

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінжинірингу

ВИПРОБУВАННЯ АВТОТРАКТОРНОЇ ТЕХНІКИ

Методичні вказівки та рекомендації
щодо вивчення лабораторних занять

для здобувачів вищої освіти третього (доктор філософії)
рівня вищої освіти спеціальності
133 "Галузеве машинобудування" курс 2

Суми - 2023

УДК 631.3
Н 34

Укладачі: Подригало М.А.,— професор, доктор технічних наук
Шуляк М.Л., професор, доктор технічних наук
Лебедєв А.Т., професор, доктор технічних наук

Н 34 Науково-методичне забезпечення навчального процесу :

Методичні вказівки та рекомендації щодо вивчення лабораторних занять з дисципліни «Випробування автотракторної техніки» для здобувачів вищої освіти третього (доктор філософії) рівня вищої освіти спеціальності 133 "Галузеве машинобудування" курс 2 [Текст]/ укл.: М.А. Подригало, М. Л. Шуляк, А.Т. Лебедєв. – СНАУ.- Суми.- 2023. – 60 с.

В методичних вказівках наведений зміст і послідовність проведення практичних занять, що дозволяють закріпити теоретичні знання, одержані під час вивчення курсу лекцій «Випробування автотракторної техніки».

Рецензенти:

Зубко В.М., доктор технічних наук, професор кафедри агроінжинірингу Сумського національного аграрного університету
Алфьоров О.І, доктор технічних наук, професор кафедри проектування технічних систем Сумського національного аграрного університету

Відповідальний за випуск: Шуляк М.Л., доктор технічних наук, професор

Рекомендовано до видання навчально-методичною радою інженерно-технологічного факультету. Протокол № 3 від «28» 11. 2023 року

© Подригало М.А., М. Л. Шуляк, А.Т. Лебедєв.— 2023

© Сумський національний аграрний університет, 2023

ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ

У даних методичних вказівках відбито зміст і послідовність проведення практичних занять, що дозволяють закріпити теоретичні знання, одержані під час вивчення курсу лекцій «Комплексна система випробувань автомобілів».

Предметом дисципліни є принципи експериментального визначення конструктивних і експлуатаційних властивостей автомобілів для виявлення їхньої відповідності технічним вимогам або для досвідченого вивчення реальних процесів, що відбуваються під час експлуатації.

Метою вивчення навчальної дисципліни згідно з освітньо-кваліфікаційними вимогами до випускника з вищою освітою по професійному напрямку «Педагогічна освіта» є підготовка фахівців до рішення організаційних, наукових та технічних завдань у процесі проведення випробувань автомобілів.

Відповідно до мети основними завданнями практичних занять є формування в студентів сукупності знань, вмінь та уявлень про принципи організації, проведення випробувань автомобілів із застосуванням новітнього обладнання та аналіз отриманих експериментальних даних.

На практичних заняттях обов'язковим є самостійне виконання індивідуальних завдань.

Перед кожним практичним заняттям студент повинний підготувати теоретичний матеріал до заняття, поданий у лекційному матеріалі та в рекомендованій літературі.

Звіт про кожне практичне заняття складається з теоретичного матеріалу та індивідуального завдання

Використання методичних вказівок у навчальному процесі має сприяти розвитку технічного мислення студентів, стимулювати їх активність та самостійну роботу.

ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ЦЕНТРУ МАС АВТОМОБІЛЯ

Положення центру мас автомобіля істотно впливає на його наступні експлуатаційні властивості:

- тягово-швидкісні;
- гальмівні;
- стійкість і керованість;
- плавність ходу;
- прохідність.

Координати центру мас залежать від виду і компоновальною схеми автомобіля, розташування і об'ємного ваги вантажу, і отже, можуть істотно змінюватися при експлуатації автомобіля [1].

Зазвичай умовно вважають, що центр мас розташований на поздовжньої осі автомобіля і визначається поздовжніми координатами a і b (див. рис.1). Зазначені величини a і b є відстань від передньої і задньої осей автомобіля до проекції його центру мас на горизонтальну площину. Крім поздовжніх положення центру мас визначається висотою центру мас h_g (див. рис.1).

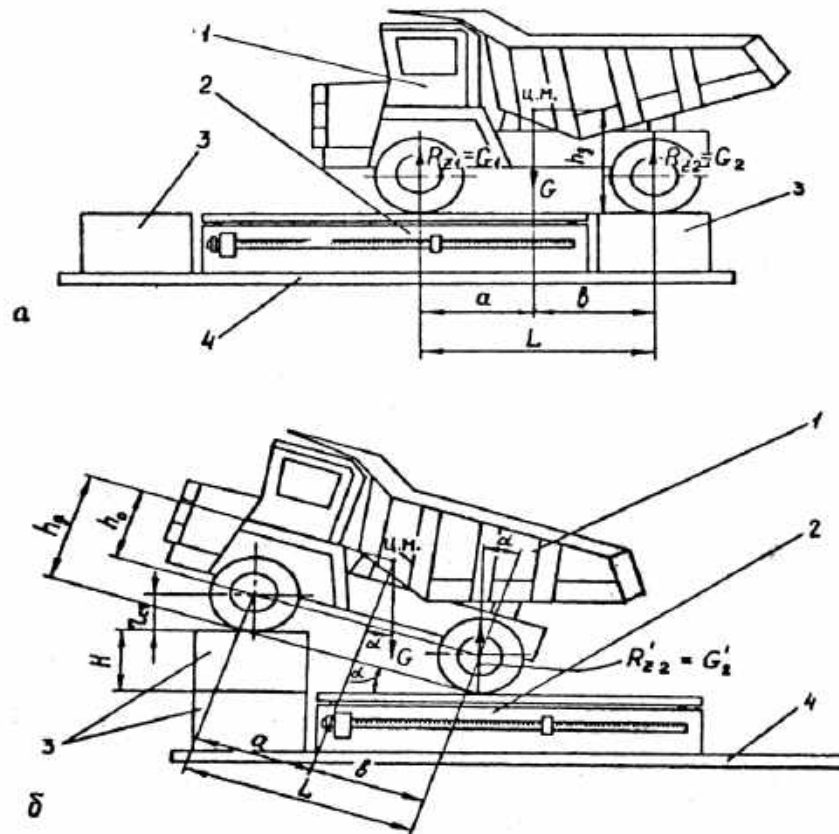


Рис.1. Схема установки для визначення координат центру мас моделі автомобіля:

a - при визначенні G_1 для обчислення координати b ;
 b - при визначенні G'_2 для обчислення координати h_g .

Координати центру мас автомобіля можуть бути визначені розрахунковим методом по заданих масам і координатами центрів мас його окремих частин або експериментально зважуванням автомобіля в горизонтальному і похилому положеннях (рис.1а і рис.1б відповідно).

Найбільш точним методом при наявності натурного зразка автомобіля є його зважування за методом, представленим на рис.1. Розрахунковий метод визначення координат центру мас автомобіля знайшов застосування на етапі проектування.

При визначенні координат a і b автомобіль знаходиться в горизонтальному положенні. Послідовним зважуванням визначають вагу автомобіля G і вагу, що припадає на колеса передньої осі G_1 і задньої - G_2 . На рис.1а показано положення автомобіля при визначенні G_1 . Вимірюють (або беруть за довідником) базу автомобіля L .

Складаючи рівняння рівноваги щодо осей задніх і передніх коліс, відповідно отримують

$$a = \frac{G_2}{G} L; \quad (1.1)$$

$$b = \frac{G_1}{G} L. \quad (1.2)$$

Для визначення висоти центру мас автомобіль встановлюють на ваги в похилому положенні (рис.1б) і зважуванням визначають навантаження G'_2 , що припадає в цьому випадку на колеса задньої осі.

З умови рівноваги щодо осі передніх коліс слід, що

$$G'_2 L \cos \alpha - G h_0 \sin \alpha - G a \cos \alpha = 0, \quad (1.3)$$

де α - кут нахилу автомобіля до горизонтальної площини,

$$\alpha = \arcsin \frac{H}{L}; \quad (1.4)$$

H - висота підставки;

h_0 - висота центру мас над площиною, що проходить через осі коліс.

З огляду на співвідношення (1.1) з виразу (1.3) отримаємо

$$h_0 = \frac{L}{G} (G'_2 - G_2) \operatorname{ctg} \alpha. \quad (1.5)$$

Висота над рівнем моря мас автомобіля над опорною площиною

$$h_g = h_0 + r_{\text{ст.}} \quad (1.6)$$

Таблиця 1

Вихідні дані для визначення величини навантаження G'_2 на задню вісь автомобіля

Варіант	m_a , кг	G_1 , кН	G_2 , кН	$r_{\text{ст.}}$, м	L , м	h_g , м	α , град	a , м	b , м	δ , кН	H , м
1	1000	4,905	4,905	0,28	2,00	0,50	10				
2	1500	7,350	7,350	0,29	2,10	0,52	10				
3	1800	9,810	7,848	0,30	2,25	0,56	10				
4	2000	9,810	9,810	0,32	2,42	0,57	10				
5	2200	16,677	4,905	0,32	2,50	0,58	10				
6	2400	17,658	5,866	0,33	2,55	0,58	10				
7	2500	12,262	12,262	0,33	2,60	0,58	10				
8	2550	12,000	13,015	0,35	2,65	0,59	10				
9	2600	10,202	15,304	0,36	2,70	0,60	10				
10	20000	98,100	98,100	0,48	4,20	0,70	10				
11	22000	98,100	117,72	0,48	4,22	0,71	10				
12	7000	34,335	34,335	0,36	3,05	0,62	10				
13	7200	28,253	42,379	0,37	3,10	0,63	10				
14	7500	36,787	36,787	0,37	3,20	0,64	10				
15	15000	58,860	58,860	0,40	3,90	0,69	10				
16	8000	23,544	54,936	0,38	3,50	0,64	10				

Завдання на практичне заняття

За своїм варіантом і вихідними даними, наведеними в таблиці 1, провести розрахунок необхідної величини висоти H підставки і очікуваного значення G'_2 навантаження на задню вісь машини при її зважуванні в похилому стані (під кутом α).

Список літератури

1. Теорія технічної експлуатації автомобілів: навч. посіб. / В. Д. Мигаль, А. Т. Лебедев, М. Л. Шуляк. Харків: Вид-во «Майдан», 2019. 276 с.

Контрольні питання

1. На які експлуатаційні властивості автомобіля впливає стан його центру мас?
2. Яке припущення роблять при проведенні досвіду по визначенню центру мас автомобіля?

ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ЦЕНТРУ МАС ТРАКТОРА

Положення центру мас трактора також визначають зважуванням в горизонтальному і похилому положенні. Також передбачається, що центр мас машини розташований на поздовжньої осі автомобіля, і його поздовжні координати a і b (див. Рис. 2.1). При зважуванні в похилому положенні використовується тельфер (кран), до тросу якого прикріплений динамометр (рис. 2.2).

Горизонтальні (поздовжні) координати центру мас визначаються почерговим зважуванням передньої і задньої осей трактора (рис. 2.1)

$$a = \frac{R_{z2}}{R_{z1} + R_{z2}} L; \quad (2.1)$$

$$b = \frac{R_{z1}}{R_{z1} + R_{z2}} L, \quad (2.2)$$

де R_{z1} , R_{z2} - результати зважування передньої і задньої осей трактора відповідно,

$$R_{z1} + R_{z2} = G_T; \quad (2.3)$$

G_T - вага трактора;

L - поздовжня колісна база трактора.

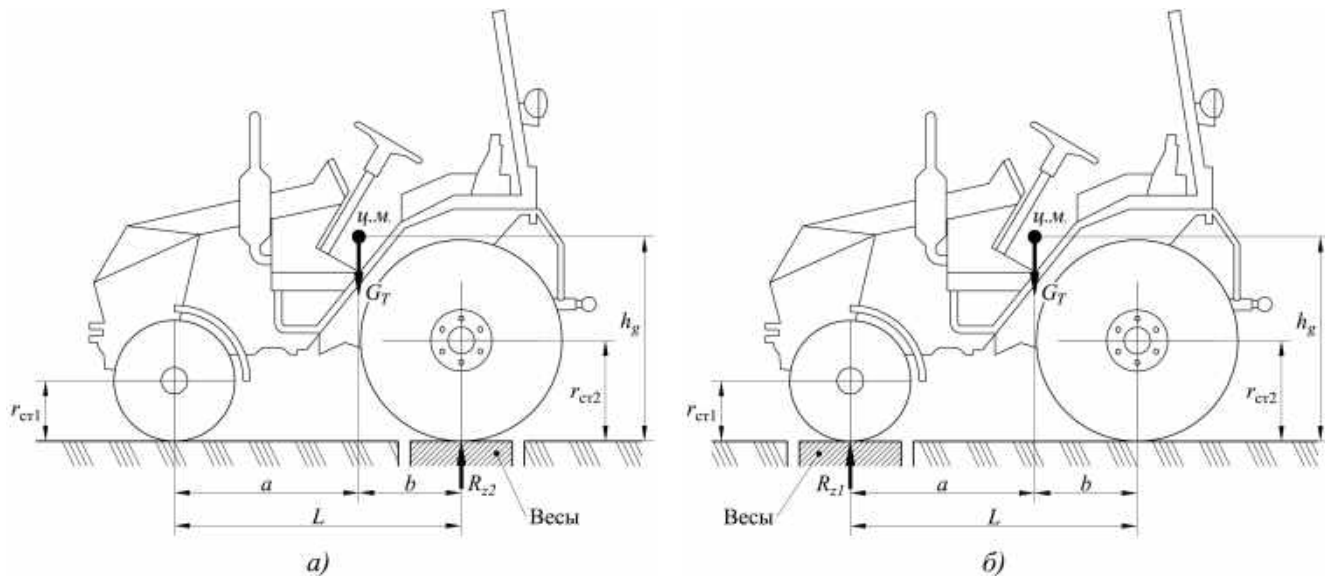


Рис.2.1 Установка трактора однією віссю на ваги в горизонтальній площині:

а - задньою віссю; б - передньою віссю

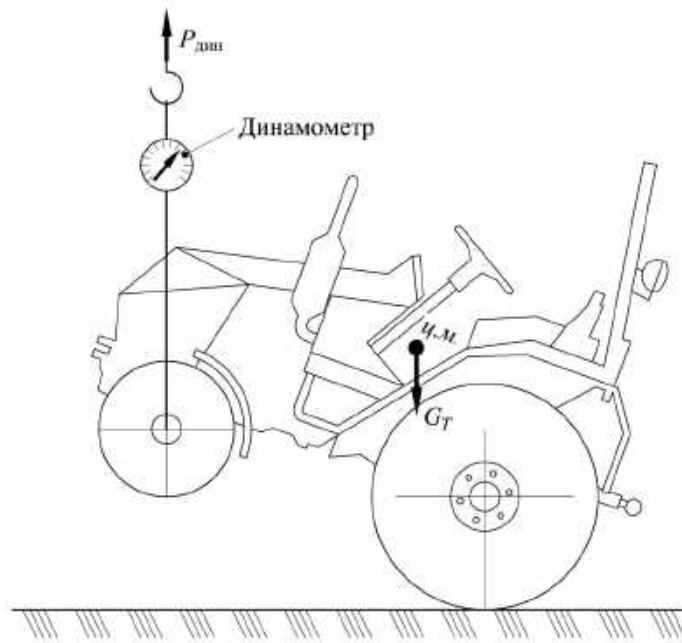


Рис.2.2 Установка трактора в похилому положенні

Визначення вертикальної координати центру мас трактора здійснюють шляхом підйому передньої осі з допомогою тельфера або крана. Захоплення передньої осі виробляють за балансир (рис. 2.2). На тросі тельфера або крана встановлюють динамометр. При підйомі передньої осі трактора на висоту H остов трактора в поздовжньої вертикальній площині повертається на кут α , який може бути визначений за формулою

$$\alpha = \arctg\left(\frac{r_{ст2}-r_{ст1}}{L}\right) + \arcsin\left[\frac{H-r_{ст2}}{L} \cos\left(\arctg\frac{r_{ст2}-r_{ст1}}{L}\right)\right], \quad (2.4)$$

де $r_{ст1}$ - статичний радіус передніх коліс трактора;

$r_{ст2}$ - статичний радіус задніх коліс трактора.

У похилому положенні трактора визначають показання динамометра. Для визначення взаємозв'язку показань динамометра з величиною вертикальної координати центру мас h_g розглянемо розрахункову схему, представлену на рис. 2.3.

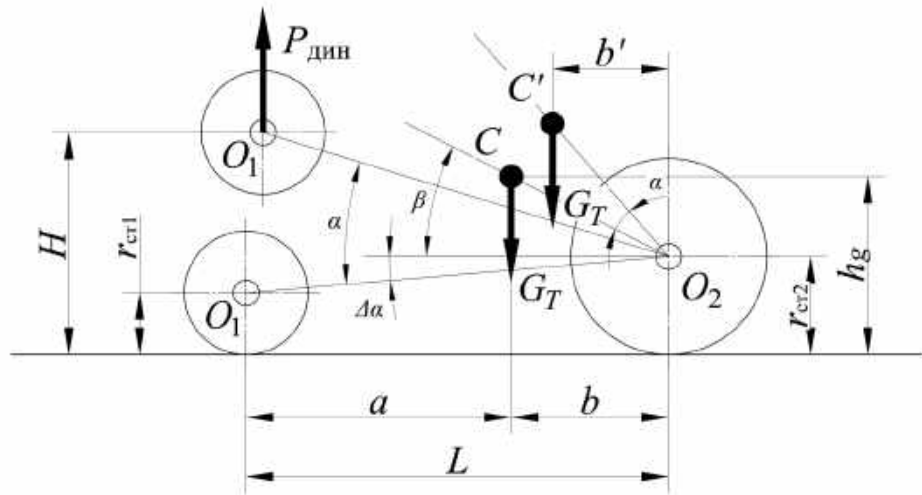


Рис.2.3 Розрахункова схема для визначення h_g

При повороті остова трактора навколо точки O_2 (задньої осі трактора) центр його мас C переміщається в точку C' по колу, радіус якої дорівнює

$$L_{CO2} = \sqrt{b^2 + (h_g - r_{ct2})^2}. \quad (2.5)$$

Кут β (рис. 2.3), що характеризує положення центру мас C відносно задньої осі трактора, може бути виражений через горизонтальну b і вертикальну h_g координати

$$\beta = \arctg\left(\frac{h_g - r_{ct2}}{b}\right). \quad (2.6)$$

При повороті остова трактора на кут α плече дії сили тяжіння G_T зменшується від величини b до величини b' . Останню можна визначити як

$$b' = L_{CO2} \cdot \cos(\beta + \alpha) = \sqrt{b^2 + (h_g - r_{ct2})^2} \cos\left(\arctg\frac{h_g - r_{ct2}}{b} + \alpha\right). \quad (2.7)$$

Умова рівноваги моментів сил відносно точки O_2 (рис. 2.3) має вигляд

$$P_{дин} \cdot l_{O_1 O_2} \cdot \cos(\alpha - \Delta\alpha) = G_T b', \quad (2.8)$$

де

$$\Delta\alpha = \arctg\left(\frac{r_{ct2} - r_{ct1}}{L}\right); \quad (2.9)$$

$P_{дин}$ - свідчення динамометра;

l_{O_1, O_2} - відстань між точками O_1 і O_2 .

З виразу (2.8) визначимо

$$b' = \frac{P_{дин}}{G_T} \cdot l_{O_1 O_2} \cdot \cos(\alpha - \Delta\alpha). \quad (2.10)$$

У рівнянні (2.10) величина

$$\begin{aligned} l_{O_1 O_2} &= \sqrt{L^2 + (r_{\text{ст}2} - r_{\text{ст}1})^2} = L \sqrt{1 + \left(\frac{r_{\text{ст}2} - r_{\text{ст}1}}{L}\right)^2} = \\ &= L \sqrt{1 + \text{tg}^2(\Delta\alpha)} = \frac{L}{\cos(\Delta\alpha)}. \end{aligned} \quad (2.11)$$

Після підстановки виразу (2.11) в рівняння (2.10) отримаємо

$$b' = \frac{P_{\text{дин}}}{G_T} \cdot L \cdot \frac{\cos(\alpha - \Delta\alpha)}{\cos(\Delta\alpha)}. \quad (2.12)$$

Прирівнюючи праві частини рівнянь (2.7) і (2.11), отримаємо

$$\frac{P_{\text{дин}}}{G_T} \cdot L \cdot \frac{\cos(\alpha - \Delta\alpha)}{\cos(\Delta\alpha)} = b \sqrt{1 + \left(\frac{h_g - r_{\text{ст}2}}{L}\right)^2} \cos\left(\arctg \frac{h_g - r_{\text{ст}2}}{b} + \alpha\right). \quad (2.13)$$

Розкладемо вираження для косинуса в правій частині рівняння (2.13) за відомою формулою суми кутів

$$\begin{aligned} \cos\left(\arctg \frac{h_g - r_{\text{ст}2}}{b} + \alpha\right) &= \cos\left(\arctg \frac{h_g - r_{\text{ст}2}}{b}\right) \cos\alpha - \\ &- \sin\left(\arctg \frac{h_g - r_{\text{ст}2}}{b}\right) \sin\alpha. \end{aligned} \quad (2.14)$$

Проведемо перетворення

$$\cos\left(\arctg \frac{h_g - r_{\text{ст}2}}{b}\right) = \frac{\sin\left(\arctg \frac{h_g - r_{\text{ст}2}}{b}\right)}{\text{tg}\left(\arctg \frac{h_g - r_{\text{ст}2}}{b}\right)} = \frac{\sqrt{1 - \cos^2\left(\arctg \frac{h_g - r_{\text{ст}2}}{b}\right)}}{\frac{h_g - r_{\text{ст}2}}{b}}. \quad (2.15)$$

З рівняння (2.15) визначимо

$$\cos\left(\arctg \frac{h_g - r_{\text{ст}2}}{b}\right) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{h_g - r_{\text{ст}2}}{b}\right)^2}}; \quad (2.16)$$

$$\begin{aligned} \sin\left(\arctg \frac{h_g - r_{\text{ст}2}}{b}\right) &= \text{tg}\left(\arctg \frac{h_g - r_{\text{ст}2}}{b}\right) \cos\left(\arctg \frac{h_g - r_{\text{ст}2}}{b}\right) = \\ &= \frac{\frac{h_g - r_{\text{ст}2}}{b}}{\sqrt{1 + \left(\frac{h_g - r_{\text{ст}2}}{b}\right)^2}}. \end{aligned} \quad (2.17)$$

Після підстановки виразів (2.16) і (2.17) в співвідношення (2.14) отримаємо

$$\cos\left(\arctg \frac{h_g - r_{\text{ст}2}}{b} + \alpha\right) = \frac{\cos\alpha - \frac{h_g - r_{\text{ст}2}}{b} \sin\alpha}{\sqrt{1 + \left(\frac{h_g - r_{\text{ст}2}}{b}\right)^2}}. \quad (2.18)$$

Рівняння (2.13) з урахуванням співвідношення (2.18) перетвориться до наступного виду:

$$\begin{aligned} \frac{P_{\text{дин}}}{G_T} \cdot L \cdot \frac{\cos(\alpha - \Delta\alpha)}{\cos(\Delta\alpha)} &= b \left(\cos\alpha - \frac{h_g - r_{\text{ст2}}}{b} \sin\alpha \right) = \\ &= b \cdot \cos\alpha \left(1 - \frac{h_g - r_{\text{ст2}}}{b} \tan\alpha \right). \end{aligned} \quad (2.19)$$

З виразу (2.19) визначимо

$$h_g = r_{\text{ст2}} + b \cdot \tan\alpha - \frac{P_{\text{дин}}}{G_T} \cdot L \cdot \frac{\cos(\alpha - \Delta\alpha)}{\cos(\Delta\alpha) \sin\alpha} \left(1 - \frac{h_g - r_{\text{ст2}}}{b} \tan\alpha \right). \quad (2.20)$$

З огляду на співвідношення (2.6) отримаємо

$$h_g = r_{\text{ст2}} + b \cdot \tan\alpha - \frac{P_{\text{дин}}}{G_T} \cdot L \cdot \frac{\cos(\alpha - \Delta\alpha)}{\cos(\Delta\alpha) \sin\alpha} (1 - \tan\beta \cdot \tan\alpha). \quad (2.21)$$

Таблиця 2.1

Вихідні дані для визначення $P_{\text{дин}}$ показань динамометра

Варі- ант	R_{z1} , кН	R_{z2} , кН	L , м	$r_{\text{ст1}}$, м	$r_{\text{ст2}}$, м	a , м	b , м	h_g , м	α , град	$\Delta\alpha$, град	H , м	β , град	b' , м	$P_{\text{дин}}$, кН
1	10,69	20,31	2,370	0,370	0,730			0,805	10					
2	12,46	20,60	2,450	0,450	0,730			0,805	10					
3	12,46	21,09	2,450	0,445	0,655			0,750	10					
4	11,38	20,65	2,450	0,460	0,655			0,700	10					
5	11,34	22,90	2,450	0,450	0,655			0,948	10					
6	8,79	19,17	2,120	0,448	0,725			0,840	10					
7	9,10	18,30	2,250	0,490	0,735			0,860	10					
8	6,92	12,89	1,775	0,448	0,717			0,943	10					
9	3,29	14,47	2,500	0,380	0,567			0,954	10					
10	12,00	22,52	2,400	0,420	0,690			0,810	10					
11	12,50	20,40	2,410	0,390	0,695			0,820	10					
12	13,00	25,00	2,600	0,460	0,700			0,980	10					
13	7,00	13,50	1,800	0,440	0,720			0,950	10					
14	7,00	13,60	1,810	0,430	0,760			0,960	10					
15	3,50	15,20	2,750	0,380	0,600			0,890	10					
16	3,60	14,80	2,800	0,390	0,590			0,880	10					

Завдання на практичне заняття

За своїм варіантом і вихідними даними, наведеними в таблиці 2.1, провести розрахунок необхідної величини висоти H підйому осі передніх коліс тельфером (краном) і очікуваного значення $R_{\text{дін}}$ (показання динамометра) при її зважуванні трактора в похилому положенні (під кутом α).

Контрольні питання

1. Чим відрізняється методика визначення центру мас трактора від методики визначення центру мас автомобіля?
2. При якому положенні трактора визначаються горизонтальні координати центру мас?
3. Які вимірювальні засоби використовуються для визначення координат центру мас трактора?
4. Залежності для визначення горизонтальних координат центру мас трактора.

ІМОВІРНІСНИЙ МЕТОД ОЦІНКИ РАДІУСІВ ІНЕРЦІЇ АВТОМОБІЛІВ І ТРАКТОРІВ

Моменти інерції відносно трьох координатних осей роблять значний вплив на показники стійкості і керованості автомобілів і тракторів. На жаль, в даний час точних методів розрахунку зазначених моментів інерції немає.

Розглянемо метод експериментального визначення моменту інерції щодо вертикальної осі OZ на прикладі легкового автомобіля (рис. 3.1).

Моменти інерції різних тіл можуть бути визначені методом крутильних коливань диска, підвішеного на трьох нитках, званих тріфілярним підвісом. Платформу з встановленим на ній автомобілем найзручніше підвішувати на чотирьох нитках (рис. 3.1).

При проведенні досвіду платформі 1 (рис. 3.1) повідомляють крутильні коливання з невеликою амплітудою близько вертикальної осі. Заміряють час n повних коливань платформи ($n = 10-25$). При вимірі часу відлік коливань виробляють зі зміщення будь-якої точки на платформі не менше трьох разів точність розрахунку періоду коливань T повинна бути до третього знака після коми.

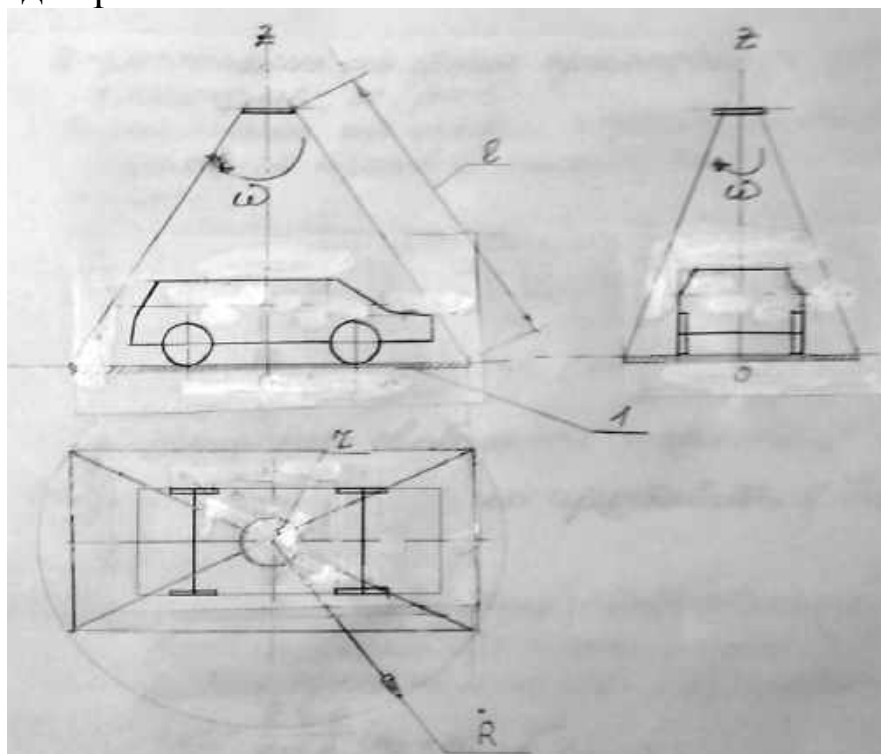


Рис.3.1 Схема підвісу автомобіля на чотирьох нитках:
1 - платформа; ω - кутова швидкість обертання платформи

Періоди коливань платформи визначають без автомобіля і з встановленим автомобілем за формулами

$$T_n = t/n; \quad (1)$$

$$T = t/n, \quad (2)$$

де T , T_n - періоди коливань платформи з автомобілем і платформи без автомобіля, відповідно.

Момент інерції автомобіля щодо центральної вертикальної осі може бути визначений за формулою

$$I_z = \frac{R \cdot r \cdot g}{8\pi^2 l} [(m_a + m_n)T^2 - m_n g \cdot T_n^2], \quad (3)$$

де m_a , m_n - маси автомобіля і платформи;

R - відстань від точок кріплення до центру платформи, м (рис. 1);

r - відстань від центру підвісу до точок кріплення троса в верхній частині системи, м (рис. 1);

l - довжина тросів підвісу, м (рис. 1);

T - період коливань платформи з встановленим на ній автомобілем, с;

T_n - період коливань платформи без автомобіля;

g - прискорення вільного падіння, $g = 9,81$ м / с².

Вираз (3) можна представити у вигляді

$$I_z = I_{z\Sigma}, \quad (4)$$

де $I_{z\Sigma}$ - момент інерції щодо вертикальної осі від платформи з встановленим на ній автомобілем,

$$I_{z\Sigma} = \frac{R \cdot r \cdot g}{8\pi^2 l} [(m_a + m_n)T^2]; \quad (5)$$

$I_{z\Sigma}$ - момент інерції щодо вертикальної осі платформи,

$$I_{zп} = \frac{R \cdot r \cdot g}{8\pi^2 l} m_n \cdot T^2. \quad (6)$$

Оскільки на стадії проектування автомобілів і тракторів неможливо точно визначити момент інерції відносно центральної вертикальної осі був запропонований наближений імовірнісний метод визначення радіусів інерції. При цьому передбачається, що положення

центру мас машини, що характеризується координатами a і b (рис. 3.2), відомо.

Для вирішення поставленого завдання при гіпотезі нормального розподілу випадкової величини i_z в межах бази автомобіля L застосуємо правило «трьох сигм».

Для отримання імовірнісної залежності радіуса інерції i_z використовуємо дві точкові маси m_1 і m_2 , розташовані попереду і ззаду поперечної площині YOZ (рис. 3.2). При цьому

$$m_a = m_1 + m_2. \quad (7)$$

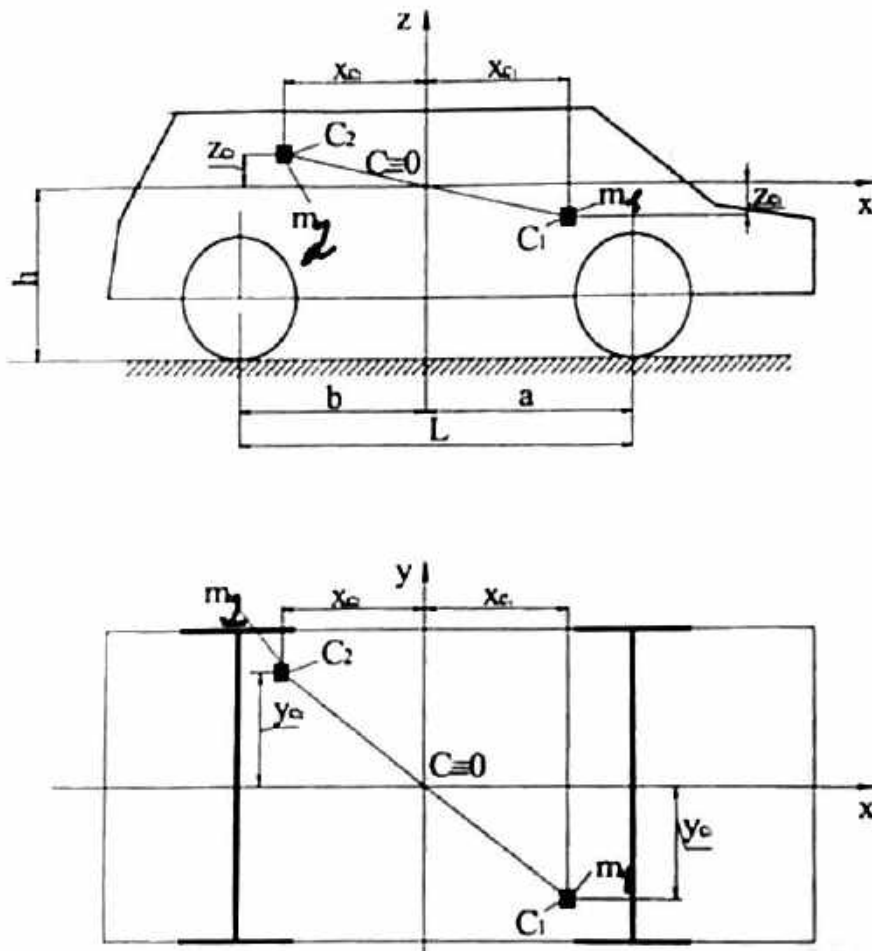


Рис.3.2 Вихідна розрахункова схема для визначення радіуса інерції автомобіля i_z щодо вертикальної осі OZ

З умови знаходження центру мас автомобіля в точці $C \equiv O$ знаходимо

$$\frac{m_1}{m_2} = \sqrt{\frac{x_{c2}^2 + y_{c2}^2}{x_{c1}^2 + y_{c1}^2}} = \frac{b}{a}, \quad (8)$$

де x_{c1} , y_{c1} - координати центру маси m_1 ;

x_{c2}, y_{c2} - координати центру маси m_2 .

Момент інерції щодо осі OZ (рис. 3.2) дорівнює сумі моментів інерції осесиметричних точкових мас m_1 і m_2 щодо зазначеної осі

$$I_{zc} = m_1(x_{c1}^2 + y_{c1}^2) + m_2(x_{c2}^2 + y_{c2}^2). \quad (9)$$

З урахуванням співвідношення (8) рівняння (9) набуде вигляду

$$I_{zc} = m_a \frac{b}{a} (x_{c1}^2 + y_{c1}^2). \quad (10)$$

З рисунку 3.2 видно, що величина I_{zc} може змінюватися від нуля (при положенні точки C_1 в точці $C \equiv O$) до

$$x_{c1}^2 + y_{c1}^2 = a^2 + \frac{B^2}{4}, \quad (11)$$

де B – колія автомобіля.

Момент інерції автомобіля являє собою добуток маси автомобіля m_a на квадрат радіуса інерції. Тому з виразу (10) визначимо

$$i_z^2 = \frac{b}{a} (x_{c1}^2 + y_{c1}^2). \quad (12)$$

Максимальна і мінімальне значення квадрата радіуса інерції

$$i_{z2\max}^2 = \frac{b}{a} \left(a^2 + \frac{B^2}{4} \right), \quad (13)$$

$$i_{z2\min}^2 = 0. \quad (14)$$

За правилом «трьох сигм» математичне очікування квадрата радіуса інерції одно (при нормальному законі його розподілу)

$$\bar{i}_z^2 = \frac{i_{z2\max}^2 + i_{z2\min}^2}{2} = \frac{i_{z2\max}^2}{2} = \frac{b}{a} \left(\frac{a^2}{2} + \frac{B^2}{8} \right). \quad (15)$$

Згідно з тим же правилом визначимо середнє квадратичне відхилення квадрата радіуса інерції

$$\tau_{iz2} = \frac{i_{z2\max}^2 + i_{z2\min}^2}{6} = \frac{i_{z2\max}^2}{6} = \frac{b}{a} \left(\frac{a^2}{6} + \frac{B^2}{24} \right). \quad (16)$$

Таким чином, радіус інерції в межах одного середнього квадратичного відхилення повинен знаходитися в межах

$$\sqrt{\frac{1}{3} \left(ab + \frac{B^2}{4} \cdot \frac{b}{a} \right)} \leq i_z \leq \sqrt{\frac{2}{3} \left(ab + \frac{B^2}{4} \cdot \frac{b}{a} \right)}. \quad (17)$$

Момент інерції автомобіля буде знаходитися в межах

$$\frac{m_a}{3} \left(ab + \frac{B^2}{4} \cdot \frac{b}{a} \right) \leq I_{zc} \leq \frac{2m_a}{3} \left(ab + \frac{B^2}{4} \cdot \frac{b}{a} \right). \quad (18)$$

Момент інерції автомобіля при математичному очікуванні квадрата радіуса інерції

$$\bar{I}_{zc} = m_a \bar{i}_z^2 = m_a \frac{b}{a} \left(\frac{a^2}{2} + \frac{B^2}{8} \right). \quad (19)$$

Таблиця 3.1

Вихідні дані для розрахунку моменту інерції автомобіля щодо вертикальної осі

Варіант	m_a , кг	a , м	b , м	l , м	B , м	$\bar{i}_z$, м	$\bar{I}_{zc}$, кг·м ²	I_{zcmax} , кг·м ²	I_{zcmin} , кг·м ²
1	727	0,904	1,416	2,320	1,314				
2	1030	1,116	1,308	2,424	1,365				
3	1030	1,132	1,329	2,460	1,400				
4	1450	1,313	1,487	2,800	1,510				
5	1355	1,325	1,378	2,703	1,525				
6	1530	1,264	1,423	2,667	1,540				
7	2119	1,470	1,530	3,000	1,470				
8	2590	1,680	1,350	3,030	1,485				
9	2178	1,500	1,550	3,050	1,570				
10	883	0,960	1,220	2,180	1,280				
11	2050	1,490	1,710	3,200	1,568				
12	1010	1,240	0,020	2,260	1,107				
13	795	1,322	0,958	2,280	1,117				
14	628	0,863	1,167	2,030	0,995				
15	824	1,368	1,012	2,380	1,166				
16	1167	1,148	1,552	2,700	1,323				

Завдання на практичне заняття

За своїм варіантом і вихідними даними, наведеними в таблиці 3.1, провести розрахунок параметрів $\bar{i}_z$, $\bar{I}_{zc}$, I_{zcmax} , I_{zcmin} .

Контрольні питання

1. На які експлуатаційні властивості автомобілів і тракторів впливають моменти інерції щодо трьох координатних осей?
2. Суть методу крутильних коливань.
3. Сутність імовірнісного методу визначення радіуса інерції автомобілів і тракторів щодо вертикальної осі.

Практичне заняття 4

ВИЗНАЧЕННЯ КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ АВТОМОБІЛІВ І ТРАКТОРІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ЛІНІЙНИХ АКСЕЛЕРОМЕТРІВ

Мета роботи - закріпити знання та практичні навички по використанню акселерометрів при випробуваннях автомобілів, а також по плануванню дорожнього експерименту.

З кожним роком у світі істотно збільшується виробництво автомобілів, їхній технологічний рівень і, разом із цим, підвищуються вимоги до систем безпеки.

Для забезпечення необхідного рівня безпеки при використанні автомобіля необхідно розширювати контроль різних механізмів, які беруть участь у роботі автомобіля, якісно більш високий рівень випробувань і впровадження нових пристроїв із широкими функціональними можливостями.

Використання датчиків інерції, так званих акселерометрів, відіграє значну роль у рішенні зазначених проблем. Тому необхідно проаналізувати варіанти застосування, принципи дії й розвиток технологій виробництва акселерометрів, які використовуються тепер у світовому автомобілебудуванні.

На сьогоднішній день актуальним є питання створення мобільних реєстраційно-вимірювальних комплексів для оцінки параметрів руху автомобілів при кваліметричних випробуваннях.

4.1 Визначення поняття «акселерометр»

Акселерометр (від лат. *accelero* — прискорюю й *μετρέω* — вимірюю) — прилад, що вимірює проекцію «гаданого» прискорення. «Гадане» прискорення — рівнодіюча сил негравітаційної природи, що діє на масу і віднесена до величини цієї маси. Акселерометр може застосовуватися як для виміру проекцій абсолютного лінійного прискорення, так і для непрямих вимірів проекції гравітаційного прискорення. Остання властивість використовується для створення інклінометрів. Акселерометри входять до складу інерційних навігаційних систем, де отримані з їхньою допомогою виміри інтегрують, одержуючи інерційн швидкість і координати носія.

Датчики прискорення також широко застосовуються в автомобільній електроніці для виміру прискорення автомобіля в різних напрямках, для виміру вібрацій у системах контролю стану шасі, в АБС, у системах захисту від перекидання й у пристроях проти викрадення.

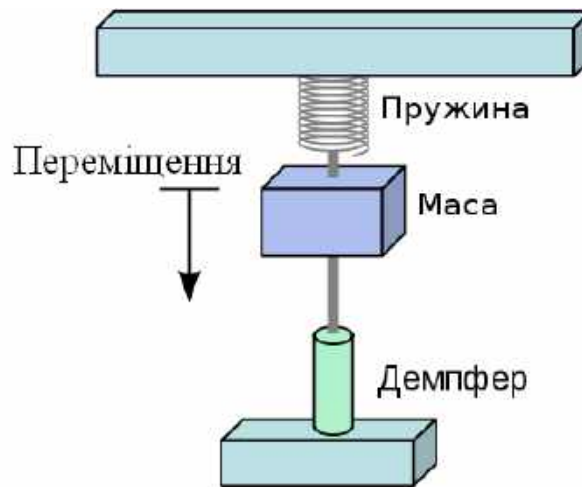


Рисунок 1.1 – Схема найпростішого акселерометра

У цілому, автомобільна сфера застосування акселерометрів сконцентрована в області систем безпеки, комфорту пасажирів, динамічного контролю автомобіля й включає наступні області завдань:

- Виявлення аварії, активація систем безпеки й контроль розгортання подушок безпеки (Crash detection, Airbag deployment systems, Restraint systems).
- Детектування крену (Rollover detection), бічних аварій і перекидань.
- Аварійні випробування (Crash-tests), у тому числі для оснащення манекенів.
- Запис даних про аварії (Crash recording).
- Адаптивний круїз-контроль (Adaptive Cruise Control).
- Захист пішоходів (Pedestrian Protection).
- АБС (4WD ABS - Four Wheel Drive AntiLock Brake System).
- Контроль зчеплення (Traction Control System).
- Контроль динамічної стабільності (Vehicle Stability Control, Electronic Stability Program).
- Контроль активної (або напівактивної) підвіски (Active Suspension Control).
- Системи охоронної сигналізації (Burglar Alarm) у протиугінних системах (Antitheft Systems).
- Електронне паркування гальма (Electronic Parking Brake).
- Компенсація вимірів рівня (Fluid Level Compensation).

- Керування фарами (Headlamp Adjustment).
- Системи транспортної навігації (Vehicle Navigation Systems) і GPS (Global Positioning System).
- OBDII - контроль нерівності дороги,
- Керування двигуном і трансмісією.
- Спостереження за тиском у шинах (Tire Pressure Monitoring).
- Сенсорний кластер (Sensor Cluster) - блок інерційних вимірів «inertial measurement unit» (IMU) із шістьма ступенями волі, розташований орієнтовно в центрі автомобіля для збору інформації для все-інерційних систем - протиугінної, VSC, навігації, і т.п.

У процесі кваліметричних випробувань автомобілів акселерометри широко використовуються при оцінці аеродинамічних і тяглових швидкісних якостей, гальмівних якостей, керованості й стійкості, плавності ходу, шуму й вібрації, надійності, пасивній безпеці й ін.

4.2 Вимірювально-реєстраційний комплекс

Засоби вимірювань для дорожніх випробувань повинні бути компактними, простими в установці й користуванні, вібростійкими; повинні забезпечувати необхідну пропускну здатність палива й необхідну точність вимірів при температурі повітря від мінус 40 °С до плюс 40 °С на всіх режимах руху ТЗ, включаючи максимальну швидкість; установка їх на ТЗ не повинна впливати на опір руху.

Погрішність засобів вимірювань не повинна перевищувати значень, які наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Припустима погрішність засобів вимірювань

№ з/п	Показники	Погрішність, не більше
1.	Витрата палива	1%
2.	Шлях і час	0,5%
3.	Швидкість руху	1%
4.	Частота обертання колінчатого вала двигуна	1%
5.	Швидкість вітру	0,5 м/с
6.	Температура повітря й палива	1 °С
7.	Атмосферний тиск	2,6 кПа (2 мм рт. ст.)
8.	Відносна вологість повітря	7%
9.	Маса ТЗ	0,3%

Для реєстрації даних при дорожніх випробуваннях автомобілів на кафедрі ТМ і РМ ХНАДУ розроблений мобільний вимірювальний комплекс (рис. 4.2), що складається із двох датчиків прискорень Freescale Semiconductor моделі MMA7260QT, а також ЕОМ для зняття й архівації даних.

Якщо датчик прискорення розташований так, що його вісь чутливості перпендикулярна поверхні землі, вихідний сигнал відповідає прискоренню вільного падіння. При зміні кута нахилу, вихідний сигнал зменшується пропорційно косинусу кута між віссю чутливості датчика й абсолютним вертикальним положенням.

Використані для проведення експерименту датчики MMA7260QT – ємнісні акселерометри із трьома робочими осями й межею виміру $\pm 1.5\text{ g}$. Мають убудований фільтр корекції зміни температури, фільтр нижніх частот і крайніх значень, не вимагають додаткових пристроїв. У зазначених датчиках передбачена можливість «сплячого режиму» для економії батареї ЕОМ. Датчики використовують низьку напругу: $2.2\text{V} - 3.6\text{V}$. Мають високу чутливість (800 мВ/г). Характеризуються швидкою ініціалізацією, гарною витривалістю перепадів напруги й впливу статичної електрики.

Напівпровідникові акселерометри Freescale містять ємнісної чутливий елемент і інтегрований на кристалі вимірювальний ланцюг, виконаний за «кмоп-технологією» (рис. 4.4).

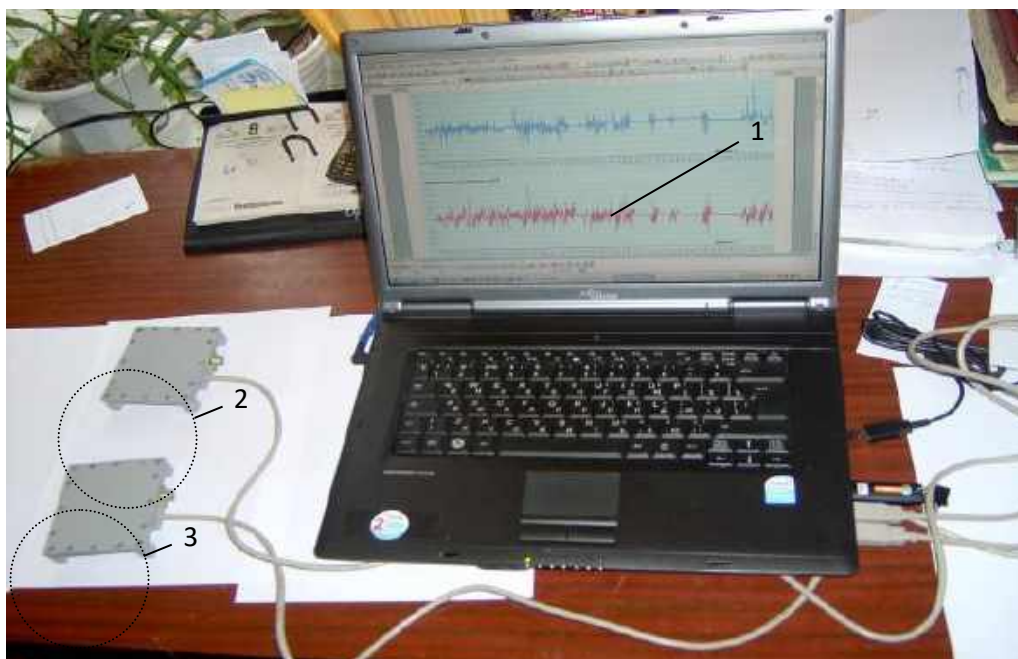


Рисунок 4.2 – Мобільний вимірювальний комплекс: 1 – ЕОМ для зняття й архівації даних; 2 – датчик прискорень MMA7260QT #445; 3 – датчик прискорень MMA7260QT #446



Рисунок 4.3 – Установка датчиків прискорень у багажнику випробовуваного автомобіля

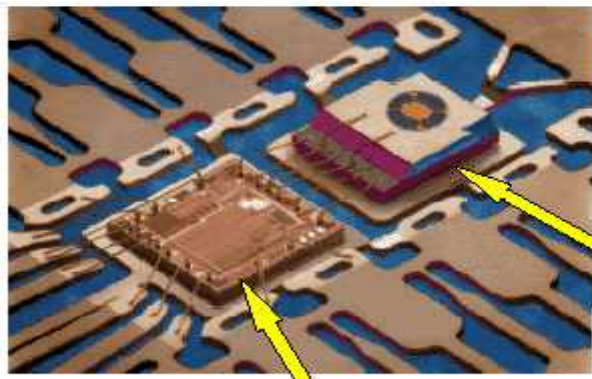


Рисунок 4.4 – Напівпровідниковий акселерометр Freescale

Ємнісної чутливий елемент G-cell є герметичним. Він являє собою механічну структуру, виконану за допомогою напівпровідникового процесу з полікремнію. Диференціальний чутливий елемент має верхню й нижню нерухомі пластини й центральну пластину, закріплену за допомогою пружних елементів.

Центральна пластина має сейсмомасу і може зміщатися під впливом прискорення. У складі чутливого елемента є пластина для самотестування цілісності датчика.

Коли рухлива пластина займає центральне положення, вихідний сигнал дорівнює половині напруги живлення (рис. 4.6).

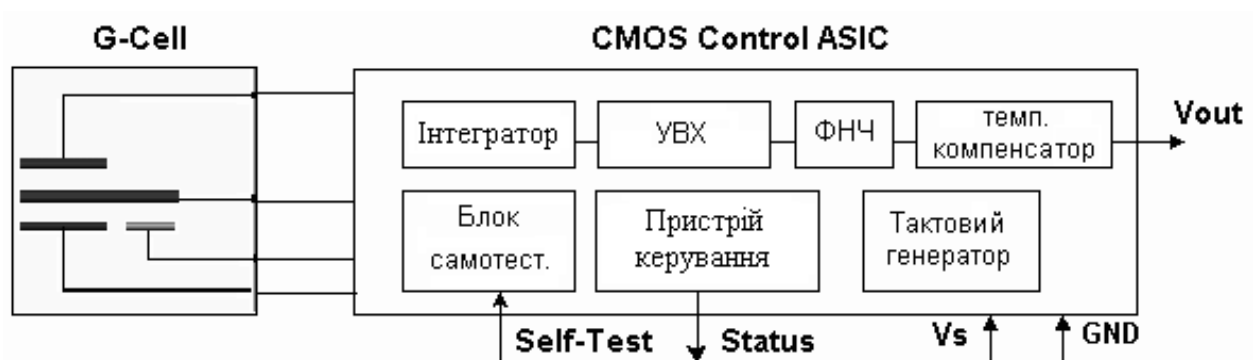


Рисунок 4.5 – Функціональна схема датчика прискорення

Вимірювальний ланцюг має логометричну структуру, так що початковий зсув і чутливість датчика лінійним образом пов'язані з живлячою напругою.

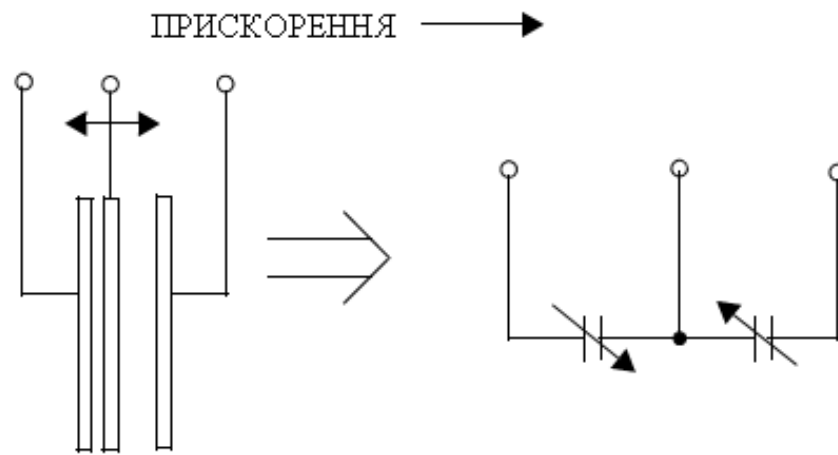


Рисунок 4.6 – Спрощена фізична модель датчика прискорення

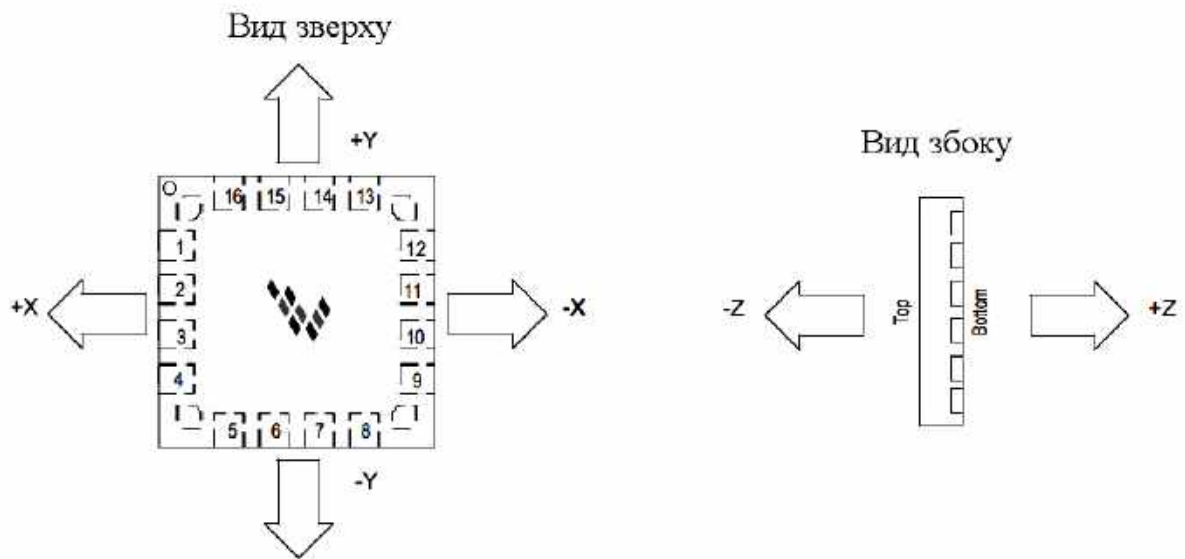


Рисунок 4.7 – Акселерометр Freescale із трьома робочими осями

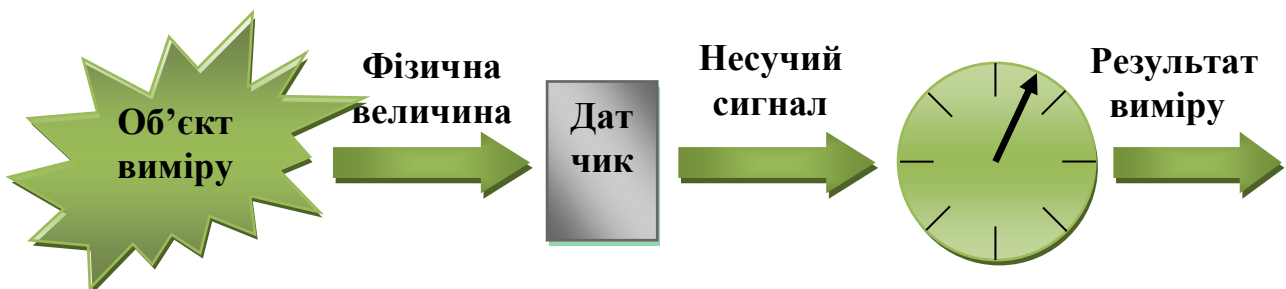


Рисунок 4.8 – Спрощена схема виміру

4.3 Завдання

Виконайте планування експериментального дослідження динамічних властивостей автомобілів з використанням вимірювально-реєстраційного комплексу.

Від якості планування й підготовки до експериментальних досліджень залежить адекватність отриманих результатів.

Звіт повинний містити:

- обґрунтування вибору досліджуваного автомобіля;
- складання бланків технічного звіту;
- опис порядку перевірки технічного стану й регулювання досліджуваного автомобіля (світ запалювання, гальмівної системи, тиску в шинах і т.д.);
- обґрунтування вибору ділянки дороги;
- порядок підготовки, установки й калібрування апаратури (у т.ч. фото й відео записуючих пристроїв);
- визначення необхідної кількості заїздів з реєстрацією даних;
- порядок обробки й аналізу отриманих даних.

Контрольні запитання

1. Засоби вимірів для дорожніх випробувань колісних машин.
2. Область застосування акселерометрів у системах автомобіля.
3. Фізична модель і функціональна схема датчика прискорення.
4. Припустима погрішність засобів вимірів.
5. Етапи планування експериментального дослідження динамічних властивостей автомобілів.

Література: [3, 8].

Практичне заняття 5

ГРАДУЮВАННЯ ДАТЧИКІВ ПРИСКОРЕНЬ

Мета роботи - закріпити знання та практичні навички по градуюванню акселерометрів.

5.1 Загальні положення

Градуювання засобів вимірів (нем. *graduieren* - градуювати, лат. *gradus* - крок, ступінь) - метрологічна операція, за допомогою якої засіб виміру (міру або вимірювальний прилад) постачають шкалою або градуювальною таблицею (кривою).

Методи градуювання акселерометрів розділяються на три групи, відповідно до застосування їх до датчиків постійного, синусоїдального або перехідного прискорення.

Найбільш простим є метод градуювання шляхом додавання постійного прискорення – градуювання в поле тяжіння. Метод складається у вимірі сигналу, одержуваного у випадку, коли істинна вісь чутливості датчика орієнтована під кутом α щодо місцевої вертикалі.

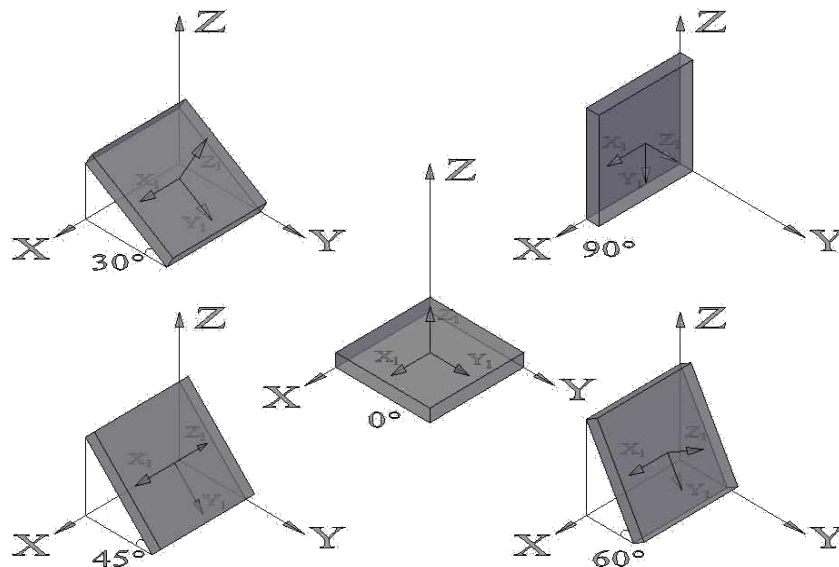


Рисунок 5.1 – Положення датчика при виконанні градуювання методом постійного прискорення

Таблиця 5.1 – Облaсті використання акселерометрів і точність різних методів їх градування

Області використання		Постійне прискорення		Синусоїдальні коливання						Перехід-ний рух
За часто-тою	За амплі-тудою, g	Кутове відхи-лення від місцевої верти-калі	Цен-три-фуга	Абсолютні методи					Зрівнян-ня з етало-ном	
				Візира труба	Датчик перемі-щення	Лазерний інтерферометр		Взаємне граду-ювання		
						Раху-нок смуг	Зник-нення смуг			
Постійне приско-рення	0,01 – 1	< 1%	< 1%	—	—	—	—	—	—	—
	0,1 – 50000			—	—	—	—	—	—	
5-30 Гц	0,1	—	—	—	2 – 10%	1 – 5%		—	—	
	0,01 – 5	—	—	2 – 10%	1 – 5%			—	2 – 10%	
	5 – 40	—	—	1 – 5%	1 – 5%			—	2 – 10%	
10 – 1000 Гц	0,01 – 0,5	—	—		2 – 10%	1 – 5%	1 – 5%	< 1%	1 – 5%	
	0,5 – 5	—	—			1 – 5%			1 – 5%	
	5 – 40	—	—			1 – 5%			1 – 5%	
	40 – 100	—	—			1 – 5%			1 – 5%	
1000 – 5000 Гц	0,5 – 50	—	—	—	—	—	1 – 5%	—	1 – 5%	
	5 – 40	—	—	—	—	—	1 – 5%	—	1 – 5%	
	40 – 100	—	—	—	—	—	1 – 5%	—	1 – 5%	
5000 – 10000 Гц	0,5 – 100	—	—	—	—	—	1 – 5%	—	1 – 5 %	
0,5-10 мс	100 – 20000	—	—	—	—					2 – 10%

Точність градуювання істотно залежить від помилок виміру вихідної напруги й величини кута, пов'язаного з наявністю поперечної чутливості. Цей метод практично дуже зручний для швидкої перевірки чутливості системи перед початком виміру.

У табл. 5.1 зазначені характеристики, які одержують при різних методах градуювання. Результати виконаного градуювання наведені на рис. 5.2.

5.2 Завдання

Виконайте градуювання датчика прискорення методом постійного прискорення. Для цього необхідно:

1) підключити датчик, що підлягає градуюванню до ПК із установленим програмним забезпеченням для зчитування кодів АЦП;

2) покласти датчик на рівну горизонтальну поверхню, віссю, що піддається градуюванню, униз і прийняти це положення за вихідне (кут нахилу вимірюваної осі до вертикалі в цьому випадку дорівнює 0°);

3) виконати зчитування коду АЦП по вимірюваній осі й внести його в графу 1 таблиці 5.2;

4) внести в графи 2 і 3 таблиці 5.2 кут нахилу датчика до вертикалі, а також його косинус, відповідно;

5) значення графи 4 одержати добутком $\cos \alpha$ на прискорення вільного падіння;

6) нахилити датчик, що піддаємо градуюванню, на кут 30° до вертикалі й повторити п. 3-5. У такий спосіб необхідно заповнити таблицю 5.2, поміщаючи датчик у просторі від 0 до 180° до вертикалі;

Таблиця 5.2 - Приклад виконання градуювання датчиків прискорення

Значення коду АЦП	Кут нахилу датчика до вертикалі, α	$\cos \alpha$	Прискорення по вимірюваній осі, м/с^2
1	2	3	4
837	0	1	9,8
797	30	0,866	8,5
...	...	...	...
317	180	-1	-9,8

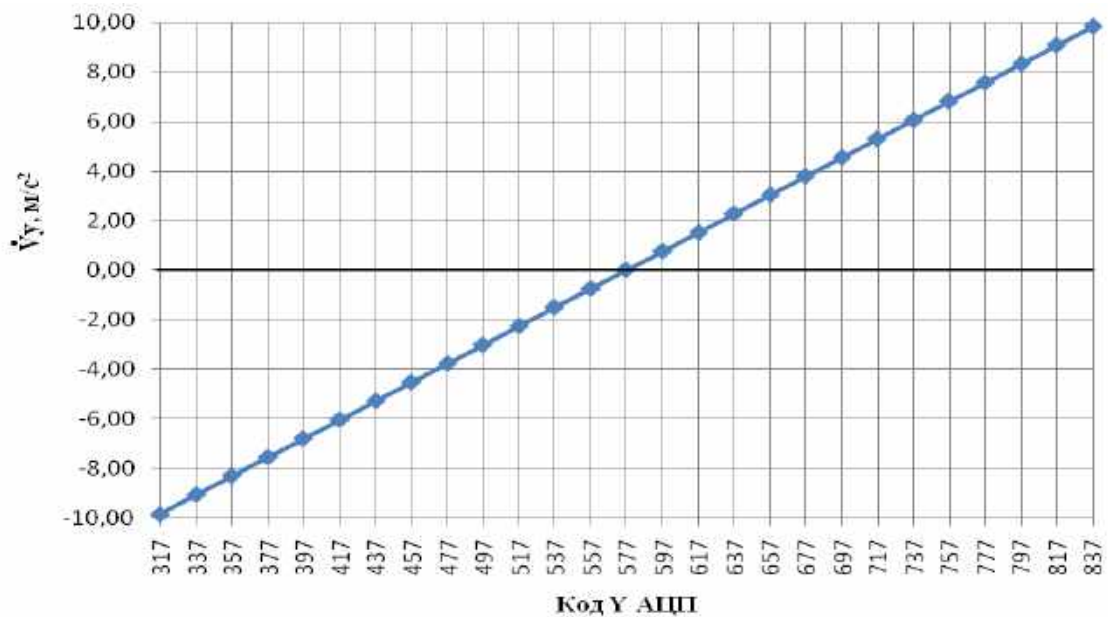


Рисунок 5.2 – Градування датчика прискорення #446

7) використовуючи даної таблиці 5.2, побудувати графік залежності прискорення від кодів АЦП акселерометра (рис. 5.2);

8) аналогічним образом виконати градування датчика по наступних двох осях і побудувати графіки.

Звіт винний містити:

- схему положення датчика при виконанні градування методом постійного прискорення;
- градувальні таблиці акселерометра по осях X, Y, Z;
- графіки залежності прискорення від кодів АЦП акселерометра по трьох осях.

Контрольні запитання

1. Поняття градування засобів вимірів.
2. Методи градування акселерометрів.
3. Сутність методу градування шляхом додатка постійного прискорення.
4. Точність градування.

Література: [2].

Практичне заняття 6

ОЦІНКА СТІЙКОСТІ АВТОМОБІЛЯ В ТЯГОВОМУ РЕЖИМІ РУХУ

Мета роботи - закріпити знання та практичні навички по оцінці стійкості легкових автомобілів проти заносу в тяговому режимі руху.

6.1 Загальні положення

Стійкість автомобіля є найважливішим показником, відповідальним за безпеку дорожнього руху. У тяговому режимі руху існує небезпека втрати стійкості через пробуксовку ведучих коліс при влученні їх на ділянку з низьким коефіцієнтом зчеплення.

На ведучих колесах автомобіля виникають дотичні реакції, спрямовані убік руху, а на ведених колесах – у протилежну сторону. На ведучих колесах дотична реакція визначається різницею між тяговою (рушійною) силою й силою опору коченню. Зазначена дотична реакція дорівнює сумі сил опору повітряного середовища P_w і опору коченню ведених коліс (рівних дотичним реакціям на ведених колесах). Якщо є запас по зчепленню на ведучих колесах, то виникає можливість створення надлишкової тягової сили, що йде на розгін автомобіля.

Для оцінки стійкості автомобіля використаємо коефіцієнт $K_{ст}$, що дорівнює відношенню моменту стабілізуючого до збурюючого моменту, і визначається з наступного співвідношення

$$I_z \cdot \dot{\omega} = M_{зб} - M_{стаб} = M_{зб} \cdot \left(1 - \frac{M_{стаб}}{M_{зб}}\right) = M_{зб} \cdot (1 - K_{ст}), \quad (6.1)$$

де I_z – момент інерції автомобіля щодо вертикальної осі;

$M_{зб}$ – збурюючий момент;

$M_{стаб}$ – стабілізуючий момент;

$\dot{\omega}$ – кутове прискорення автомобіля щодо вертикальної осі.

При $K_{ст} > 1$ рух автомобіля стійкий, при $K_{ст} < 1$ – нестійкий, при $K_{ст} = 1$ автомобіль перебуває на грані виходу із зони стійкого руху.

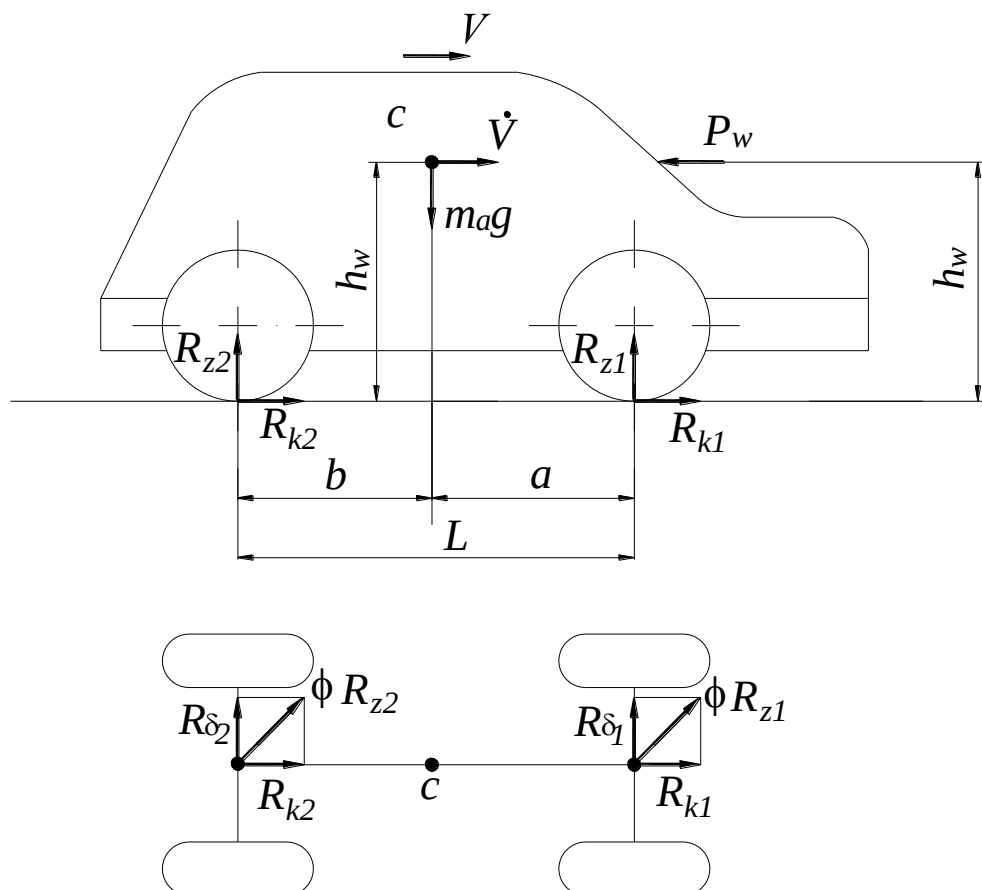


Рисунок 6.1 – Схема сил, що діють на автомобіль при розгоні: L – база автомобіля; a , b – координати проекції центра мас автомобіля c на горизонтальну площину; $R_{\delta 1}$, $R_{\delta 2}$ – бічні реакції дороги на колеса передньої й задньої осей; R_{z1} , R_{z2} – вертикальні реакції на колесах передньої й задньої осей; R_{k1} , R_{k2} – дотичні реакції на колесах передньої й задньої осей (сумарні по лівих і правих колесах); ϕ – коефіцієнт зчеплення коліс із дорогою; m_a – загальна маса автомобіля; g – прискорення вільного падіння; V – лінійна швидкість автомобіля; P_w – сила опору повітря; h – висота центра мас автомобіля

Коефіцієнт стійкості автомобіля в розглянутому випадку

$$K_{\text{ст}} = \frac{b}{a} \cdot \frac{R_{\delta 2}}{R_{\delta 1}}. \quad (6.2)$$

Максимальне прискорення за умовою стійкості визначається з наступної залежності

$$\dot{V} \leq \frac{\varphi^2 \cdot g \cdot \frac{h}{L} \frac{b}{a}}{0,5 \left(\frac{b^2}{a^2} - 1 \right) \left(K_R^2 - \varphi^2 \cdot \frac{h^2}{L^2} \right) - \frac{b^2}{a^2} (K_R - 0,5)} - \frac{k \cdot F}{m_a} V^2 = \dot{V}_{\text{ст}}^{\text{max}} \quad (6.3)$$

Максимально можливе прискорення автомобіля, що виникає при неповнім використанні зчірної ваги можна визначити як

$$\dot{V} = K_{\text{зч}} \cdot \varphi \cdot g - \frac{k \cdot F}{m_a} \cdot V^2. \quad (6.4)$$

де $K_{\text{зч}}$ – коефіцієнт використання зчірної ваги автомобіля,

$$K_{\text{зч}} = 1 \quad \text{– для повнопривідного автомобіля;}$$

$$K_{\text{зч}} = \frac{b}{L + \varphi \cdot h} \quad \text{– для передньопривідного автомобіля;}$$

$$K_{\text{зч}} = \frac{a}{L - \varphi \cdot h} \quad \text{– для задньопривідного автомобіля.}$$

На рис. 6.2 представлені графіки прискорень повнопривідних автомобілів виробництва країн СНД і Західної Європи.

6.2 Завдання

Виконайте теоретичну оцінку стійкості проти заносу задньопривідних автомобілів ВАЗ-2101 і BMW-320i.

На графіках прискорень за допомогою залежностей (6.3) і (6.4) необхідно побудувати криві максимального прискорення автомобіля за умовою стійкості й максимально можливого прискорення автомобіля.

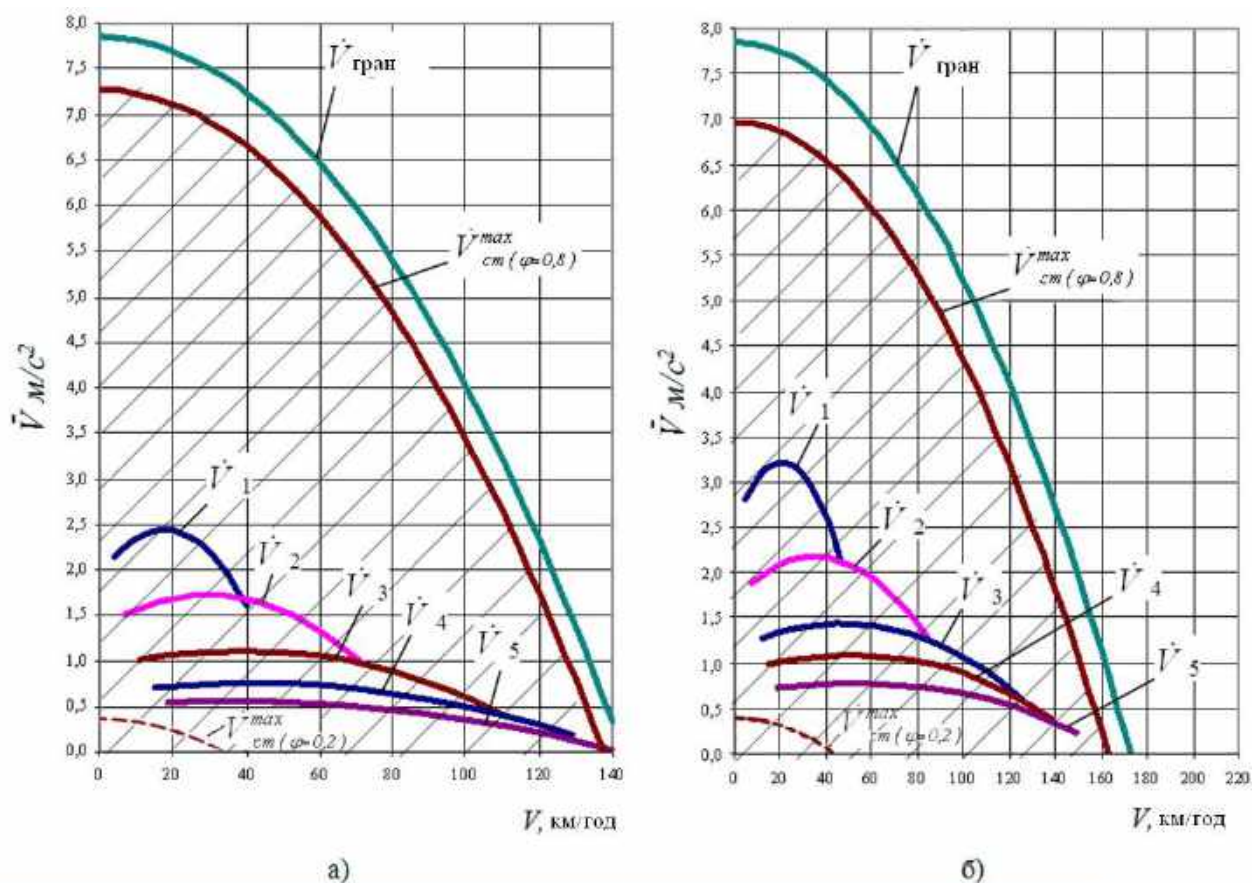


Рисунок 6.2 – Графіки прискорень автомобілів: а) ВАЗ-21213; б) Audi A6 1.8T Quattro при $\varphi = 0,8$ і $\varphi = 0,2$; зона стійкого руху заштрихована

Аналіз необхідно виконати при різних коефіцієнтах зчеплення коліс із дорогою (див. табл. 6.1)

Таблиця 6.1 - Значення коефіцієнта зчеплення коліс із дорогою

Дорога	Поверхня	
	суха	мокра
з асфальтобетонним або цементобетонним покриттям	0,7 - 0,8	0,35 - 0,45
із щебневим покриттям	0,6 - 0,7	0,3 - 0,4
Ґрунтова	0,5 - 0,6	0,2 - 0,4
Зледеніла	0,1 - 0,2	
покрита снігом	0,2 - 0,3	

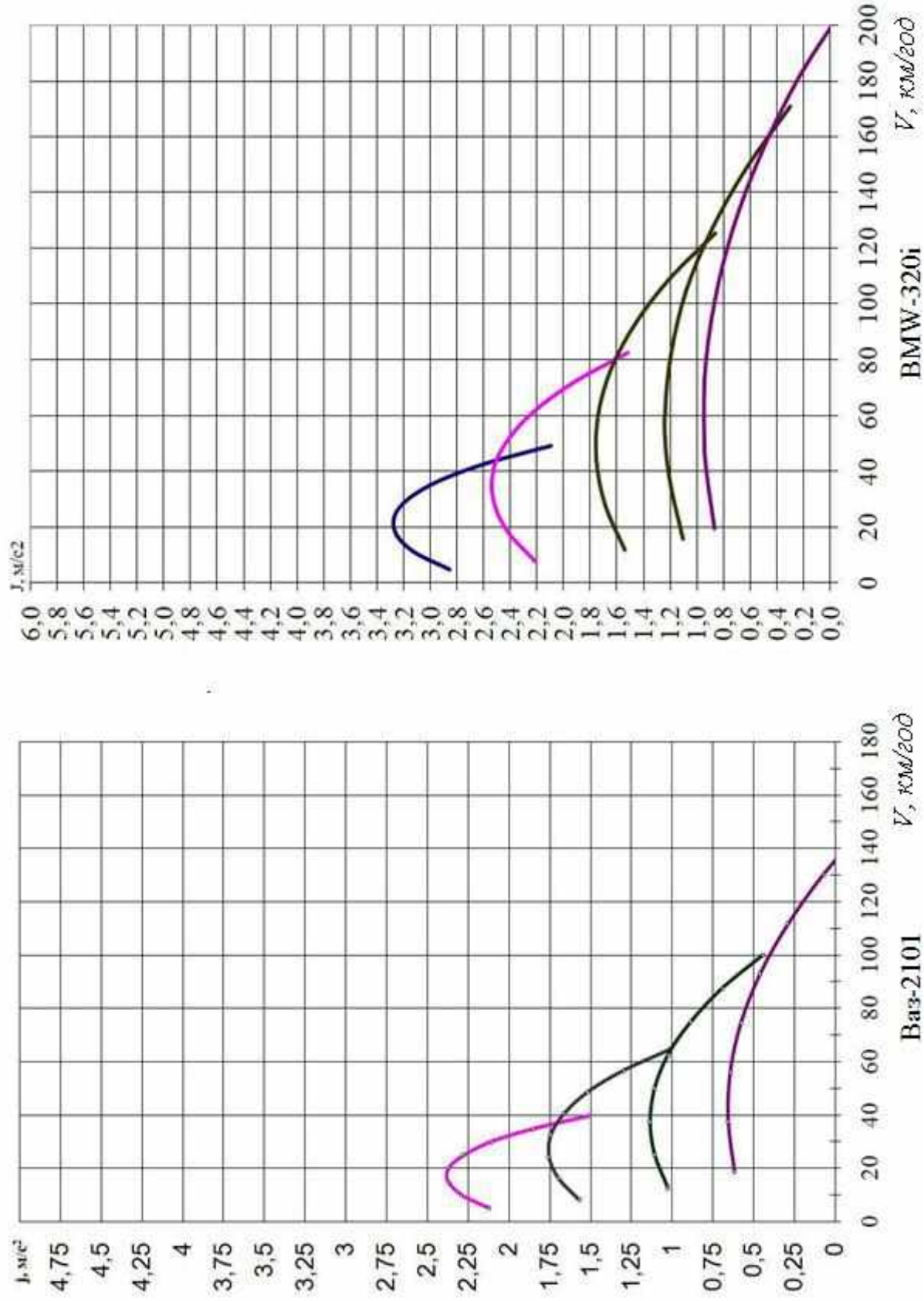


Рисунок 6.3 – Графіки прискорень задньопривідних автомобілів

Використовуючи отримані графіки, визначте зони потенційної втрати стійкості досліджуваних автомобілів, визначте, на яких швидкостях і передачах можливий вихід із зони стійкого руху.

Звіт повинний містити:

- математичну модель оцінки стійкості автомобіля проти заносу;
- криві максимального прискорення автомобіля за умовою стійкості й максимально можливого прискорення автомобіля;
- зони потенційної втрати стійкості досліджуваних автомобілів при різних коефіцієнтах зчеплення коліс із дорогою.

Контрольні запитання

1. Поняття стійкості автомобіля.
2. Причини втрати стійкості автомобіля в тяговому режимі руху.
3. Визначення коефіцієнта стійкості.
4. Максимально можливе прискорення автомобіля.
5. Коефіцієнт використання зчіпної ваги автомобіля.
6. Визначення коефіцієнта зчеплення коліс із дорогою й фактори, що впливають на нього.

Література: [4, 5].

Практичне заняття 7

ВИЗНАЧЕННЯ ПОЗДОВЖНИХ ПРИСКОРЕНЬ В 3-Х ПЛОЩИНАХ, А ТАКОЖ КУТОВИХ ШВИДКОСТЕЙ І ПРИСКОРЕНЬ, РАДІУСА ПОВОРОТУ Й ШВИДКОСТІ АВТОМОБІЛЯ

Мета роботи - закріпити знання та практичні навички по оцінці стійкості та керованості колісних машин за допомогою датчиків прискорення.

7.1 Загальні положення

З використанням мобільного реєстраційно-вимірювального комплексу виконується експериментальне визначення зони стійкого руху автомобіля, а також впливу конструктивних і експлуатаційних факторів на стійкість автомобіля проти заносу. Можлива реєстрація динамічних параметрів автомобіля, а також бічних прискорень, що діють на автомобіль у тяговому режимі руху.

Перед виконанням дорожніх випробувань необхідно простежити, щоб агрегати трансмісії й ходової частини автомобілів були прогріті. Шини чисте й сухі, зношування малюнка протектора не більше 5%. Автомобілі випробовують із різним завантаженням. Випробування проводять на горизонтальній ділянці дороги із твердим рівним покриттям при різних погодних умовах.

При експериментальній оцінці експлуатаційних властивостей автомобіля (кваліметричних випробуваннях) у загальному випадку руху виникає проблема визначення контрольної точки, кінематичні параметри якої будуть характеризувати швидкість і прискорення зазначеної машини. Ці параметри необхідно визначати в напрямку поздовжньої осі автомобіля. Контрольною точкою повинен бути полюс повороту, що є центром пружності автомобіля в площині, паралельній площині дороги. Полюс повороту лежить на поздовжній осі автомобіля й серед всіх точок, що належать цієї осі, має найменші значення лінійної швидкості й прискорення. Оскільки координата полюса повороту змінюється згодом, то для зменшення погрішності визначення кінематичних параметрів, кутових прискорень і швидкості автомобіля запропоновано використати дві

контрольні точки, у яких необхідно встановлювати два трьохкоординатних датчики прискорень.

На рис. 7.1 наведена схема лінійних прискорень автомобіля в загальному випадку руху в тяговому режимі. При твердих у бічному напрямку коліс миттєвий центр повороту лежить на продовженні задньої осі автомобіля.

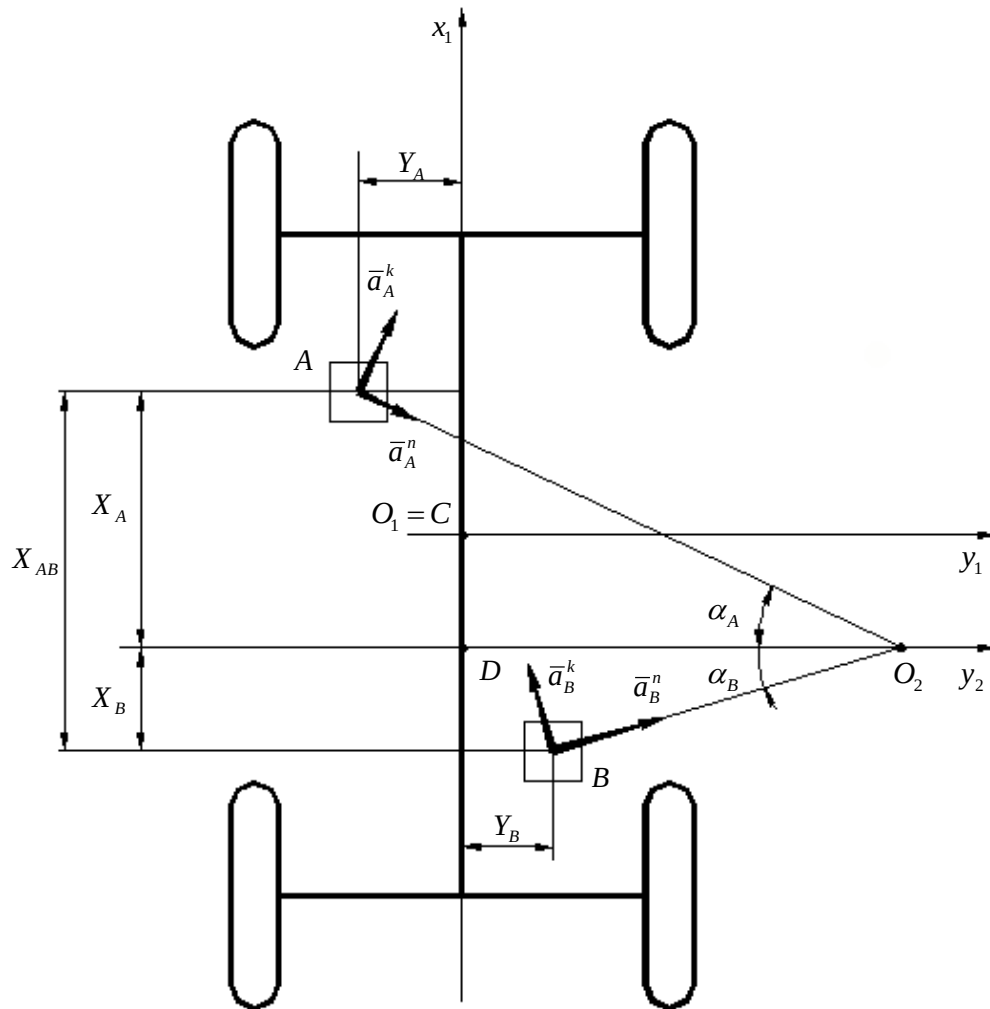


Рисунок 7.1 – Схема виміру лінійних прискорень автомобіля при установці двох акселерометрів: $\bar{a}_A^k$, $\bar{a}_A^n$, $\bar{a}_B^k$, $\bar{a}_B^n$ – компоненти прискорень точок A і B (контрольних точок, у яких установлені датчики прискорень); X_A , X_B , Y_A , Y_B – координати точок установки датчиків; α_A , α_B – кути установки датчиків прискорень до миттєвого центра повороту

При русі автомобіля з еластичними в бічному напрямку колесами, миттєвий центр повороту переміщується в точку O_2 (див. рис. 7.1), а полюс повороту – у точку D .

Точка D є центром пружності автомобіля в площині, паралельній площині дороги. Її положення змінюється залежно від

середнього кута $\bar{\alpha}$ повороту керованих коліс, кутів відведення δ_1 передньої й δ_2 задньої осей.

Кутова швидкість автомобіля в площині дороги визначається з наступного співвідношення

$$\omega = \sqrt{\frac{(a_{AX_1} - a_{BX_1}) \cdot (Y_B - Y_A) + X_{AB} \cdot (a_{AY_1} - a_{BY_1})}{(Y_B - Y_A)^2 + X_{AB}^2}}. \quad (7.1)$$

Кутове прискорення автомобіля

$$\varepsilon = \frac{(a_{AX_1} - a_{BX_1}) \cdot (Y_B - Y_A) + X_{AB} \cdot (a_{AY_1} - a_{BY_1})}{(Y_B - Y_A)^2 + X_{AB}^2}. \quad (7.2)$$

Координати миттєвого центра повороту

$$X_A = \frac{0,5 \cdot X_{AB} \cdot (\varepsilon^2 + \omega^4) + \varepsilon \cdot \bar{a}_{Y_1} - \omega^2 \cdot \bar{a}_{X_1}}{0,5\varepsilon^2 + \omega^4}, \quad (7.3)$$

$$X_B = X_{AB} - X_A. \quad (7.4)$$

Миттєвий радіус повороту автомобіля

$$R_D = \frac{\bar{a}_{Y_1} + 0,5\varepsilon X_{AB}}{\omega^2} - \frac{\varepsilon}{\omega^2} \left(\frac{0,5X_{AB}(\varepsilon^2 + \omega^4) + \varepsilon\bar{a}_{Y_1} - \omega^2\bar{a}_{X_1}}{0,5\varepsilon^2 + \omega^4} \right) + 0,5 \cdot Y_{AB}. \quad (7.5)$$

На рис. 7.2 – 7.4 наведені значення кутових швидкостей, поздовжніх, бічних, кутових і вертикальних прискорень, що виникають у процесі руху автомобіля, а також миттєвих радіусів повороту й швидкості руху автомобіля.

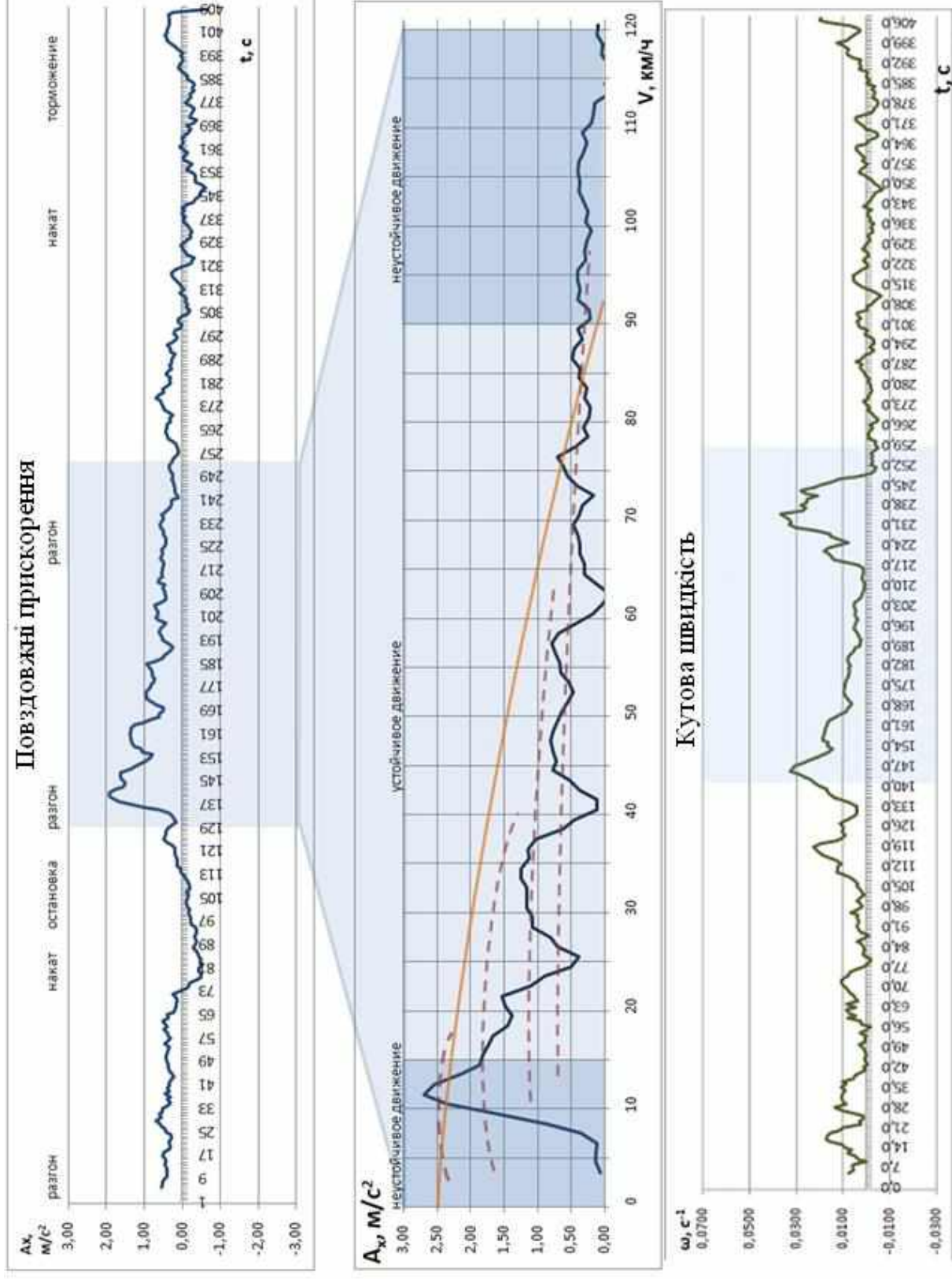


Рисунок 7.2 – Повздовжні прискорення та кутова швидкість, що виникають в процесі руху автомобіля

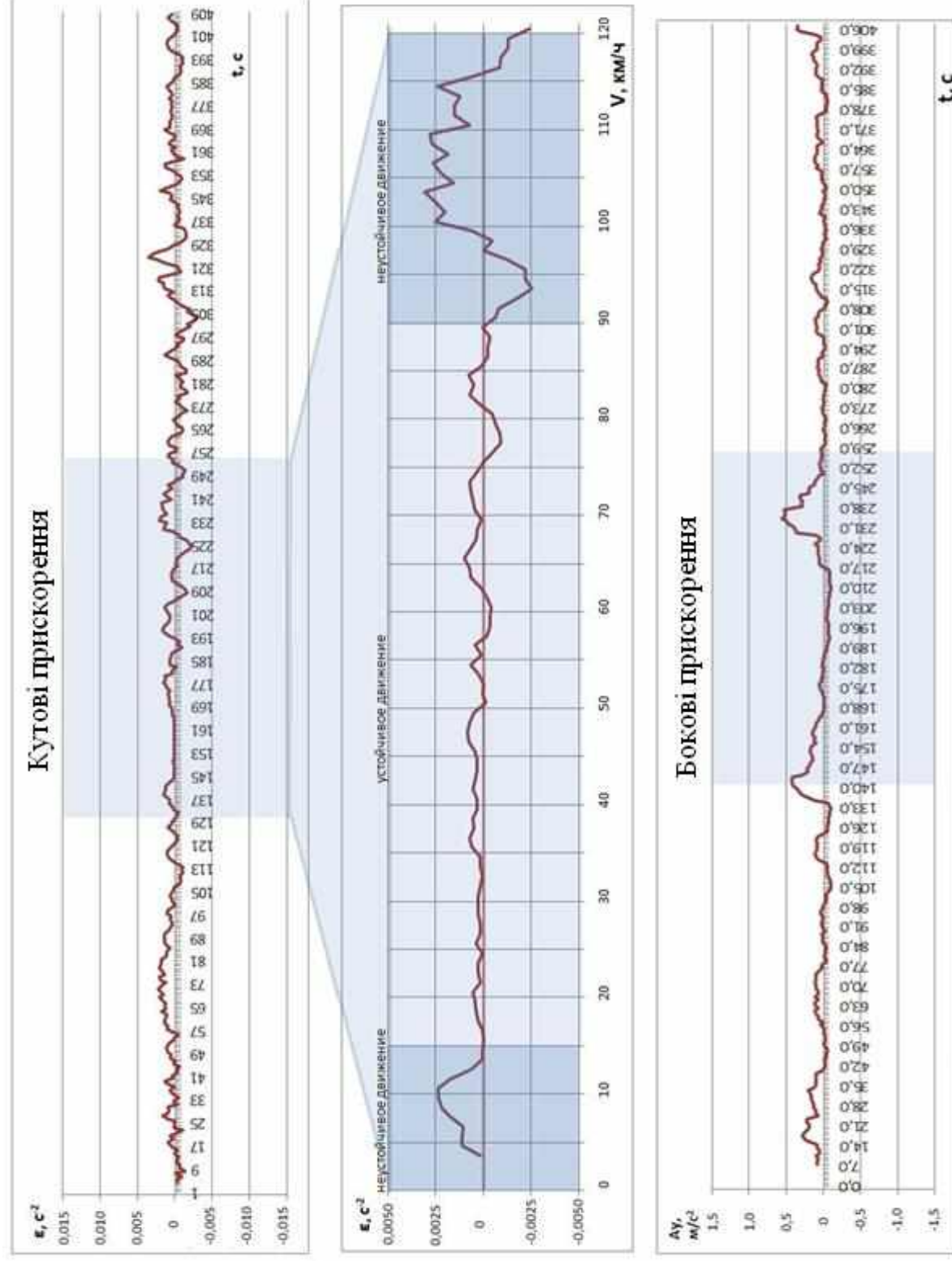


Рисунок 7.3 – Бокові та кутові прискорення досліджуваного автомобіля

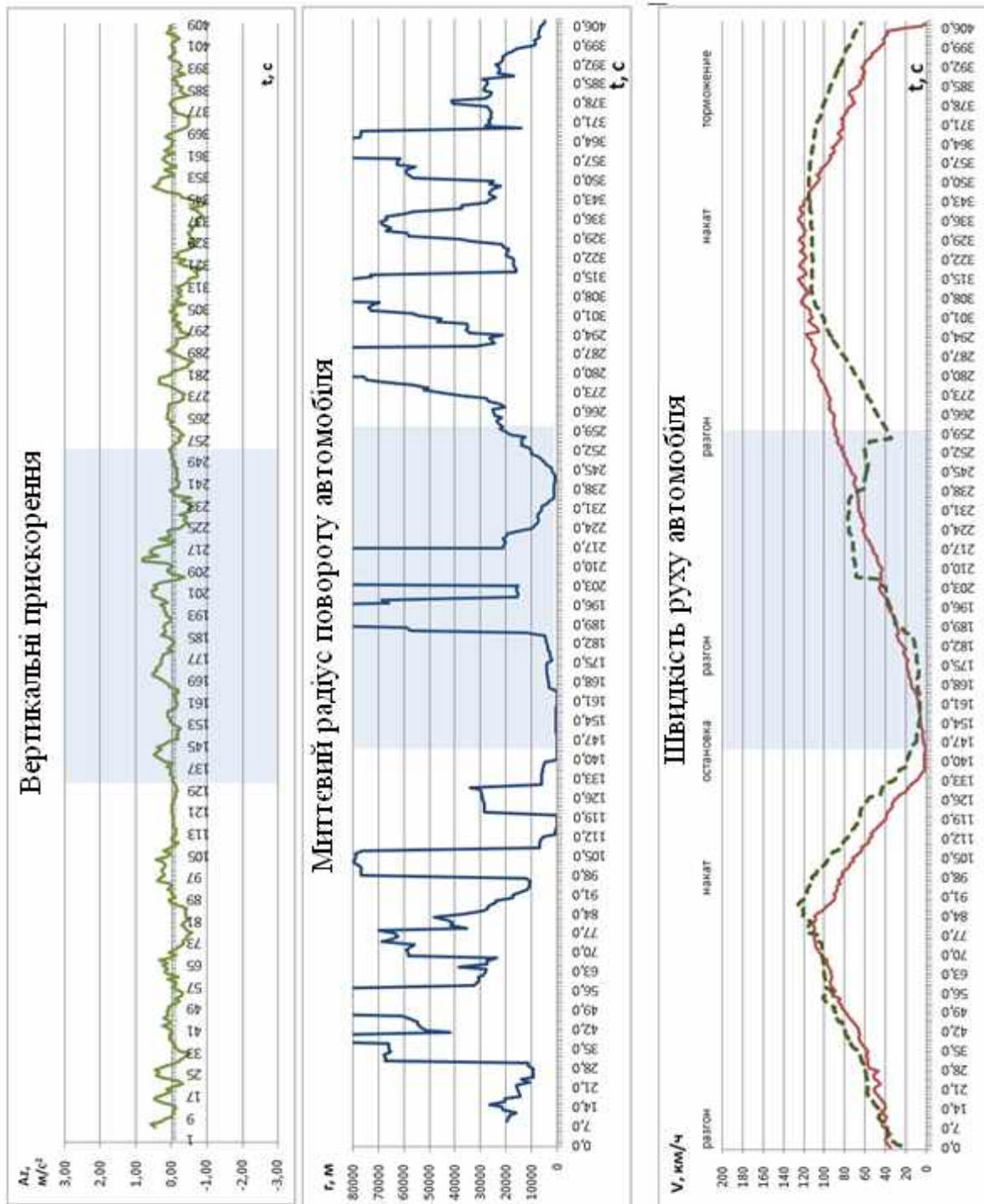


Рисунок 7.4 – Вертикальні прискорення, радіуси повороту та швидкість руху автомобіля

7.2 Завдання

За допомогою мобільного вимірювального комплексу отримати поздовжні прискорення автомобіля в 3-х площинах.

Застосувавши формули (7.1) - (7.5), розрахувати кутові швидкості та прискорення, радіуси поворотів й швидкість автомобіля під час експерименту.

За допомогою отриманих даних зробити оцінку стійкості вимірюваного автомобіля проти заносу, визначити зони стійкого та нестійкого руху.

Виконати перевірку адекватності отриманих результатів за допомогою наступних параметрів:

1) Середня величина розбіжності

$$\Delta V_C = \frac{\sum_{i=1}^n (V_{Ei} - V_{Pi})}{n};$$

де V_{Ei} – величина параметра, визначеного в i -ої точці експерименту;

V_{Pi} - величина параметра, отримана розрахунковим шляхом і співпадаюча в часі з експериментальною точкою;

n - кількість точок експерименту.

2) Відносна розбіжність експериментальних і розрахункових даних

$$\Delta = \frac{\Delta V_C}{V_C};$$

де V_C - середня величина оцінюваного параметра.

3) Максимальне значення розбіжності

$$\Delta V_M = \max(|V_{Ei} - V_{Pi}|), i = 1...n.$$

4) Відносна максимальна розбіжність

$$\Delta_M = \frac{\Delta V_M}{V_{Ej}};$$

де V_{Ej} - величина параметра, отриманого експериментально й відповідній точці максимальної розбіжності j .

Отримані результати внести до звіту.

Контрольні запитання

1. Можливості мобільного реєстраційно-вимірювального комплексу.
2. Підготовка автомобіля до випробувань.
3. Визначення контрольної точки для установки датчиків.
4. Середня величина розбіжності отриманих результатів.
5. Відносна розбіжність експериментальних і розрахункових даних.
6. Максимальне значення розбіжності.
7. Відносна максимальна розбіжність експериментальних результатів.

Література: [3, 6].

Практичне заняття 8

ПОБУДОВА ГІСТОГРАМ РОЗПОДІЛУ ПРИСКОРЕНЬ АВТОМОБІЛЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ ЙОГО ДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

Мета роботи - закріпити знання та практичні навички по оцінці динамічних властивостей колісних машин за допомогою датчиків прискорення.

8.1 Загальні положення

Для виконання аналізу динамічних властивостей колісних машин за допомогою мобільного вимірювального комплексу застосовується побудова гістограм розподілу поздовжніх прискорень транспортних засобів.

Для визначення додаткової питомої потужності двигуна, що йде на розгін автомобіля використовується співвідношення

$$V_a \cdot a_x = N_{\text{пит}} \cdot \eta_{\text{тр}}^{\text{заг}}, \quad (8.1)$$

де $\Delta N_{\text{пит}}$ – додаткова питома потужність двигуна, що йде на розгін автомобіля;

a_x – початкове прискорення автомобіля;

$\eta_{\text{тр}}^{\text{заг}}$ – загальний ККД трансмісії, що враховує втрати на розгін обертових мас.



Рисунок 8.1 – Поздовжні прискорення автомобіля «Москвич - 412», отримані при експерименті

На рис. 8.2 представлено гістограму розподілу прискорень, отриману після обробки результатів експериментів.

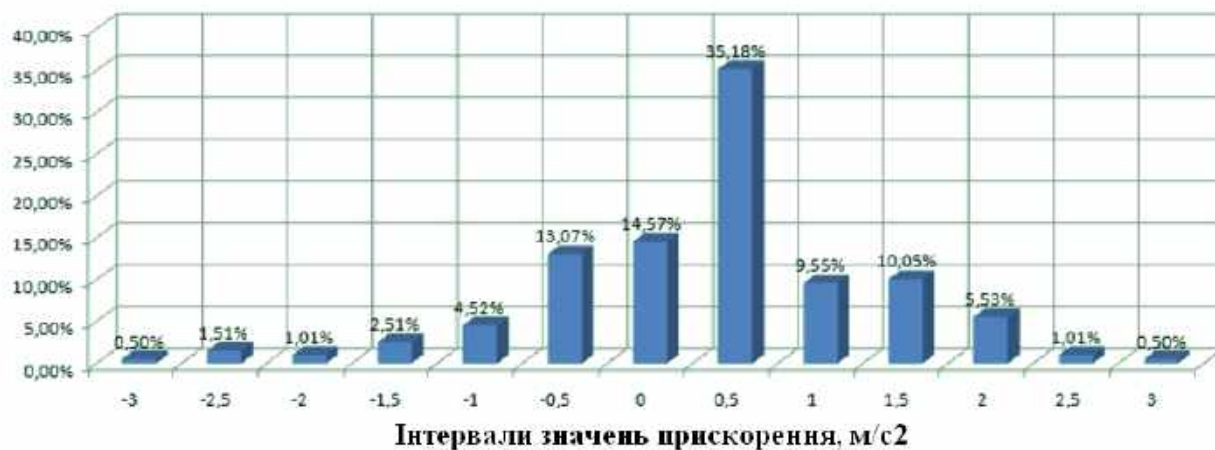


Рисунок 8.2 – Гістограма розподілу прискорень автомобіля «Москвич-412», отримана після обробки результатів експериментів

По отриманим гістограмам здійснюється підбір розподілу випадкових величин (прискорень автомобіля), які з достатнім ступенем точності описують отримані результати. Одним з найбільш використовуваних і простих критеріїв згоди спостережуваних даних з гіпотезою є критерій Хі-квадрат Пірсона. Чим менше значення статистики Хі-квадрат, тим більше імовірно, що гіпотеза вірна, а чим більше значення статистики Хі-квадрат – тим менше ймовірність того, що гіпотеза відповідає даним.

Параметри нормального розподілу величин прискорень автомобіля «Москвич-412» зведені в таблицю 8.1.

Таблиця 8.1 - Параметри нормального розподілу величини прискорення

Марка авто-мобіля	Критерій Пірсона	Середнє квадратичне відхилення	Математичне очікування
Москвич-412	12,7	0,61	0,6

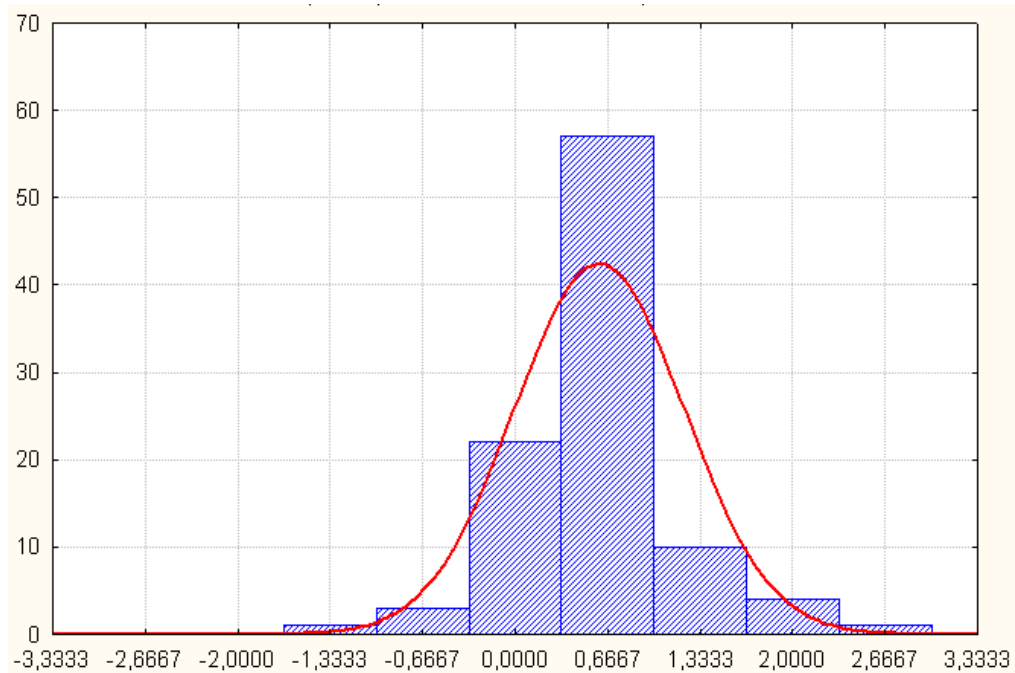


Рисунок 8.3 – Графік нормального розподілу для значень прискорень автомобіля «Москвич-412» при русі в міському режимі

8.2 Завдання

Побудувати гістограму розподілу прискорень автомобіля ВАЗ-2105, використовуючи отриманий при експериментальному дослідженні фрагмент запису поздовжніх прискорень (див. рис. 5.4)



Рисунок 8.4 – Повздовжні прискорення автомобілів ВАЗ - 2105

Для зручності побудови гістограми необхідно заповнити таблицю 8.2. У колонку «частість» вноситься кількість значень

прискорень, що попадають у відповідний інтервал. Значення колонки «%» являють собою відношення відповідних частот до загальної кількості досліджуваних крапок.

Таблиця 8.2 - **Частість появи значень прискорення**

Інтервал, м/с ²	Частість	%
-3 і більше		
-2,5		
-2		
-1,5		
-1		
-0,5		
0		
0,5		
1		
1,5		
2		
2,5		
3 і більше		

Після заповнення таблиці, побудувати гістограму розподілу прискорень випробуваного автомобіля за аналогією з рис. 8.2.

Контрольні запитання

1. Визначення питомої потужності двигуна, що йде на розгін автомобіля.
2. Принцип побудови гістограм розподілу прискорень.
3. Критерії згоди спостережуваних даних з гіпотезою.

Література: [3, 6].

Практичне заняття 9

ВИЗНАЧЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНОГО ОПОРУ МЕТОДОМ ВИБІГУ Й ЗА ДОПОМОГОЮ МОБІЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ

Мета роботи - закріпити знання та практичні навички по визначенню аеродинамічних показників колісних машин за допомогою датчиків прискорення.

9.1 Загальні положення

Визначення параметрів опору руху здійснюється шляхом рішення системи алгебраїчних рівнянь, отриманих з диференціального рівняння руху автомобіля при вибігу:

$$m_a \dot{V}_a = -m_a g \psi - k F V_a^2, \quad (9.1)$$

де m_a – загальна маса автомобіля;

$\dot{V}_a$ – лінійне прискорення автомобіля під час вибігу;

g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

ψ – сумарний коефіцієнт дорожнього опору: $\psi = f \pm i$;

f – коефіцієнт опору коченню коліс;

i – поздовжній ухил дороги;

k – фактор опору повітря (k – коефіцієнт опору повітря, F – мідель);

V_a – лінійна швидкість автомобіля.

$$\begin{cases} \dot{V}_{a_1} = -a_1 V_{a_1} - a_2 - a_3 V_{a_1}^2 - & \text{для моменту часу } t_1; \\ \dot{V}_{a_2} = -a_1 V_{a_2} - a_2 - a_3 V_{a_2}^2 - & \text{для моменту часу } t_2; \\ \dot{V}_{a_3} = -a_1 V_{a_3} - a_2 - a_3 V_{a_3}^2 - & \text{для моменту часу } t_3; \end{cases} \quad (9.2)$$

де a_1, a_2, a_3 – коефіцієнти, що відповідають середньому значенню $\bar{V}_a$ лінійної швидкості автомобіля на інтервалі часу $[t_1; t_3]$, тобто

$$\bar{V}_a = \frac{V_{a_1} + V_{a_2} + V_{a_3}}{3}.$$

$$a_1 = \frac{g}{\delta_{\text{виб}}} \left(f_0 \pm i + \frac{M_{\text{потр}}^c}{g \cdot m_a \cdot r_{\partial}} \right); \quad (9.3)$$

$$a_2 = \frac{K_1}{m_a \cdot \delta_{\text{виб}} \cdot r_{\partial}}; \quad (9.4)$$

$$a_3 = \frac{kF / m_a + f_o \cdot A \cdot g}{\delta_{\text{виб}}}. \quad (9.5)$$

Під час вибігу з виключеним зчепленням (відключеним двигуном) $\delta_{\text{виб}} = 0,97$. Рішення системи рівнянь дозволяє визначити коефіцієнти регресії:

$$a_1 = \frac{\dot{V}_{a_1} - \dot{V}_{a_2}}{V_{a_2} - V_{a_1}} - \frac{V_{a_2} + V_{a_1}}{V_{a_3} - V_{a_1}} \left(\frac{\dot{V}_{a_2} - \dot{V}_{a_3}}{V_{a_3} - V_{a_2}} - \frac{\dot{V}_{a_1} - \dot{V}_{a_2}}{V_{a_2} - V_{a_1}} \right); \quad (9.6)$$

$$a_2 = -\dot{V}_{a_1} + \frac{V_{a_2} \cdot V_{a_1}}{V_{a_3} - V_{a_1}} \left(\frac{\dot{V}_{a_2} - \dot{V}_{a_3}}{V_{a_3} - V_{a_2}} - \frac{\dot{V}_{a_1} - \dot{V}_{a_2}}{V_{a_2} - V_{a_1}} \right) - V_a \cdot \frac{\dot{V}_{a_1} - \dot{V}_{a_2}}{V_{a_2} - V_{a_1}}; \quad (9.7)$$

$$a_3 = \frac{1}{V_{a_3} - V_{a_1}} \left(\frac{\dot{V}_{a_2} - \dot{V}_{a_3}}{V_{a_3} - V_{a_2}} - \frac{\dot{V}_{a_1} - \dot{V}_{a_2}}{V_{a_2} - V_{a_1}} \right). \quad (9.8)$$

Коефіцієнт опору повітря:

$$k = \frac{0,97a_3 + f_o \cdot A \cdot g}{F} \cdot m_a. \quad (9.9)$$

Коефіцієнт обтічності:

$$C_x = \frac{2k}{\rho}, \quad (9.10)$$

де ρ - щільність повітря.

Коефіцієнт пропорційності між швидкістю V_a автомобіля й кінематичним моментом опору в трансмісії

$$k_1 = 0,97 \cdot a_2 \cdot m_a. \quad (9.11)$$

У тих випадках, коли диференціальне значення параметра A невідомо, рекомендується приймати $A = 7 \cdot 10^{-6} \text{ с}^2/\text{м}^2$.

9.2 Практична частина

Випробуваний автомобіль розганяють на рівній, горизонтальній ділянці дороги до швидкості $0,9 \cdot V_{\max}$ и виконують вибіг.

У процесі вибігу реєструються значення поздовжніх прискорень із кроком 0,02 с.

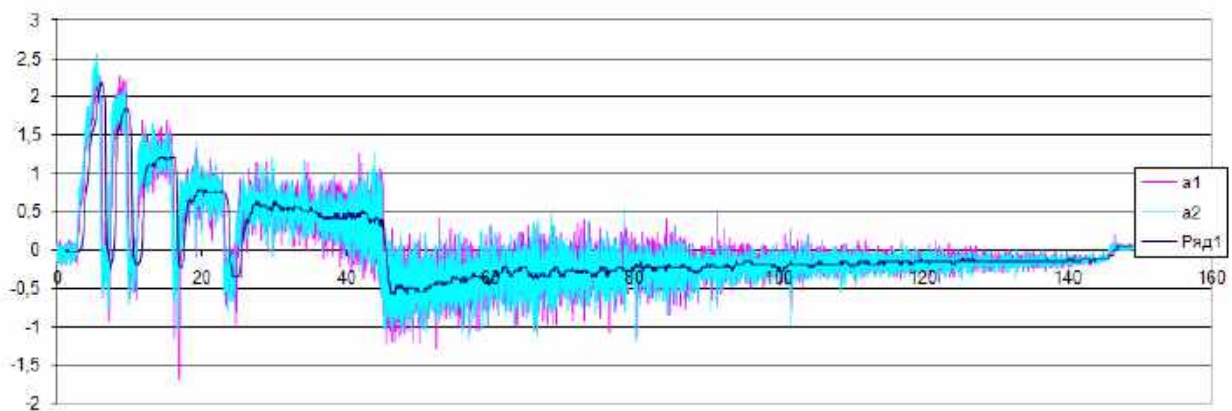


Рисунок 9.1 – Залежність прискорення автомобіля від часу руху

Методом інтегрування значень прискорень визначають швидкість руху автомобіля при вибігу.

Таблиця 9.1 - Фрагмент експериментальних даних, одержуваних за допомогою мобільного вимірювального комплексу

Час	При- ско- рення	Упо- віль- нення	Швид- кість км/год	Швид- кість м/с	a_3	K	C_x
55	-0,237	0,237	26,80	7,45	0,0003379	0,21796	0,3573
55,02	-0,2369	0,2369	26,79	7,44	0,0003381	0,21813	0,3575
55,04	-0,2368	0,2368	26,77	7,44	0,0003384	0,21829	0,3578
55,06	-0,2368	0,2368	26,75	7,43	0,0003386	0,21846	0,3581
55,08	-0,2367	0,2367	26,73	7,43	0,0003389	0,21863	0,3584

55,1	-0,2367	0,2367	26,72	7,42	0,0003391	0,21879	0,3586
55,12	-0,2366	0,2366	26,70	7,42	0,0003394	0,21896	0,3589
55,14	-0,2365	0,2365	26,68	7,41	0,0003397	0,21913	0,3592
55,16	-0,2365	0,2365	26,67	7,41	0,0003399	0,21929	0,3595
55,18	-0,2364	0,2364	26,65	7,40	0,0003402	0,21946	0,3597
55,2	-0,2364	0,2364	26,63	7,40	0,0003404	0,21963	0,3600
55,22	-0,2363	0,2363	26,62	7,39	0,0003407	0,21980	0,3603
55,24	-0,2362	0,2362	26,60	7,39	0,0003410	0,21996	0,3606
55,26	-0,2362	0,2362	26,58	7,38	0,0003412	0,22013	0,3608
55,28	-0,2361	0,2361	26,56	7,38	0,0003415	0,22030	0,3615
55,3	-0,2361	0,2361	26,55	7,37	0,0003417	0,22047	0,3613
55,32	-0,2360	0,2360	26,53	7,37	0,0003420	0,22064	0,361
55,34	-0,2359	0,2359	26,51	7,36	0,0003423	0,22081	0,3619
55,36	-0,2359	0,2359	26,50	7,36	0,0003425	0,22098	0,3622
55,38	-0,2358	0,2358	26,48	7,36	0,0003428	0,22114	0,3625
55,4	-0,2358	0,2358	26,46	7,35	0,0003430	0,22131	0,3628
55,42	-0,2357	0,2357	26,45	7,35	0,0003433	0,22148	0,3630
55,44	-0,2356	0,2356	26,43	7,34	0,0003436	0,22165	0,3633
55,46	-0,2356	0,2356	26,41	7,34	0,0003438	0,22182	0,3636
55,48	-0,2355	0,2355	26,39	7,33	0,0003441	0,22199	0,3639
55,5	-0,2355	0,2355	26,38	7,33	0,0003444	0,22216	0,3642

Знаючи час, значення швидкостей і прискорень, визначають параметр a_3 по залежності (9.8), рахують коефіцієнт опору повітря й коефіцієнт обтічності C_x . Отримані дані зводять у таблицю 9.1.

Отримані експериментальні значення аеродинамічних опорів представляються у вигляді графічної залежності коефіцієнта C_x (див. рис. 9.2) від швидкості руху автомобіля для зручності аналізу.

9.3 Завдання

Використовуючи експериментальні значення ЗАЗ - 1103 (рис. 9.3), визначити зміну швидкості руху автомобіля протягом його вибігу, рахуючи те, що вибіг виконано зі швидкості 100 км/год.

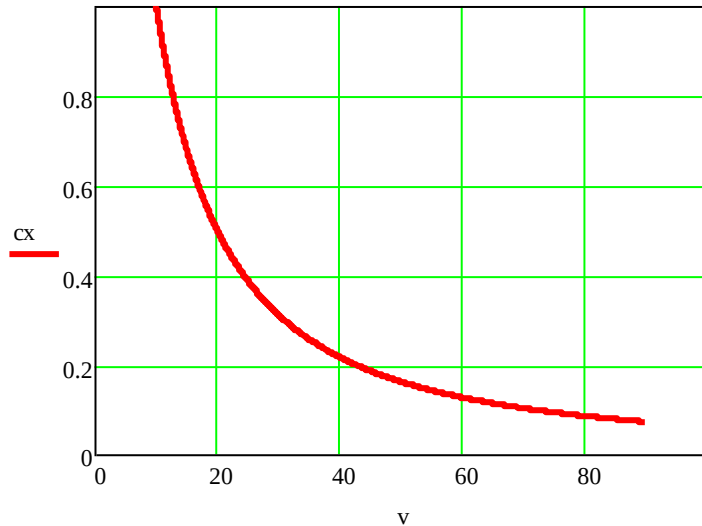


Рисунок 9.2 – Зміна швидкості автомобіля ЗАЗ - 1103 (“Славута”) у процесі його вибігу

Уповільнення, м/с^2

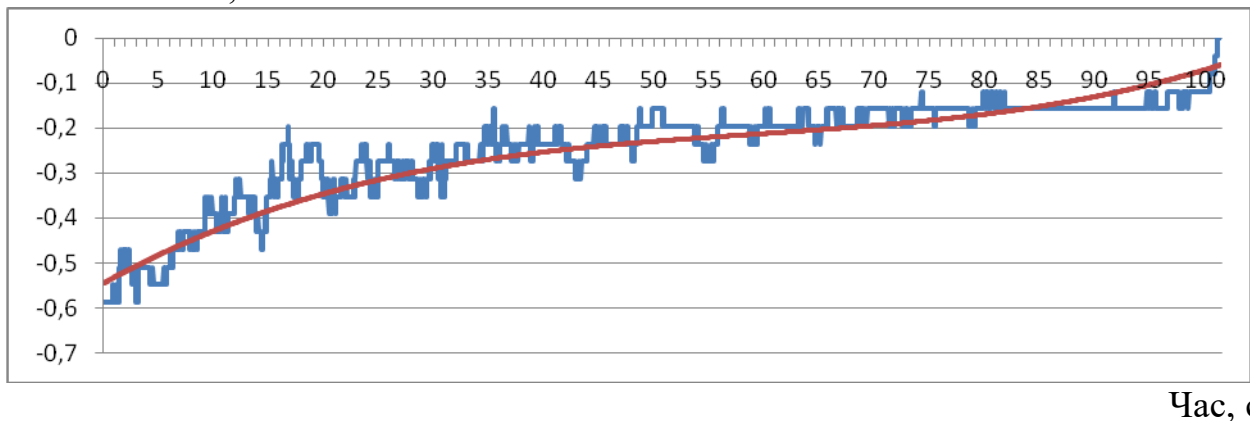


Рисунок 9.3 – Уповільнення автомобіля ЗАЗ - 1103 (“Славута”)

Контрольні запитання

1. Аеродинамічний опір і витрата палива.
2. Коефіцієнт обтічності автомобіля.
3. Визначення показників обтічності автомобіля в аеродинамічних трубах.
4. Дорожній метод визначення аеродинамічних показників колісних машин.

Література: [3, 5].

Практичне заняття 10

ВИЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТІ Й ККД АВТОМОБІЛЯ

Мета роботи - закріпити знання та практичні навички по визначенню потужності й ККД автомобіля за допомогою датчиків прискорення.

10.1 Загальні положення

Для визначення запасу потужності двигуна, необхідного для реалізації бажаних динамічних властивостей автомобіля (приємистісті), необхідно скласти рівняння динаміки (рівняння силового “дисбалансу”)

$$\dot{V}_a = \frac{1}{m_a \delta_{об}} (P_k - \sum P_c), \quad (10.1)$$

де $\delta_{об}$ - коефіцієнт урахування обертових мас двигуна й трансмісії, уведений для урахування збільшення сили, затрачуваної на розгін автомобіля за рахунок розгону обертових мас двигуна й трансмісії.

Потужність двигуна, затрачувана на розгін

$$N_p = m_a \cdot V_a \cdot \dot{V}_a. \quad (10.2)$$

Поздовжні прискорення автомобіля ЗАЗ-1103, отримані експериментально, а також швидкість його руху наведені на рис. 10.1-10.2.

Визначення потужності двигуна можливо здійснити при русі автомобіля. Рівняння руху автомобіля

$$m_a \dot{V}_a = P_k - m_a g \psi - k F V_a^2. \quad (10.3)$$

Ефективна потужність визначається в такий спосіб

$$N_e = m_a V_a (\dot{V}_a b_1 + b_2 + b_3 V_a + b_4 V_a^2), \quad (10.4)$$

де b_1, b_2, b_3, b_4 – коефіцієнти, обумовлені при вимірах у процесі руху автомобіля

$$b_1 = \delta_p = 1 + \frac{I_{\text{пр}}}{m_a \cdot r_{\partial}^2}; \quad (10.5)$$

δ_p - коефіцієнт урахування обертових мас трансмісії й двигуна автомобіля при розгоні;

$$b_2 = a_1 \cdot \delta_{\text{виб}}; \quad (10.6)$$

$$b_3 = a_2 \cdot \delta_{\text{виб}}; \quad (10.7)$$

$$b_4 = a_3 \cdot \delta_{\text{виб}}; \quad (10.8)$$

$\delta_{\text{виб}}$ - коефіцієнт урахування обертових мас трансмісії при вибігу автомобіля, $\delta_{\text{виб}} = 0,97$;

a_1, a_2, a_3 – коефіцієнти регресії (див. практичну роботу №9, залежності (9.6) -(9.8))

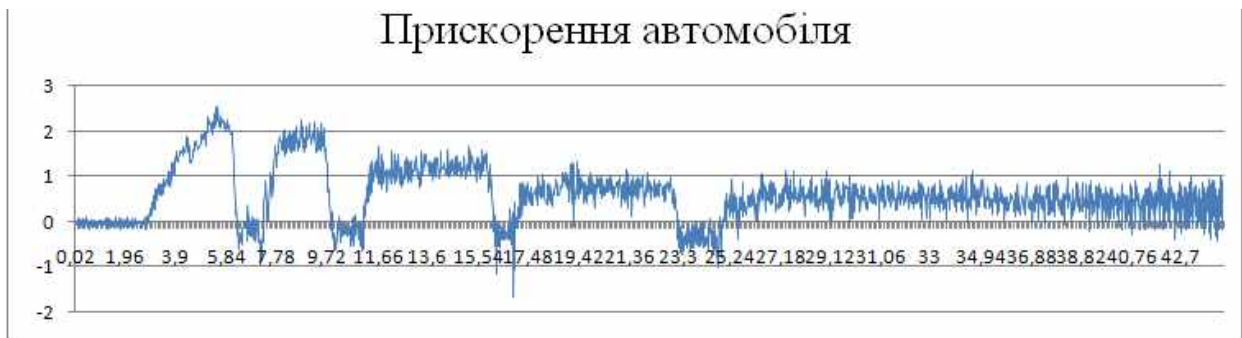


Рисунок 10.1 – Поздовжні прискорення автомобіля ЗАЗ -1103, отримані експериментально



Рисунок 10.2 – Швидкість руху автомобіля ЗАЗ -1103

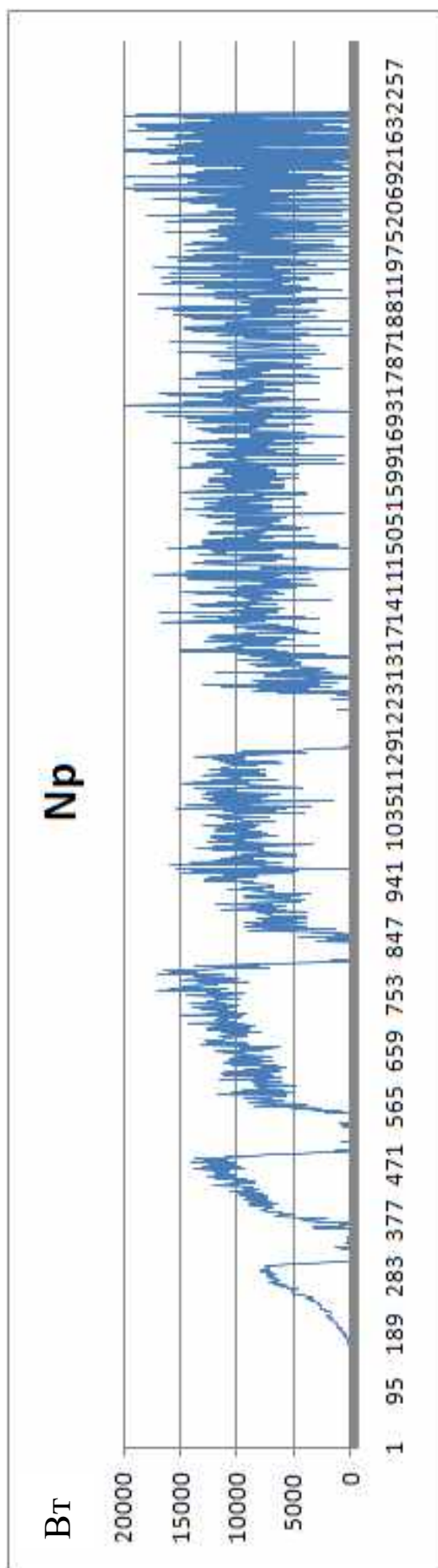


Рисунок 10.3 – Потужність двигуна автомобіля ЗАЗ -1103, затрачувана на розгін

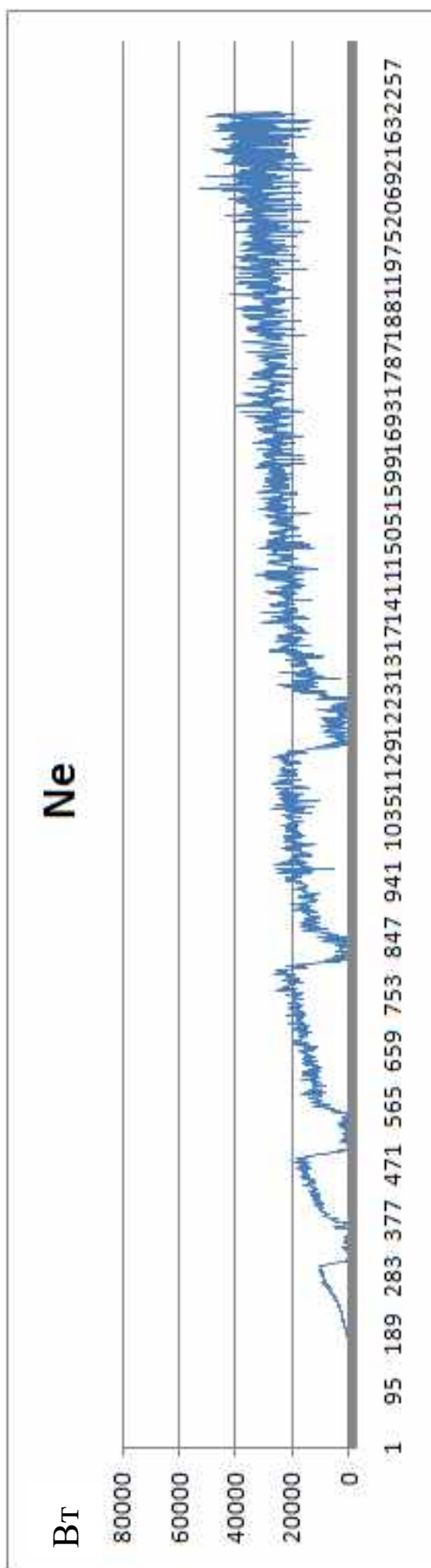


Рисунок 10.4 – Потужність двигуна, затрачувана на рух автомобіля ЗАЗ -1103

$$\eta_{\text{мит}} = \frac{N_p}{N_e} = \frac{\dot{V}_a}{\dot{V}_a b_1 + b_2 + b_3 V_a + b_4 V_a^2}. \quad (10.9)$$

У такий спосіб можна записувати як потужність двигуна (роботу двигуна), так і ККД автомобіля.

10.2 Завдання

Знаючи потужність двигуна автомобіля ЗАЗ - 1103, затрачувану на розгін (рис. 10.3), а також на його рух (рис. 10.4), виконати побудову графіка залежності миттєвого ККД автомобіля від його швидкості.

Контрольні запитання

1. Поняття приємності автомобіля.
2. Як визначається потужність двигуна, затрачувана на розгін.
3. Поняття ефективної потужності.
4. Поняття ККД автомобіля.

Література: [1, 6, 7].

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лебедев А. Т, Лебедев С. А., Коробко А. І. Кваліметрія та метрологічне забезпечення випробувань тракторів. Харків : Міськдрук, 2018. 394 с.
2. Автомобіль вантажний / Сучасні конструкції: підручник. А. Т. Лебедев, В. Д. Мигаль, І. О. Шевченко, М. Л. Шуляк; За ред. проф. А.Т. Лебедева. Х.: ХНТУСГ; Вид-во «Майдан», 2020. – 363 с. ISBN 978-966-372-729-5.
3. Мехатронні системи автомобілів і тракторів: підручник. Р. В. Антощенко, О. В. Нанка, А. Т. Лебедев, В. М. Антощенко, В. М. Кісь, І. В. Галич. Харків: ХНТУСГ, 2020 р. 248 с.
4. Трактори та автомобілі. Теорія двигунів внутрішнього згоряння: Підручник / М. Г. Сандомирський та ін. Харків: ХНТУСГ, 2021. 284 с.
5. Теорія технічної експлуатації автомобілів: навч. посіб. / В. Д. Мигаль, А. Т. Лебедев, М. Л. Шуляк. Харків: Вид-во «Майдан», 2019. 276 с.
6. Експлуатаційні властивості та надійність тракторів: навч. посіб. / В. Д. Мигаль, М. Л. Шуляк. Харків: Вид-во «Майдан», 2021. 262 с.
7. Лебедев А.Т. Трактори та автомобілі. Ч. 3.Шасі: Навч. посібник / А.Т. Лебедев, В.М. Антощенко, М.Ф. Бойко та ін.; За ред. проф. А.Т. Лебедева. К.: Вища освіта, 2004. 336 с.
8. Антощенко В.М. Трактори та автомобілі. Ч.4. Робоче, додаткове і допоміжне обладнання // Навчальний посібник / В.М. Антощенко, М.Ф. Бойко, А.Т. Лебедев та інш.; За ред. проф. А.Т. Лебедева. Харків, 2006. 164 с
9. Самородов В. Б., Бондаренко А. І., Кожучко А. П., Пелипенко Є. С., Мітцель М. О. Перспективні трансмісії колісних тракторів. Харків : Вісник НТУ «ХПІ». № 10 (1053). 2014. С. 3-10
- 10.ДСТУ ISO 789-4:2005 Сільськогосподарські трактори. Методики випро-бування. Частина 4. Вимірювання димності відпрацьованих газів (ISO 789-4:1986, IDT). – Введ. 26.12.2005.
- 11.ДСТУ 3649-97. Засоби транспортні дорожні. Експлуатаційні вимоги безпеки до технічного стану та методи контролю (62279).Київ: Держстандарт України, 1998. –18 с.

Подригало Михайло Абович
Шуляк Михайло Леонідович
Лебедев Анатолій Тихонович

ВИПРОБУВАННЯ АВТОТРАКТОРНОЇ ТЕХНІКИ

**Методичні вказівки та рекомендації
щодо вивчення лабораторних занять**

Суми, РВВ, Сумський національний аграрний університет,
вул.Г.Кондратьєва,160

Підписано до друку: червень, 2023 р. Формат А5: Гарнітура Times New
Roman

Тираж: 100 примірників Замовлення _____ Ум. друк. арк.
