

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22/06- 05.02/1/274/00/1Б/ОК18- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 178 / 62

## **Лекція 1.5. Плавність ходу автомобіля**

*1.5.1. Визначення, оціночні показники і норми.*

*1.5.2. Характеристики пружних елементів, амортизаторів, шин [13]*

*1.5.2. Автомобіль як коливальна система.*

*1.5.3. Вільні коливання мас автомобіля без урахування затухання.*

*1.5.4. Вільні коливання з урахуванням затухання.*

*1.5.5. Вимушені коливання.*

*1.5.6. Особливості експериментального визначення показників плавності ходу.*

*Контрольні питання*

### **1.5.1. Визначення, оціночні показники і норми.**

*Плавність ходу* – експлуатаційна властивість автомобіля, що характеризує його здатність рухатись в заданому інтервалі швидкостей по дорогах з нерівною поверхнею без значних вібраційних та ударних впливів на водія, пасажирів або вантаж.

Коливання автомобіля під час його руху суттєво впливають на лише на плавність ходу, а ще й на інші експлуатаційні властивості. Наприклад, при експлуатації автомобіля на дорогах з нерівною поверхнею середня швидкість зменшується на 40...50%, витрата палива збільшується на 50...70%, міжремонтний пробіг знижується на 35...40%, собівартість перевезень зростає на 50...60%.

Основними пристроями для захисту людей і вантажу, при їх переміщенні, від динамічного впливу дороги і обмеження їх вібронавантаженості є підвіска, шини і пружні сидіння.

Найбільш простим і поширеним оціночним показником плавності ходу автомобіля є частота власних коливань кузова, експериментально встановлено, що умовою достатньої плавності ходу автомобіля є співпадання величин власних частот коливань з середньою частотою кроків (60...90 за хв, тобто 1...1,5Гц). Однак коливання можуть мати вимушений характер і інші частоти, крім того на організм людини і стан вантажу істотний вплив мають віброшвидкості і віброприскорення як в вертикальному, так і в горизонтальному напрямі.

Стандартизовані значення віброшвидкостей і віброприскорень в середньгеометричних смугах частот від 1 до 63 Гц представлені у таблиці 5.1.

Людський організм найбільш чутливий до вертикальних коливань частотою

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22/06- 05.02/1/274/00/1Б/ОК18- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 178 / 62

(4...8) Гц, горизонтальних – (1...2) Гц.

Для запобігання переміщенням незакріплених вантажів необхідно, щоб вертикальні прискорення вантажної платформи не перевищували  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ . Тому значення середньоквадратичних прискорень з урахуванням необхідного запасу не повинні перевищувати (0,15...0,3) g.

Таблиця 5.1

Допустимі значення параметрів коливань мас автомобіля

Середні геометричні значення смуг частот, Гц		1	2	4	8	16	31,5	63
Допустимі значення швидкостей, м/с.								
Вертик.	Вертик.	0,2	0,071	0,025	0,013	0,011	0,011	0,011
	Горизонт.	0,063	0,035	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032
прискорень, $\text{м/с}^2$	Вертик.	1,1	0,79	0,57	0,6	1,14	1,14	4,49
	Горизонт.	0,39	0,42	0,8	1,62	3,2	3,2	12,76

### 1.5.2. Характеристики пружних елементів, амортизаторів, шин [13]

#### Пружний елемент підвіски

Характеризується пружний елемент залежністю нормального навантаження  $R_z$  від деформації  $h_z$  пружного елемента і називається характеристикою пружного елемента. Повний прогин пружного елемента поділяють на статичний прогин  $f_{cm}$  і прогин стиснення  $f_{cw}$ .

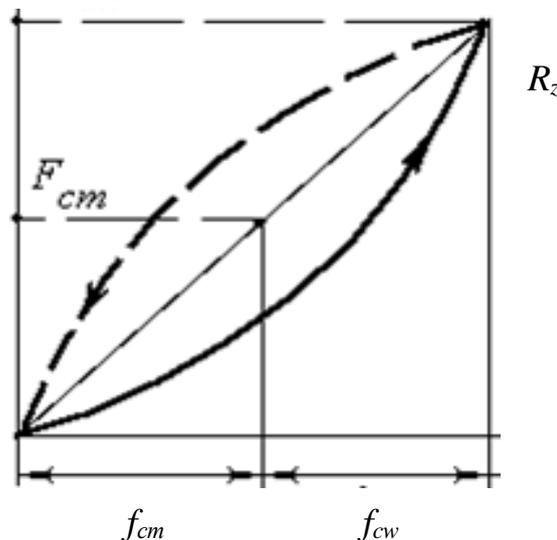


Рис.5.1. Характеристика пружного елемента підвіски.

Через гістерезисні втрати в матеріалі пружного елемента крива його

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22/06- 05.02/1/274/00/1Б/ОК18- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 178 / 62

навантаження не збігається з кривою развантаження. При цьому в розрахунках плавності ходу беруть середнє значення.

Основними характеристиками пружного елемента є:

-  $f_{cm}$  – статичний прогин - прогин пружного елемента при нерухомому автомобілі;

-  $C_p = \frac{dR_z}{df_z}$  – жорсткість пружного елемента. Якщо залежність лінійна, то  $C_p = \text{const}$ ;

-  $k_d = \frac{R_{max}}{R_{ст}}$  – коефіцієнт динамічності,

де:  $R_{max}$  і  $R_{ст}$  – максимальнє і статичнє навантаження на пружний елемент.

#### *Телескопічний амортизатор*

Амортизатор характеризується коефіцієнтом опору амортизатора.

Для телескопічних амортизаторів сила його опору дорівнює:

$$R_a = k_a \frac{df_a}{dt} \quad (5.1)$$

де:  $k_a$  – коефіцієнт опору амортизатора;

$\frac{df_a}{dt}$  – швидкість переміщення поршня амортизатора.

Для всіх амортизаторів двосторонньої дії коефіцієнт опору амортизації при стисненні  $k_{act}$  менший за коефіцієнт при розтягуванні (відбої)  $k_{avid}$ . Це необхідно, щоб нормальні навантаження від дороги сприймалися в основному пружним елементом підвіски. Тому:

$$k_{act} = (0,1 \dots 0,25) k_{avid}, \quad (5.2)$$

де:  $k_{act}$ ,  $k_{avid}$  – коефіцієнти опору амортизатора відповідно при стисненні й відбої ( розтягуванні).

Якщо амортизатор односторонньої дії, тоді  $k_{act} \approx 0$ .

#### *Шина*

Шина, з точки зору плавності, характеризується нормальною жорсткістю  $C_{ш}$  і коефіцієнтом демпф ування шини  $k_{ш}$ .

Нормальну жорсткість шини визначають так:

$$C_{ш} = \frac{dR_{ш}}{df_{ш}} \quad (5.3)$$

де:  $R_{ш}$ ,  $f_{ш}$  – нормальнє навантаження на шину і відповідна їй деформація шини.

При вертикальних коливаннях через тертя в гумово-кордовій оболонці та

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22/06- 05.02/1/274/00/1Б/ОК18- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 178 / 62

гумі протектора виникає сила тертя, яка дорівнює:

$$R = \kappa_{ш} \frac{df_{ш}}{dt} \quad (5.4)$$

де:  $\kappa_{ш}$  – коефіцієнт демпфірування шини, який залежить від конструкції шини, кількості шарів корду, матеріалу шини, внутрішнього тиску;  
 $\frac{df_{ш}}{dt}$  – швидкість деформації шини.

### 1.5.3. Автомобіль як коливальна система.

Автомобіль являє собою складну механічну систему, яка складається з великої кількості мас з різними зв'язками .

При вивченні законів руху складних механічних систем вводять поняття числа ступенів свободи, під якими розуміють суму незалежних переміщень елементів системи , кожний з яких розглядається як тверде тіло. Рух механічної системи може бути описаний системою рівнянь другого порядку, кількість яких дорівнює числу ступенів свободи.

Ступінь точності списання коливань автомобіля і число враховуваних ступенів свободи залежать від характеру вирішуваної задачі: при наукових дослідженнях кількість рівнянь може досягати кількох десятків, при заводських розрахунках - до десяти.

Для вивчення коливань автомобіля в першому наближенні зручно користуватись спрощеною коливальною системою з трьома масами.

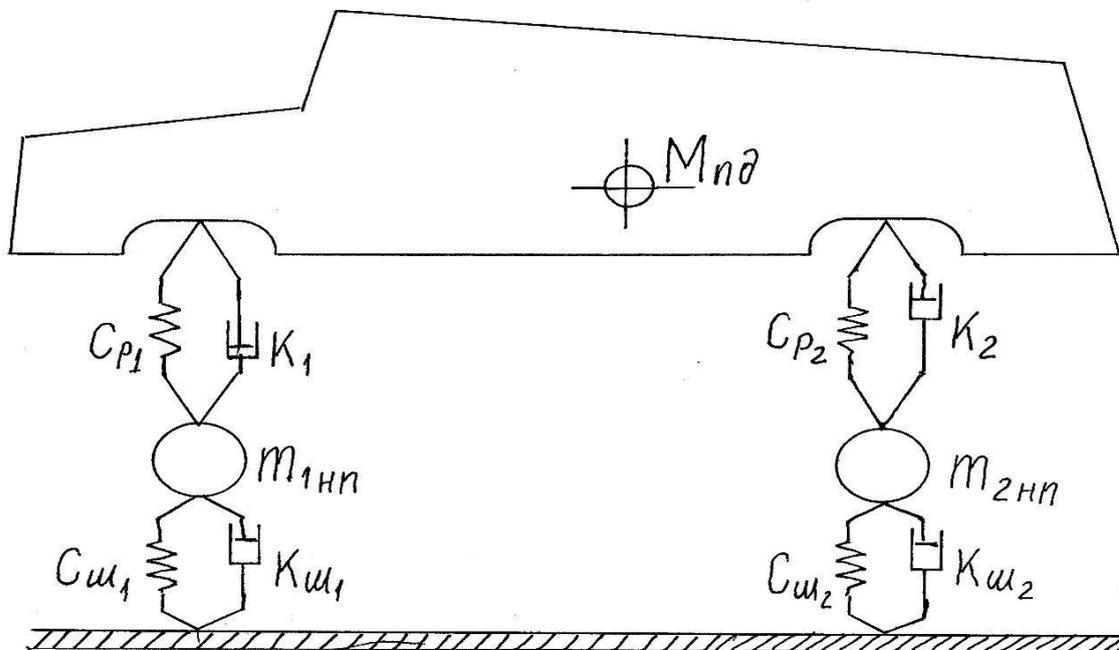


Рис.5.1. Спрощена тримасова коливальна система автомобіля

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22/06- 05.02/1/274/00/1Б/ОК18- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 178 / 62

Підресорена маса  $M_{нд}$  складається з маси двигуна, рами, вантажної платформи, механізмів трансмісії, вантажу, водія, пасажирів. Ці елементи розглядаються як тверде тіло, що має два ступені свободи – вертикальне переміщення та поворот в вертикальній площині.

Непідресорні маси  $M_{1нп}$  і  $M_{2нп}$  – передній та задній мости разом з колесами – мають по одному ступеню свободи.

При вивченні коливань автомобіля приймають такі припущення:

- кожна шина дотикається дороги в одній точці, тобто переміщення шини точно копіюють профіль дороги;
- профілі дороги під колесами правого і лівого борту однакові, тому обидва колеса моста замінюють одним.

Таким чином система, що імітує в цьому випадку двовісний автомобіль, має три маси, чотири ступені свободи і чотири пружні елементи (дві ресори і дві шини).

#### 1.5.4. Вільні коливання автомобіля без урахування затухання.

Підресорні та непідресорні маси здійснюють складні двочастотні коливання. Двовісний автомобіль має чотири власні частоти – дві низькі ( $\omega_1, \omega_2$ ) та дві високі ( $\omega_{к1}$  і  $\omega_{к2}$ ). В багатьох випадках частота  $\omega$  може бути близькою до парціальної частоти  $\omega_{ок}$ , тобто можна вважати, що:

$$\omega = \omega_0 \sqrt{\frac{c_p}{M_{пд}}} \quad (5.5)$$

$$\omega_k = \omega_k \sqrt{\frac{c_{ш} + c_p}{M_{нп}}} \quad (5.2)$$

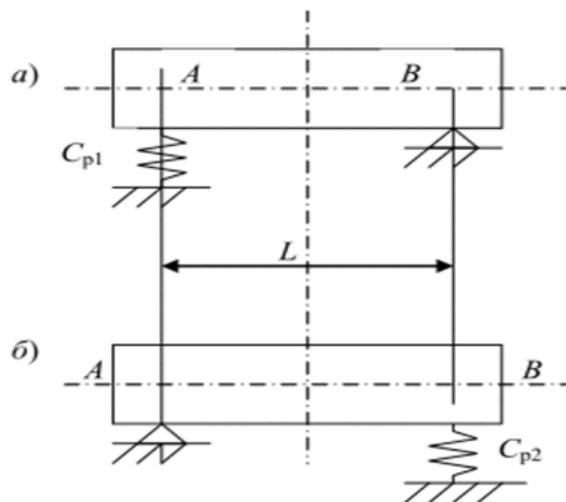


Рис.5.2. До визначення парціальних частот коливань мас автомобіля.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22/06- 05.02/1/274/00/1Б/ОК18- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 178 / 62

Парціальна частота – частота коливань складної коливальної системи по одному із ступенів свободи, якщо можливість переміщень по іншим ступеням свободи виключена.

При розрахунках частоту коливань підресорної маси зручно виражати через статичний прогин підвіски  $f_{cm}$  – переміщення коліс відносно рами (кузова) внаслідок деформації пружного елемента підвіски під дією сили тяжіння.

Статичний прогин :

$$f_{cm} = \frac{M_{пд} \times g}{C_p} \quad (5.6)$$

Звідки жорсткість пружного елемента

$$C_p = \frac{M_{пд} \times g}{f_{cm}} \quad (5.7)$$

Підставивши значення  $C_p$  в рівняння для визначення частот коливань, отримаємо :

$$\omega = \sqrt{\frac{M_{пд} \times g}{f_{cm} \times M_{пд}}} = \sqrt{\frac{g}{f_{cm}}} ; f_{cm} = [см] \quad (5.8)$$

Це визначення справедливе у випадках, коли значення коефіцієнта розподілу підресорних мас  $E_y$  близько до 1 :

$$E_y = \frac{S_y^2}{a \times b} \quad (5.9)$$

де :  $S_y$  – радіус інерції підресорної маси;

$a, b$  – координати центра мас підресорної маси( в інженерних розрахунках- координати центра мас автомобіля).

Для сучасних

– легкових автомобілів:

$$f_{cm1} = 15 \dots 25 см, f_{cm2} = 12 \dots 18 см;$$

– вантажних автомобілів:

$$f_{cm1} = 7,5 \dots 10 см, f_{cm2} = 7 \dots 12 см.$$

Характеристику підвіски можна задовільною, якщо частоти коливань відповідають слідуочим значенням (табл.5.2):

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22/06- 05.02/1/274/00/1Б/ОК18- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 178 / 62

Таблиця 5.2.

*Допустимі параметри коливань мас автомобілів*

Тип автомобіля, маси		Частота коливань, Гц
Легкові автомобілі	Підресорені	0,8...1,3
	Непідресорені	8...12
Вантажні автомобілі	Підресорені	1,2...1,8
	Непідресорені	6,5...9

**1.5.5. Вільні коливання мас автомобіля з врахуванням затухання.**

Частоти вільних коливань з урахуванням затухання в підвісці :

$$\omega_3 = \omega \sqrt{1 - \psi_0^2} \quad (5.10)$$

$$\omega_{k3} = \omega_k \sqrt{1 - \psi_k^2} \quad (5.11)$$

де:  $\psi_0 = \frac{h_0}{2\omega}$ ,  $\omega_k = \frac{h_k}{2\omega_k}$  - відносні коефіцієнти затухання коливань підресорних і непідресорних мас;

$h_0 = \frac{K}{M_{пд}}$ ,  $h_k = \frac{K_k}{M_{нп}}$  - коефіцієнти опору підвіски і шини;

$K, K_k$  - коефіцієнти непружного опору підвіски і шини.

Під час руху автомобіля через його колеса діють змінні по величині сили взаємодії з дорогою. Коливання системи під дією цих сил, обумовлених нерівностями дороги називаються вимушеними. Характеристики цих коливань визначаються поєднанням властивостей коливальної системи та законів зміни змушуючих сил.

**1.5.6. Вимушені коливання мас автомобіля**

Мікропрофіль дороги являє собою випадковий набір виступів та западин різної глибини і висоти, розташованих на різних відстанях. Під час руху виникають випадкові змушення, які викликають вимушені коливання випадкового характеру.

У випадку співпадіння частот власних коливань і частот змушень в коливальній системі автомобіля виникають резонансні коливання, амплітуда яких оберненопропорційно залежить від величини розсіювання енергії в елементах коливальної системи (рис.5.3)

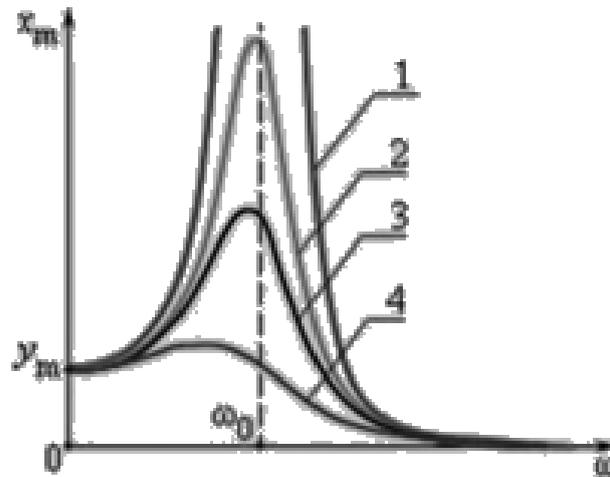


Рис.5.3. Залежність амплітуди коливання при резонансі від величини загасання.

Частота і амплітуда зрушень залежить від довжини  $l_3$ , глибини (висоти)  $h$ . На подолання шляху, рівного довжині нерівності  $l_3$ , автомобіль витрачає час:

$$t = T_3 = \frac{2\pi}{\nu} \quad (5.12)$$

де:  $\nu$  – частота змушень.

Враховуючи два останні рівняння, одержимо:

$$V_a = \frac{l_{3v}}{2\pi} \quad (5.13)$$

Тобто рівняння залежності  $V_a = f(\gamma)$  на основі якого можна побудувати графік для визначення резонансних швидкостей руху автомобіля (рис.5.3):

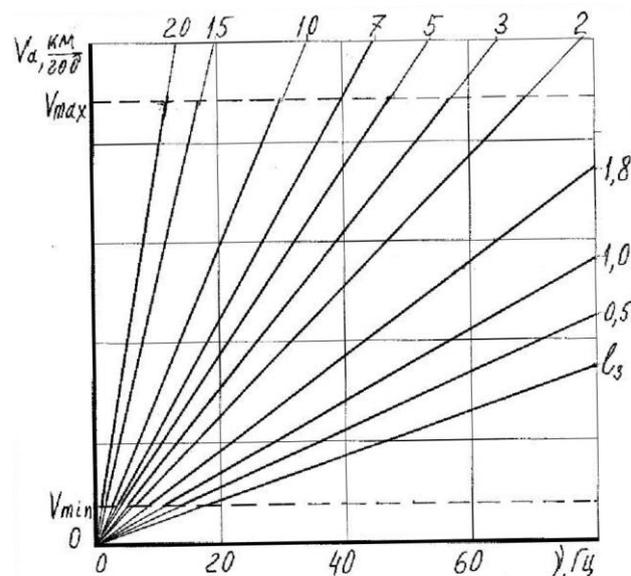


Рис.5.4. Графік для визначення резонансних швидкостей руху автомобіля

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22/06- 05.02/1/274/00/1Б/ОК18- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 178 / 62

Користуючись цим графіком можна для нерівностей різної довжини визначити швидкості, під час руху на яких виникають низько і височастотні резонанси в межах руху з експлуатаційними швидкостями в межах від  $V_{amin}$  до  $V_{amax}$ .

В зв'язку з тим, що мікропрофіль дороги являє собою випадкове поєднання западин та виступів, змушені коливання можна оцінювати методами теорії ймовірностей. Три цьому характеристикою дороги є її спектральна кількість  $S_d(l_3)$  – безперервна функція, яка характеризує розподіл дисперсій нерівностей за її довжиною.

Для звичайних доріг загального користування її можна апроксимувати єдиною залежністю

$$S_d(\lambda) = A \lambda^N, \quad (5.14)$$

де:  $\lambda = \frac{1}{l_3}$  – шляхова частота;

$N$  – показник степені, який характеризує хвилястість дороги (в першому наближенні  $N \approx 2$ );

$A$  – постійний коефіцієнт, чисельне значення якого залежить від стану дороги і її покриття. Наприклад для асфальтобетонної дороги в дуже хорошому стані  $A = 1,3 \text{ см}^3$ , в середньому стані  $A = 22,3 \text{ см}^3$ .

### 1.5.7. Особливості експериментального визначення показників плавності ходу автомобіля.

Методи випробувань автомобілів на плавність ходу визначені стандартами.

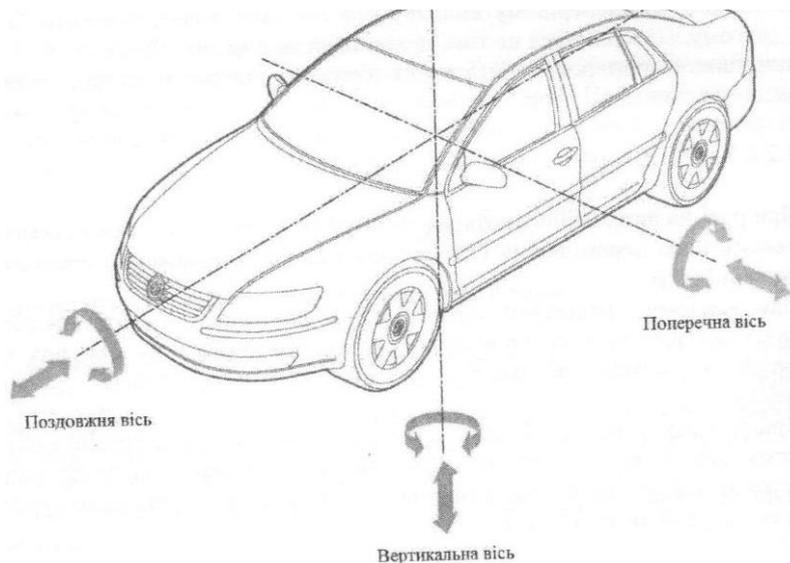


Рис.5.5. Види коливань автомобіля

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22/06- 05.02/1/274/00/1Б/ОК18- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 178 / 62

Під час руху автомобіля виникають його коливання на нерівностях дороги, при проходженні поворотів або при різкій зміні швидкості, серед яких можна виділити наступні види:

- посмикування автомобіля (коливання уздовж його поздовжньої осі);
- покачування (кутові коливання відносно поздовжньої осі);
- похитування (коливання вздовж поперечної осі);
- галопування (коливання уздовж вертикальної осі);
- вертикальні коливання (кутові коливання відносно поздовжньої осі);
- рискання (кутові коливання відносно вертикальної осі).

Плавність ходу визначає загальну комфортабельність, збереження вантажів, а також можливу швидкість руху автомобілів по дорогах з нерівним твердим покриттям або вибоїстих ґрунтових дорогах [15]. Основним параметром плавності ходу автомобілів є середньоквадратичне значення вертикальних прискорень  $\sigma$ / або частки прискорення сили тяжіння  $g$ ,  $m/s^2$ ), виміряних в встановлених методикою характерних точках автомобіля. В якості додаткових вимірювачів плавності ходу приймають максимальні прискорення  $j_{max}$ , спрямовані вгору і вниз, і середньоквадратичне значення горизонтальних поздовжніх прискорень, що діють в кабіні водія на рівні його шиї. Максимальні прискорення необхідно визначати на дорогах, що викликають сильні коливання автомобіля. Горизонтальні прискорення, що створюють значний дискомфорт водієві, потрібно обов'язково вимірювати на вантажних автомобілях, експлуатованих з причепами, сідельних тягачів з напівпричепами. Ці прискорення можуть супроводжуватися поздовжніми ривками і поштовхами.

*Умови випробувань.* Автомобіль повинен бути повністю укомплектовано, обкатано, тиск в шинах має відповідати тиску, зазначеному в інструкції заводу-виробника; характеристики амортизаторів повинні бути перевірені (на випробувальному стенді). Автомобіль повинен бути завантажений баластом, щоб розподілення ваги в плані і по висоті кузова автомобіля відповідало проектному. Баласт потрібно надійн озакріпити. Випробування проводяться на наступних типах доріг:

- I. з асфальтобетонним покриттям в хорошому стані (середня квадратична висота нерівностей 0,7-1,2 см);
- II. бруківка в задовільному стані (середня квадратична висота нерівностей 1,5-1,9 см);

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22/06- 05.02/1/274/00/1Б/ОК18- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 178 / 62

III. бруківка в розбитому стані (середняквадратична висота нерівностей 2,5-3,2 см).

Легкові автомобілі випробовують тільки на дорогах типу I і II; вантажні автомобілі на дорогах типу I тільки при наявності підвищеного рівня поздовжніх вібрацій. На кожному типі доріг випробування проводяться не менше, ніж при трьох значеннях швидкості руху (заданої стандартами). У разі виникнення інтенсивних резонансних коливань автомобіля на іншій швидкості випробування проводять додатково на цій швидкості.

Прискорення вимірюють за допомогою датчиків, що встановлюються в характерних місцях автомобілів. Для проведення випробувань може використовуватися мобільний реєстраційно-вимірювальний комплекс на основі лінійних акселерометрів і комп'ютера. Датчики вертикальних прискорень встановлюють: - в легкових автомобілях напередньому лівому та задньому правому сидіннях; - в автобусах на лівих сидіннях, розташованих над передньою і задньою осями, і на сидінні водія; у автобусів з заднім звісом довжиною 1,5 м і більше закріплюють в цій частині кузова додатковий датчик на відстані 20 см від задньої стінки; - на вантажних автомобілях і автомобілях тягачах – в кабіні на сидінні водія і в геометричному центрі підлоги платформи; - на причепах і напівпричепах на підлозі, по осі платформи, над задньою віссю; - на напівпричепах, крім того, над сидельно-зчіпним пристроєм. Для кріплення датчиків, розміщених на сидіннях, використовують спеціальне сидло, на яке сидатиме експериментатор. Для кріплення інших датчиківз астосовують жорсткі кронштейни. Обробка результатів випробувань повинна забезпечити визначення середніх квадратичних і максимальних значень прискорень з похибкою не більше 5%. При цьому будують криві залежності середніх квадратичних значень вертикальних (абопоздовжніх) прискорень від швидкості руху для обраних типів доріг в двох частотних діапазонах і складають таблицю значень максимальних прискорень.

### ***Контрольні питання***

1. Що забезпечує для водія, пасажирів і вантажу плавність руху?
2. З яких пристроїв складається підвіска автомобіля?
3. Чим характеризується пружний елемент підвіски?
4. Чим характеризується телескопічний амортизатор?
5. На які види поділяють профіль дороги?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22/06- 05.02/1/274/00/1Б/ОК18- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 178 / 62

7. Яке призначення вагових коефіцієнтів?
8. До яких частот коливань вертикальних і горизонтальних найбільш чутливий організм людини?
10. Яким чином оцінюють плавність руху автомобіля?
11. Що є підресореною масою автомобіля?
12. Чим викликані низькочастотні коливання автомобіля?
13. Чим викликані високочастотні коливання автомобіля?
14. Які елементи включає розрахункова схема автомобіля?
15. Які властивості має листові ресора?
16. Від чого залежить частота власних коливань кузова автомобіля?
17. Контрольні параметри при проведенні випробувань АТЗ на плавність ходу.
18. На яких типах доріг проводяться випробування на плавність ходу?