначається за такою формулою:

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{T_0} \cdot \sum_{i=1}^n (a_{vi})^2 T_i} \quad (4.1)$$

					БР.АТ-55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де:

$A(8)$ – добове значення впливу вібрації, приведене до 8-годинного робочого дня, м/с^2 ;

$a_{\text{вi}}$ – частотно-зважене середньоквадратичне (RMS) значення віброприскорення під час i -го робочого процесу (або операції), м/с^2 ;

T_i – тривалість i -го періоду впливу вібрації (операції), с;

T_0 – нормована тривалість робочого дня, що становить 8 годин або 28 800 с [24.].

Використовуючи цю формулу, були розраховані добові значення впливу вібрації. Значення добового впливу вібрації під час руху автомобіля зі швидкістю 50 км/год на літніх шинах наведені на рис. 3.12.

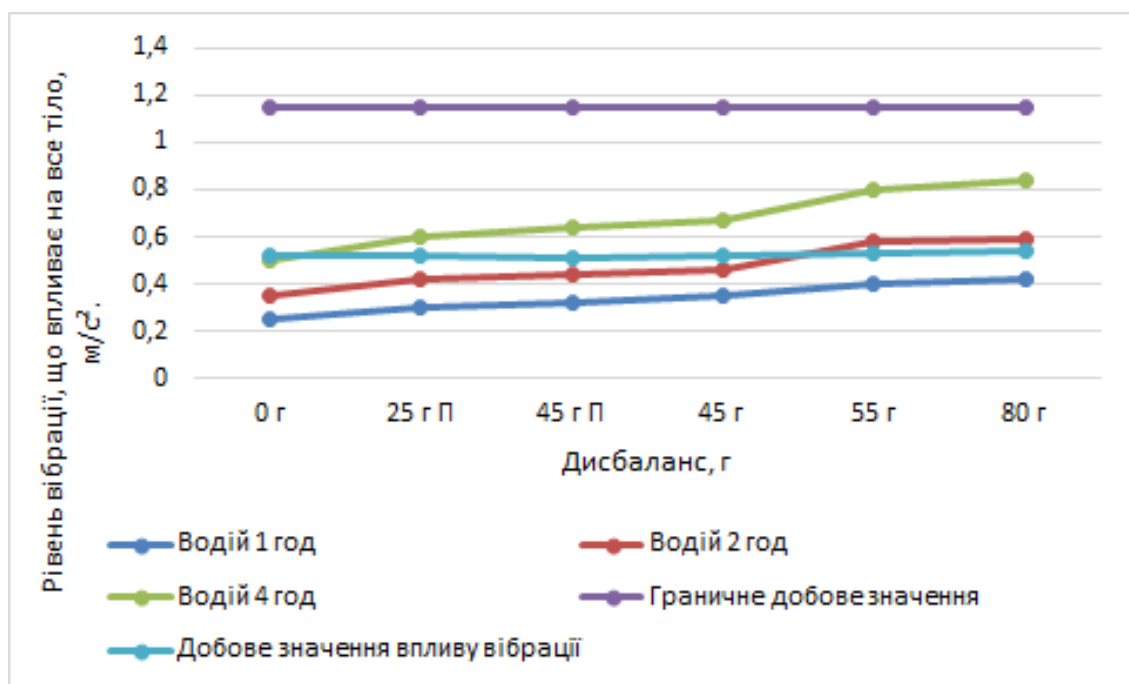


Рисунок 3.12 - Добове значення впливу вібрації для 8-годинного робочого дня під час руху зі швидкістю 50 км/год.

Після виконання розрахунків було визначено добове значення вібрації, що впливає на все тіло людини. Для цих розрахунків використовувалися

результати вимірювань, отримані на підлозі автомобіля, сидінні та спинці сидіння. Нормативне значення добового впливу вібрації становить $0,5 \text{ м/с}^2$.

Як видно з діаграми, під час руху зі швидкістю 50 км/год протягом 1 години добове значення впливу вібрації не перевищує встановленої норми. За тривалості руху 2 години межа $0,5 \text{ м/с}^2$ перевищується при дисбалансі коліс 55 г . При русі протягом 4 годин добове значення впливу вібрації не перевищується лише за відсутності дисбалансу коліс (0 г).

Після збільшення швидкості руху до 70 км/год були отримані результати, які наведено на рис. 3.13.

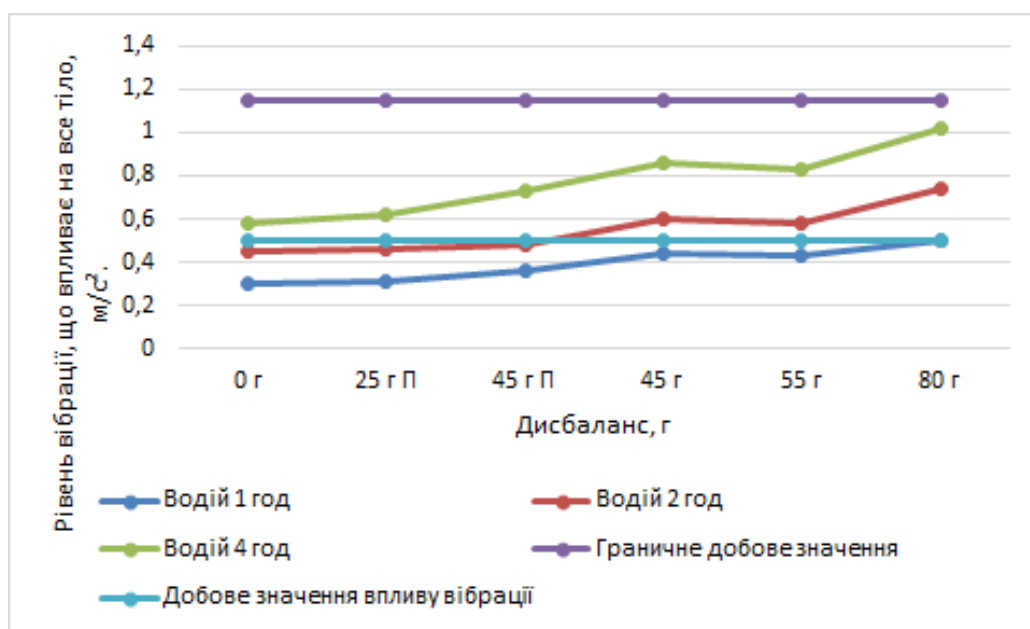


Рисунок 3.13 - Значення добового впливу вібрації для 8-годинного робочого дня під час руху зі швидкістю 70 км/год .

За швидкості 70 км/год добове значення впливу вібрації не перевищується при русі протягом однієї години. При русі протягом двох годин за дії тієї ж вібрації значення $0,5 \text{ м/с}^2$ перевищується за умови збільшення дисбалансу колеса до 45 г . Під час руху протягом чотирьох годин

за постійної дії вібрації добове значення впливу перевищується в усіх досліджуваних випадках.

Як видно з графіка, крива розташована в межах від $0,5 \text{ м/с}^2$ до $1,15 \text{ м/с}^2$, що свідчить про те, що граничне значення впливу вібрації не перевищується.

Результати, отримані при швидкості 100 км/год, наведено на рис. 3.14.

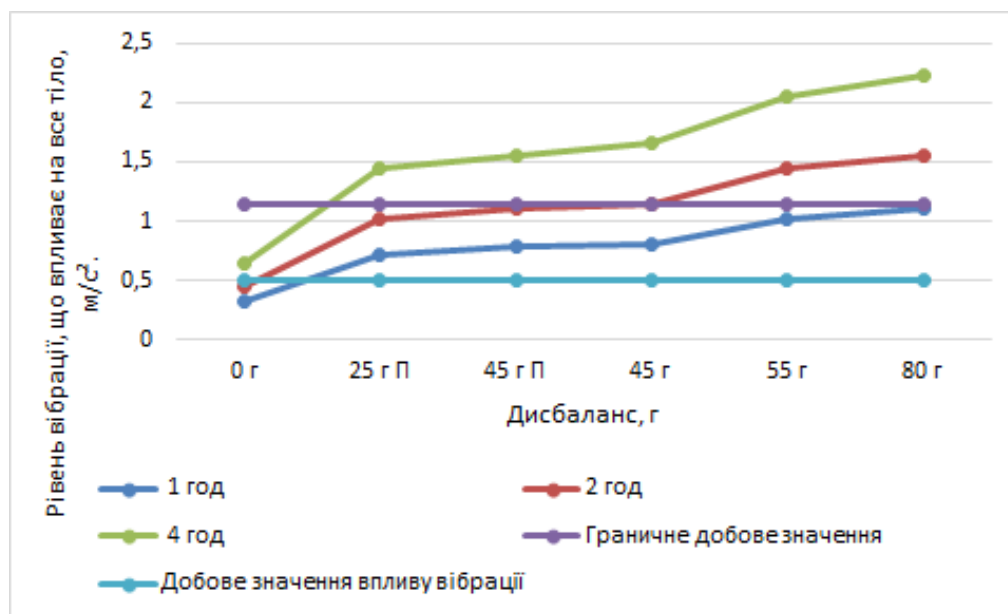


Рисунок 3.14 - Значення добового впливу вібрації для 8-годинного робочого дня під час руху зі швидкістю 100 км/год.

Як видно з графіка, зі збільшенням швидкості суттєво зростає рівень вібрації в автомобілі. Унаслідок цього перевищуються як добове значення впливу вібрації, так і граничне значення її впливу. Граничне добове значення впливу перевищується під час руху протягом 2 годин за наявності 45 г дисбалансу колеса.

Аналіз графіка показує, що найбільш різке зростання спостерігається під час руху зі швидкістю 100 км/год протягом 4 годин. За появи 25 г дисбалансу передніх коліс добове значення впливу вібрації збільшується з $0,65 \text{ м/с}^2$ до $1,44 \text{ м/с}^2$. Це свідчить про значний вплив навіть відносно невеликого дисбалансу коліс на рівень вібраційного навантаження на водія та пасажирів.

ВИСНОВКИ

У результаті проведених вимірювань вібрації в різних місцях автомобіля встановлено, що найбільший рівень вібрації спостерігається на спинці сидіння. Під час руху на літніх шинах зі швидкістю 100 км/год та за наявності 80 г дисбалансу колеса значення віброприскорення досягало 2904 мм/с^2 , тоді як на сидінні рівень вібрації за тих самих умов був у 2,4 раза меншим.

При збільшенні швидкості руху з 70 км/год до 100 км/год рівень вібрації в автомобілі зростає приблизно на 50 % за умови дисбалансу коліс 80 г.

На основі експериментальних даних, отриманих під час дослідження, були виконані розрахунки для визначення добового значення впливу вібрації. За максимальної вібрації, зафіксованої на кермі, добове значення впливу вібрації виявилось у 8,3 раза меншим за допустиме нормативне значення.

Добове значення впливу вібрації на все тіло для 8-годинного робочого дня становить $0,5 \text{ м/с}^2$. Результати розрахунків показали, що при русі протягом 4 годин зі швидкістю 100 км/год та за наявності 80 г дисбалансу коліс значення добового впливу вібрації досягає $2,21 \text{ м/с}^2$. Це значення перевищує граничне значення впливу вібрації, яке становить $1,15 \text{ м/с}^2$, у 1,9 раза. За таких рівнів вібраційного навантаження виникає реальна загроза погіршення стану здоров'я та розвитку захворювань, пов'язаних із впливом загальної вібрації (HAVS/WBV-пов'язані професійні захворювання).

					БР.АТ-55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про охорону праці» №2694-XII від 14.10.1992 р. (зі змінами та доповненнями). Київ, 2024.
2. Державна служба України з питань праці. Офіційний вебсайт. URL: <https://dsp.gov.ua>
3. Болотських М.С. Вібрації та їх вплив на людину і навколишнє середовище. Харків: ХНУБА, 2018. 156 с.
4. Калінін Є.І., Сокол Г.І. Основи віброакустики та захисту від шуму і вібрації. Київ: НТУУ «КПІ», 2015. 248 с.
5. Методичні рекомендації щодо захисту працівників від впливу виробничої вібрації. Київ: Міністерство соціальної політики України, 2017. 72 с.
6. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. Київ: МОЗ України, 1999.
7. ДСТУ EN ISO 5349-1:2019. Вібрація механічна. Вимірювання та оцінювання впливу вібрації, що передається на руки. Частина 1. Загальні вимоги.
8. ТОВ «АВТОТЕХСЕРВІС». Обладнання для діагностики та ремонту автомобілів. URL: <https://autotechservice.com.ua>
9. Гуменюк В.М. Вплив умов праці водіїв транспортних засобів на стан здоров'я. Вісник транспортної медицини. 2016. №4. С. 25–31.
10. European Agency for Safety and Health at Work. Musculoskeletal Disorders. URL: <https://osha.europa.eu>
11. Говорущенко М.Я. Експлуатаційні властивості автомобілів. Харків: ХНАДУ, 2011. 372 с.
12. Державна служба статистики України. Офіційний вебсайт. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua>

					БР.АТ-55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

13. ТОВ «ШИНОСЕРВІС». Балансування коліс та шиномонтажні роботи.
URL: <https://shinoservice.ua>
14. Hunter Engineering Company. Wheel Balancing Fundamentals. URL:
<https://www.hunter.com>
15. Michelin. Tire Markings and Identification Guide. URL:
<https://www.michelin.com>
16. Audi A4 B5 Technical Specifications. URL: <https://www.automobile-catalog.com>
17. Богдевич М.В. Динаміка транспортних засобів. Київ: НТУ, 2018. 286 с.
18. Directive 2002/44/EC of the European Parliament and of the Council on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to risks arising from vibration.
19. SVANTEK. SVAN 958 Four Channels Sound and Vibration Analyzer. User Manual. Warsaw, 2008.
20. SVANTEK. SVAN 958 Product Datasheet. URL: <https://svantek.com>
21. Snap-on Equipment. Wheel Balancer B9100. Operating Instructions. Kenosha, USA, 2010.
22. Audi AG. Audi A4 Technical Documentation and Specifications. URL:
<https://www.audi.com>
23. Brüel & Kjær. Human Vibration Analyzer Type 4447. User Manual. Nærum, Denmark, 2009.
24. ISO 2631-1:1997. Mechanical Vibration and Shock – Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration – Part 1: General Requirements.
25. Health and Safety Executive (HSE). Hand-Arm Vibration Calculator. URL:
<https://www.hse.gov.uk/vibration>
26. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту». Харків: ХНАДУ, 2023.

					БР.АТ-55.00.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Комплект ілюстративного матеріалу до захисту бакалаврської роботи

студента групи АТ-2-2

Кузика Ореста Михайловича

ВПЛИВ БАЛАНСУВАННЯ КОЛІС НА РІВЕНЬ ВІБРАЦІЇ АВТОМОБІЛЯ ТА БЕЗПЕКУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

Науковий керівник: доц. Гнип М.М.

Івано-Франківськ
2026р.

Актуальність.

Основними шкідливими та небезпечними чинниками професійного ризику на робочих місцях, які впливають на здоров'я працівників, є хімічні, фізичні, біологічні, ергономічні, психосоціальні та фізичні фактори. За даними Державної служби України з питань праці, 83,7 % професійних захворювань спричинені впливом шуму та вібрації. Серед професійних захворювань, викликаних фізичними чинниками, 64 % становлять захворювання, пов'язані з впливом загальної та локальної (на руки) вібрації. Такі проблеми найчастіше виявляються у водіїв та операторів мобільної техніки — екскаваторників, трактористів, бульдозеристів, машиністів кранів. На їхню частку припадає 74,6 % усіх професійних захворювань [2].

Мета роботи: дослідити вплив балансування коліс автомобіля на рівень вібрацій транспортного засобу.

Завдання роботи:

1. Описати поняття вібрації та основні джерела вібрацій в автомобілі.
2. Розглянути процес балансування коліс і основні способи його виконання.
3. Визначити вплив балансування коліс на виникнення вібрацій у салоні автомобіля та на кермовому колесі.
4. Встановити, чи не перевищують виявлені вібрації допустимих нормативних значень.

Об'єкт дослідження – вібраційні процеси, що виникають у автомобілі під час руху.

Предмет дослідження – закономірності зміни параметрів вібрації автомобіля залежно від величини дисбалансу коліс, швидкості руху та типу встановлених шин.

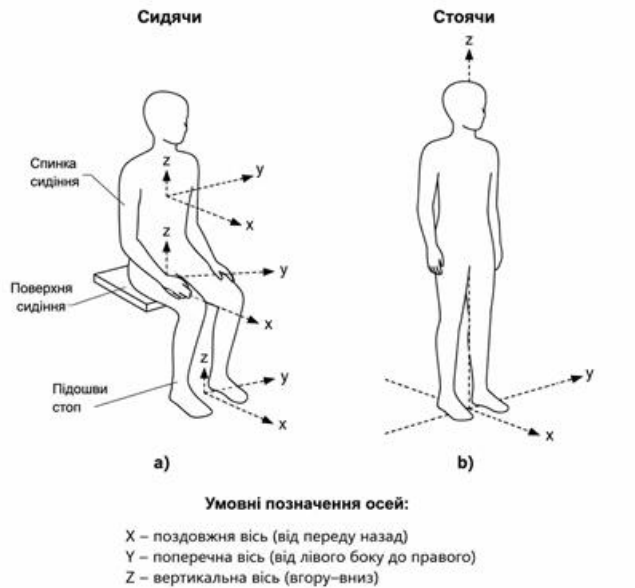


Рисунок 1 - Напрямки дії вібрації: а) на людину в положенні сидючи; б) на людину в положенні стоячи [5].

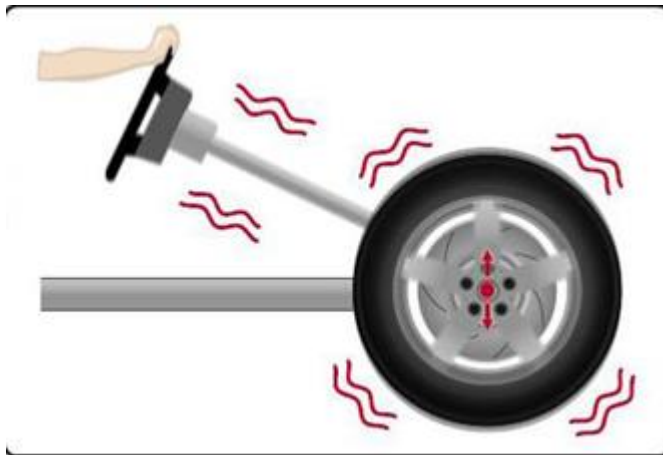


Рисунок 3 - Вібрація, спричинена дисбалансом коліс автомобіля

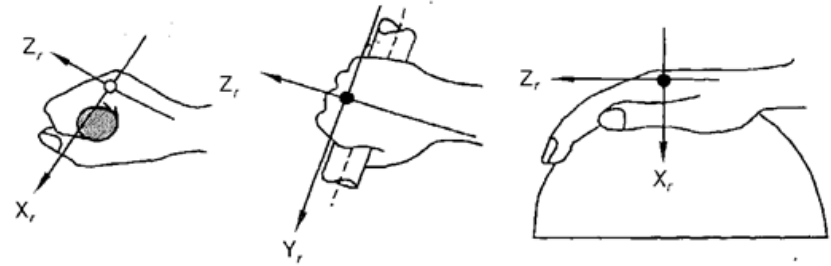


Рисунок 2 - Напрямки вимірювання вібрації, що передається через руки [6].

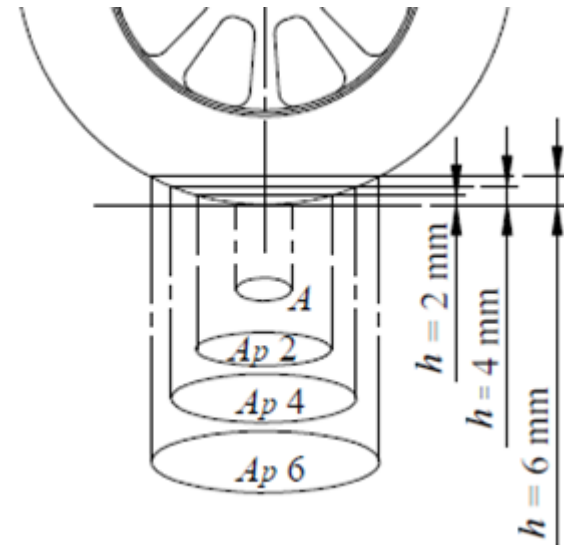


Рисунок 4 - Схема зношування шини: A – площа контакту непошкодженої шини з дорожнім покриттям; A_p – площа контакту пошкодженої шини з дорожнім покриттям; h – глибина зношування шини [26].

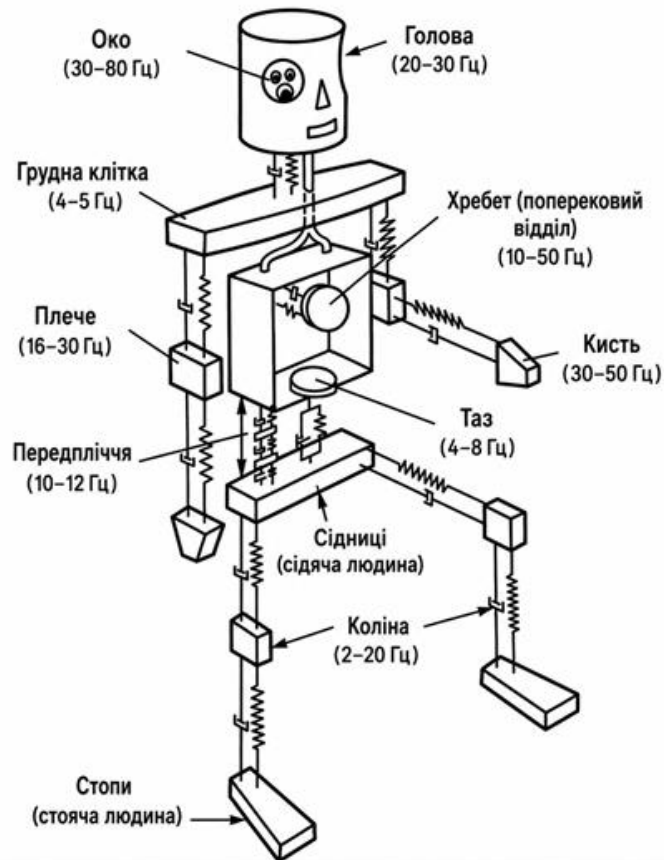


Рисунок 6 – Негативний вплив вібрації на організм людини [11].

Рисунок 5 - Власні (резонансні) частоти окремих частин тіла людини

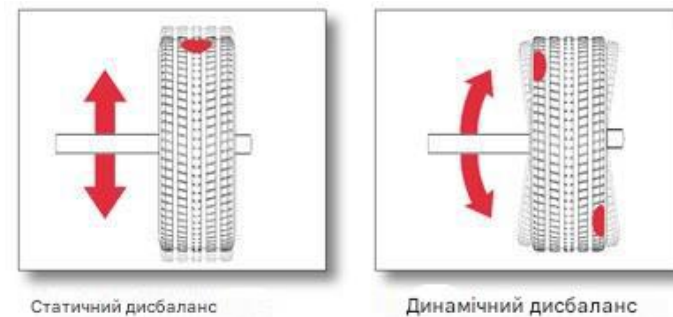


Рисунок 7 – Схема статичного та динамічного дисбалансу автомобільного колеса



Рисунок 8 - Балансувальний стенд B9755

Параметр	Значення
Модель	John Bean B9755
Тип стенда	Комп'ютеризований балансувальний стенд
Діаметр обода	8–25"
Ширина обода	1–20"
Максимальний діаметр колеса	950 мм
Максимальна маса колеса	70 кг
Швидкість балансування	200 об/хв
Час вимірювання	6–8 с
Електроживлення	220 В, 50 Гц
Маса стенда	145 кг



Рисунок 10 - Кліщі для встановлення та зняття балансувальних вантажів VS0361



Рисунок 9 - Верстат для рихтування колісних дисків Atek Professional DIGITAL 5200

Параметр	Значення
Модель	Atek Professional DIGITAL 5200
Тип обладнання	Електрогідравлічний верстат для рихтування дисків
Діаметр дисків, що ремонтуються	10–26"
Тип дисків	Легкосплавні та сталеві
Тип вимірювання	Цифровий
Кількість гідравлічних поршнів	1
Тип керування	Джойстик
Швидкість обертання	5–98 об/хв
Потужність гідравлічного двигуна	1,5 кВт
Потужність приводу обертання	1,1 кВт
Напруга живлення	380–400 В
Габаритні розміри	2045 × 1045 × 2100 мм
Маса обладнання	720 кг



Рисунок 1.11 – Маркування найлегшої та найважчої зон автомобільної шини



Рисунок 12 - Дослідний автомобіль Audi A4.



Рисунок 13 - Прилад для вимірювання вібрації SVAN 958



Рисунок 14 - Осі вимірювання вібрацій, що впливають на все тіло людини

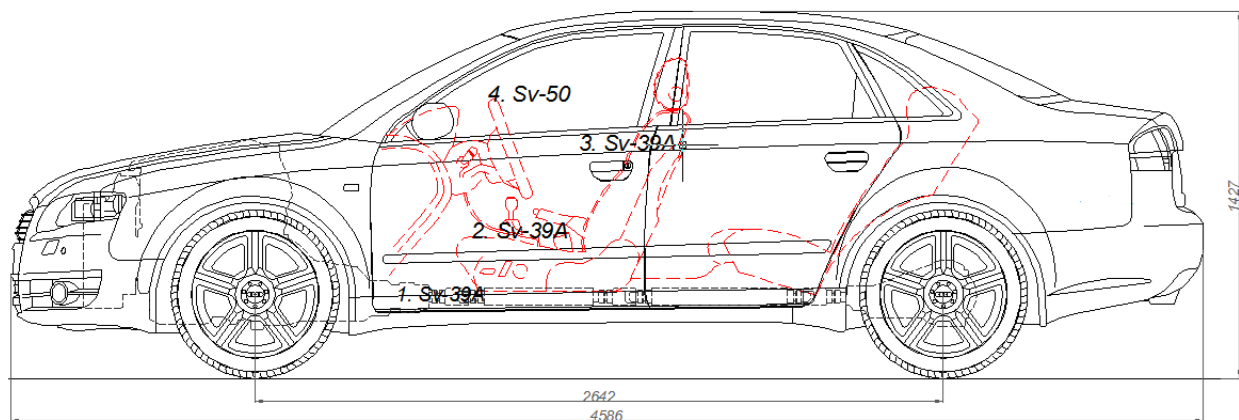


Рисунок 15— Місця проведення вимірювань в автомобілі

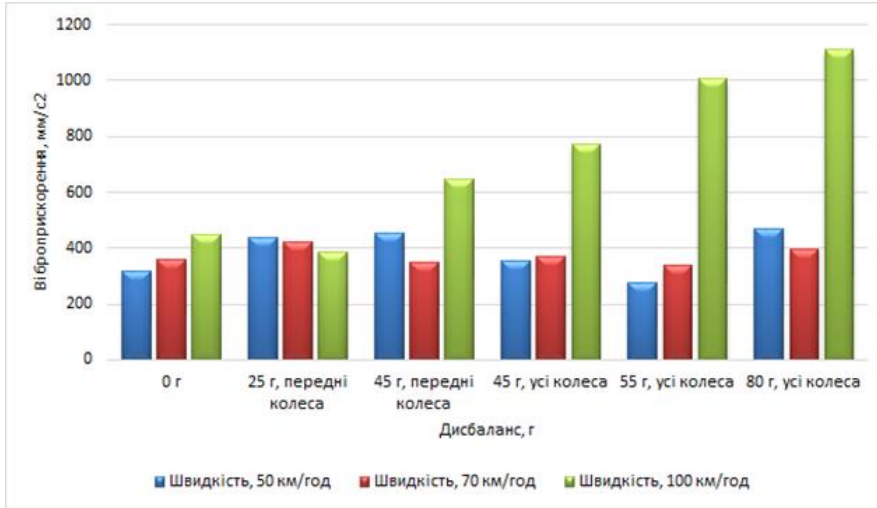


Рисунок 16 – Вібрації підлоги автомобіля під час руху на зимових шинах

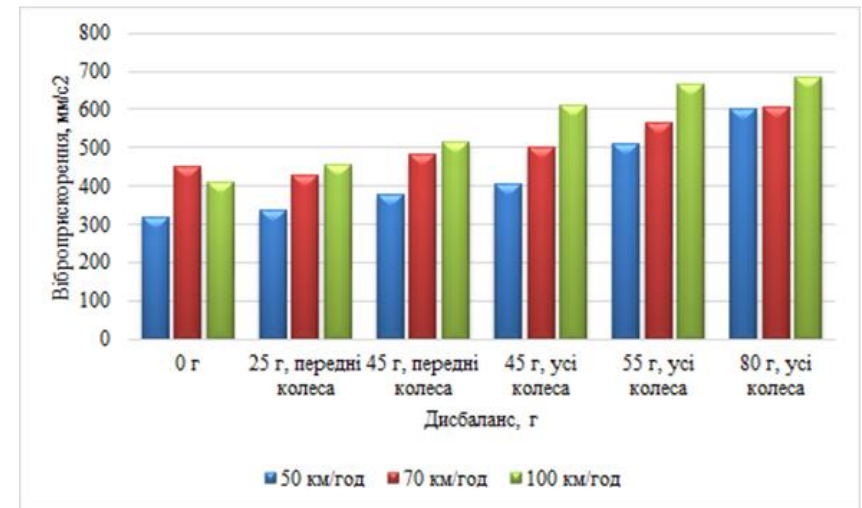


Рисунок 17 – Вібрації підлоги автомобіля під час руху на літніх шинах

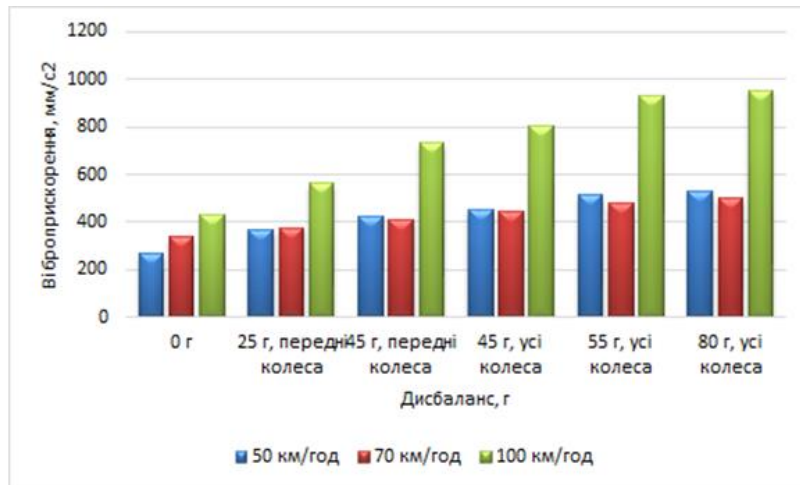


Рисунок 18 – Вібрації автомобільного сидіння під час руху із зимовими шинами.

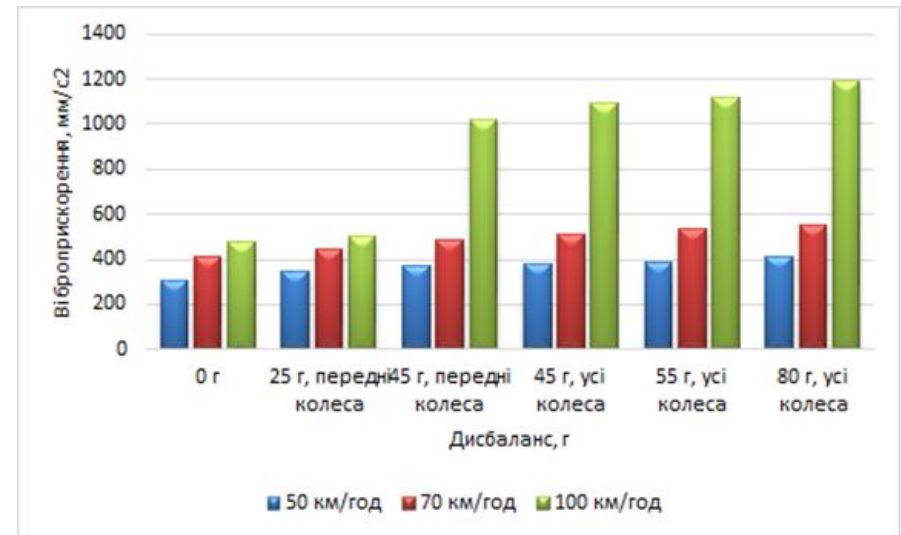


Рисунок 19 – Вібрації автомобільного сидіння під час руху із літніми шинами

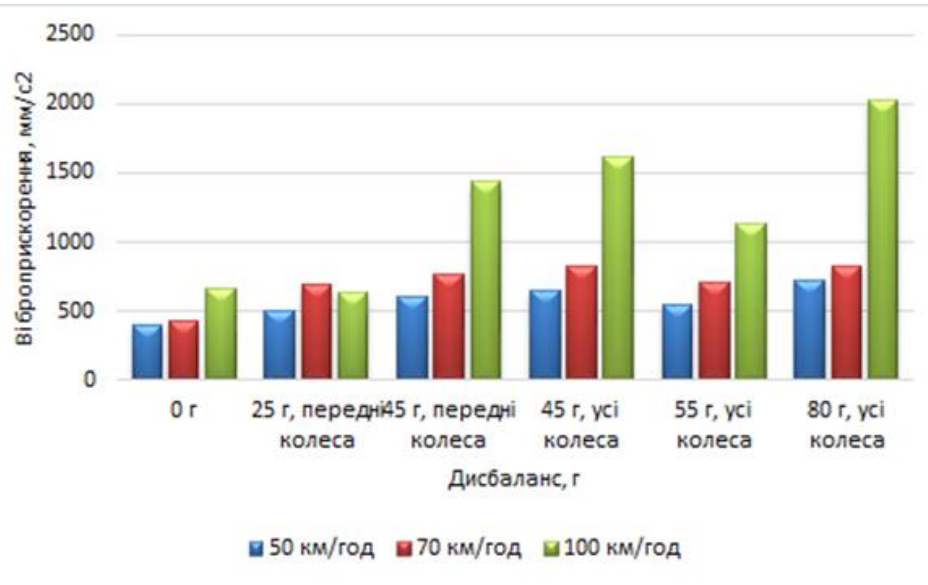


Рисунок 20 – Вібрації спинки автомобільного сидіння під час руху із зимовими шинами

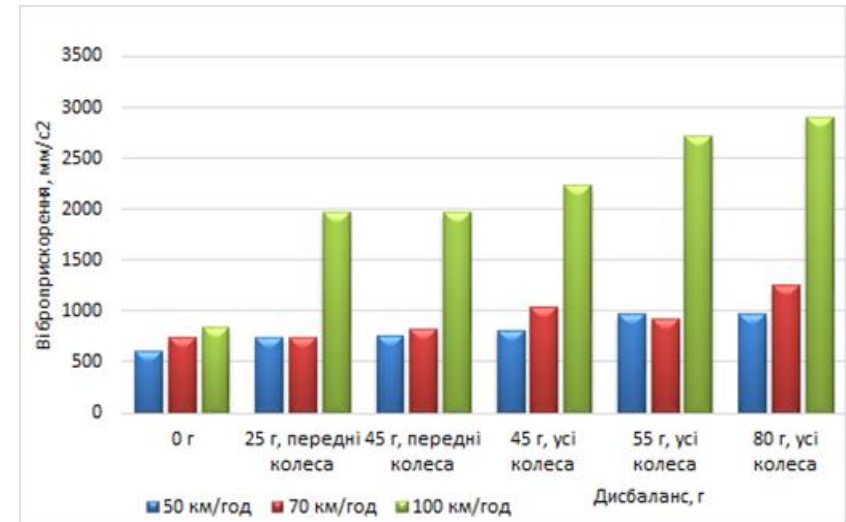


Рисунок 21 – Вібрації спинки автомобільного сидіння під час руху із літніми шинами

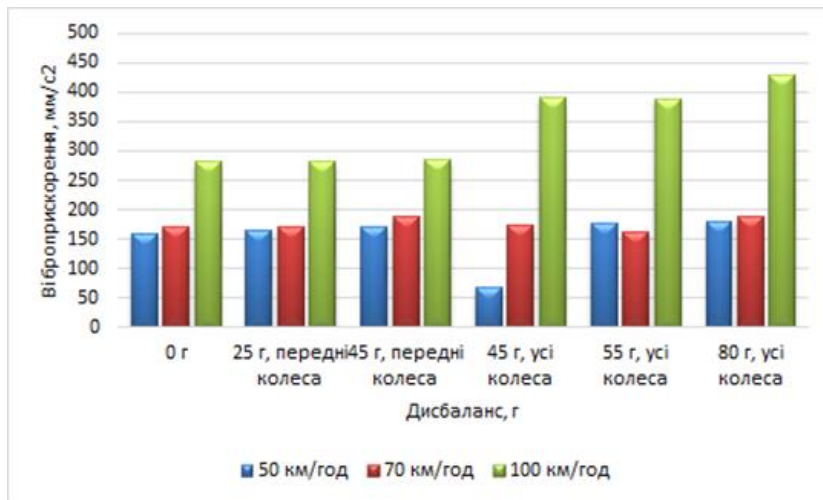


Рисунок 22 – Вібрації на кермі автомобіля під час руху із зимовими шинами

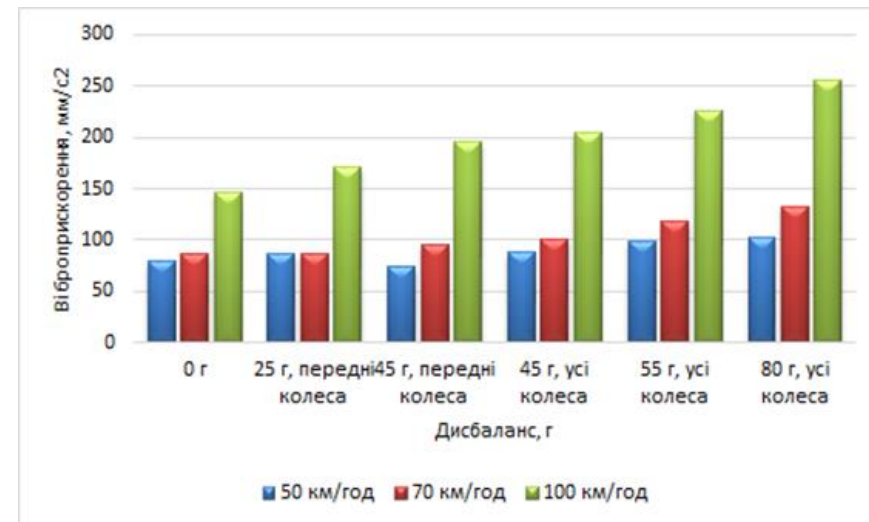


Рисунок 23 - Вібрації на кермі автомобіля під час руху на літніх шинах

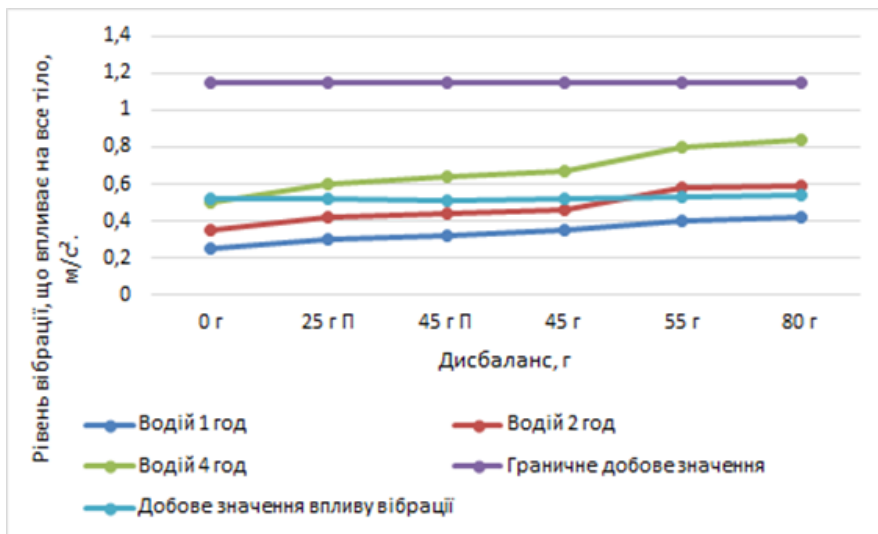


Рисунок 24 - Добове значення впливу вібрації для 8-годинного робочого дня під час руху зі швидкістю 50 км/год

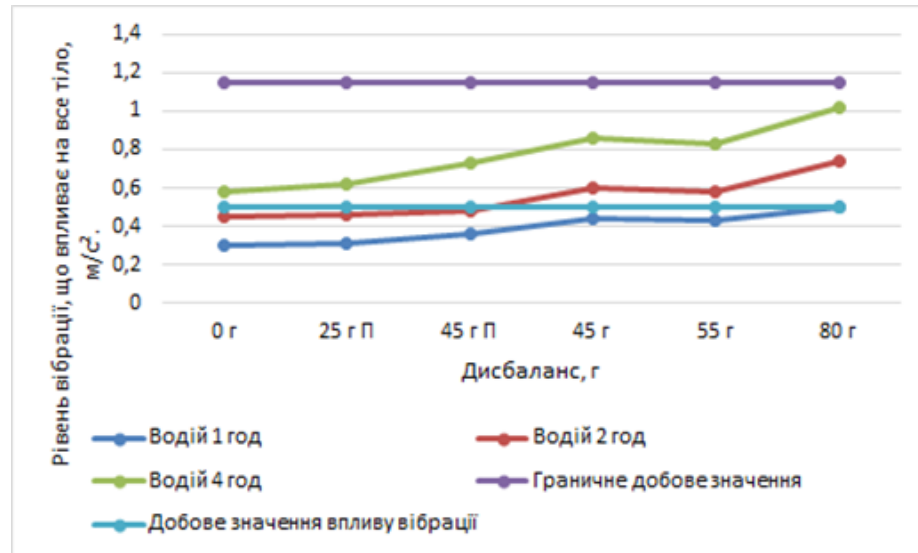


Рисунок 25 - Значення добового впливу вібрації для 8-годинного робочого дня під час руху зі швидкістю 70 км/год.

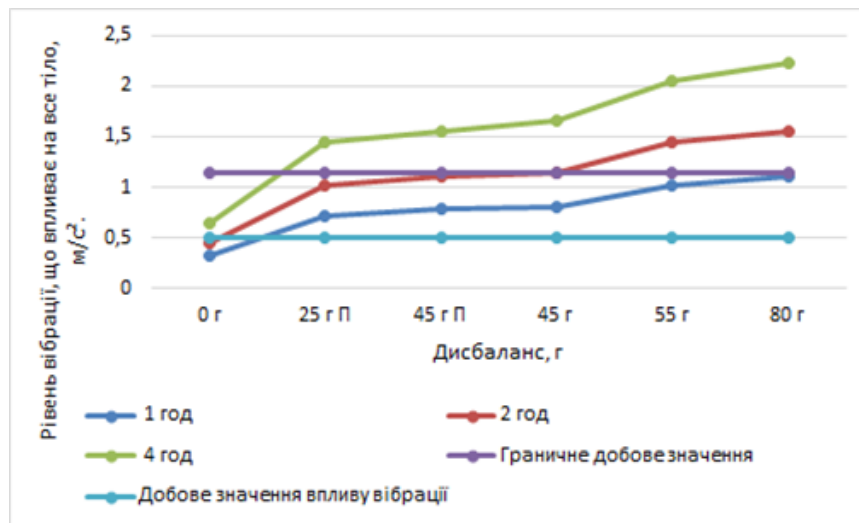


Рисунок 26 - Значення добового впливу вібрації для 8-годинного робочого дня під час руху зі швидкістю 100 км/год.

У результаті проведених вимірювань вібрації в різних місцях автомобіля встановлено, що найбільший рівень вібрації спостерігається на спинці сидіння. Під час руху на літніх шинах зі швидкістю 100 км/год та за наявності 80 г дисбалансу колеса значення віброприскорення досягало 2904 мм/с^2 , тоді як на сидінні рівень вібрації за тих самих умов був у 2,4 раза меншим. При збільшенні швидкості руху з 70 км/год до 100 км/год рівень вібрації в автомобілі зростає приблизно на 50 % за умови дисбалансу коліс 80 г. На основі експериментальних даних, отриманих під час дослідження, були виконані розрахунки для визначення добового значення впливу вібрації. За максимальної вібрації, зафіксованої на кермі, добове значення впливу вібрації виявилось у 8,3 раза меншим за допустиме нормативне значення. Добове значення впливу вібрації на все тіло для 8-годинного робочого дня становить $0,5 \text{ м/с}^2$. Результати розрахунків показали, що при русі протягом 4 годин зі швидкістю 100 км/год та за наявності 80 г дисбалансу коліс значення добового впливу вібрації досягає $2,21 \text{ м/с}^2$. Це значення перевищує граничне значення впливу вібрації, яке становить $1,15 \text{ м/с}^2$, у 1,9 раза. За таких рівнів вібраційного навантаження виникає реальна загроза погіршення стану здоров'я та розвитку захворювань, пов'язаних із впливом загальної вібрації (HAVS/WBV-пов'язані професійні захворювання).