

УДК 629.113.07

## ПРО РОЗРАХУНКОВИЙ СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ВИСОТИ КООРДИНАТИ ЦЕНТРУ ВАГИ ТИПОВИХ АВТОМОБІЛІВ

Д.М. Леонт'єв, ст. наук. співроб., к.т.н.,  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

*Анотація.* Запропоновано метод визначення навантаження на задні колеса автомобіля під час встановлення його під кутом до опорної поверхні у горизонтальній площині. Проведено теоретичне порівняння результатів розрахунку координати центру ваги автомобіля з експериментальними даними.

*Ключові слова:* маса автомобіля, довжина бази, центр маси, висота підставки.

## О РАСЧЕТНОМ СПОСОБЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫСОТЫ КООРДИНАТЫ ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ ТИПИЧНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Д.Н. Леонтьев, ст. науч. сотр., к.т.н.,  
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

*Аннотация.* Предложен метод определения нагрузки на задние колеса автомобиля при установке автомобиля под углом к опорной поверхности в горизонтальной плоскости. Проведено теоретическое сравнение результатов расчета координат центра тяжести автомобилей с экспериментальными данными.

*Ключевые слова:* масса автомобиля, длина базы, центр тяжести, высота подставки.

## ABOUT THE CALCULATED METHOD OF DETERMINING THE COORDINATES OF THE CENTER OF WEIGHT OF TYPICAL VEHICLES

D. Leontiev, Sr. Researcher, Ph. D. (Eng.),  
Kharkov National Automobile and Highway University

*Abstract.* Based on the analysis of experimental data there was provided a method for determining loading on the rear wheels when the front wheels are raised. By comparing the results of calculations and experiments, it was revealed that the calculation error does not exceed 5 %. A smaller error for the actual weighted vehicles.

*Key words:* vehicle, weight, base, mass, height, coordinate.

### Вступ

Під час руху на автомобіль діють зовнішні сили, які в багатьох випадках визначають його безпеку. Їх можна поділити на сили, що рухають автомобіль, і сили опору. Відомо, що на деякі з цих сил впливає розміщення центру ваги транспортного засобу, і особливо розміщення його по висоті, тому що це впливає на стійкість автомобіля, який планується спроектувати.

Як відомо з курсу фізики, сила тяжіння завжди прикладена до центру ваги, який розміщеного в межах автомобіля на якійсь висоті від рівня дороги. Визначення ймовірного місця розташування центру ваги є непростю задачею, яка вирішується за рахунок почергового зважування автомобіля під різними кутами несучої частини, тому виникає питання: чи можливо визначити приблизно координату центру ваги, використовуючи тільки розрахункові методи.

### Аналіз публікацій

Розташування центру ваги спорядженого автомобіля в більшій мірі залежить від його комплектації та компоувальної схеми, тобто від взаємного розташування двигуна, трансмісії, рами (кузова), кабіни, вантажної платформи, а навантаженого автомобіля – ще й від розміщення та виду вантажу [1].

Залежно від призначення автомобіля його двигун може бути розміщений відносно рами декількома способами: вздовж або поперек. Також двигун може бути розташований попереду рами, посередині та в задній її частині. При цьому спосіб встановлення двигуна на раму по вертикалі може відрізнятися: так, центр ваги двигуна може бути розміщений над рамою, в межах рами та нижче центру ваги рами в межах розташування підвіски та рушіїв автомобіля [2].

Кожен сучасний автомобіль має трансмісію, яка за характером передачі крутного моменту може бути механічною, гідрооб'ємною, електричною й комбінованою. Найбільш розповсюдженою є механічна трансмісія, яка передає крутний момент на одну або більше осей. Центр ваги значної кількості елементів трансмісії знаходиться нижче центру ваги рами або кузова автомобіля (винятком є спортивні автомобілі, центр ваги кузова яких знаходиться в межах підвіски та рушіїв) [3].

Рама або кузов автомобіля є елементом, на який закріплюються всі основні агрегати, системи та інше навісне обладнання. Центр ваги рами, як і кузова, знаходиться над центром ваги підвіски та рушіїв (виключенням є тільки рами та кузова спортивних автомобілів) [4].

Кабіна як частина структури автомобіля теж має свій центр ваги та може розміщатися як над рівнем рами, так і в її межах, змінюючи центр ваги всього автомобіля. В легкових автомобілях кабіни як такої немає, функції кабіни виконує кузов, що дозволяє понизити центр ваги і підвищити їх стійкість за більш високих швидкостей руху [5].

Наявність вантажної платформи в комплектації теж вносить свої корективи в положення центру ваги автомобіля. Так, розташування вантажної платформи в задній частині автомобіля переміщує центр ваги ближче до задніх коліс, а в передній – до передніх [6].

Залежно від типу вантажу, що транспортується на автомобілі, та його об'єму, центр ваги автомобіля буде міняти своє положення. За умовою, що вантаж низький, але важкий, він буде сильніше змінювати центр ваги автомобіля, аніж високий і легкий вантаж. Якщо центр ваги вантажу розмістити не в центрі ваги спорядженого автомобіля, то навантаження від вантажу буде розподілено нерівномірно, що призведе до зміщення центру ваги автомобіля [7].

Аналіз літературних джерел показав, що на розташування центру ваги впливає чимало факторів, які у сукупності визначають параметри керованості та стійкості автомобіля під час його експлуатації.

### Мета та постановка завдання

Таким чином, метою цієї роботи є дослідження зміни навантажень на колеса транспортного засобу при нахилі його несучої частини відносно горизонтальної площини опорної поверхні та його вплив на висоту розташування центру ваги автомобіля.

### Теорія визначення висоти розташування координати центру ваги автомобіля

В теорії автомобіля координату центру ваги визначають експериментальним методом за допомогою зважування автомобіля.

Зазвичай для визначення координати центру ваги автомобіля в літературі [1] наводиться така формула:

$$h_g = \frac{L \cdot (G_{2'зв} - G_2)}{G_a \cdot \tan(\alpha)} + r_{ст}, \quad (1)$$

де  $h_g$  – висота розташування центру ваги автомобіля від опорної поверхні, м;  $L$  – довжина бази автомобіля, м;  $G_a$  – повна вага автомобіля, м;  $r_{ст}$  – статичний радіус колеса автомобіля, м;  $\alpha$  – кут нахилу автомобіля до горизонтальної площі, град;  $G_2$  – навантаження на задні колеса автомобіль при горизонтальному положенні, Н;  $G_{2'зв}$  – навантаження на задні колеса автомобіль у нахиленому стані відносно горизонтальної площини, Н.

Формула (1) [2] може бути записана і в іншому вигляді:

$$h_g = \frac{L \cdot \sqrt{L^2 - (h_1 - r_{ct})^2} \cdot (G'_{2зв} - G_2)}{G_a \cdot (h_1 - r_{ct})} + r_{ct}, \quad (2)$$

де  $h_1$  – висота підставки, м.

При визначенні координати центру ваги за залежностями (1) або (2) необхідно знати навантаження на вісь, що зважується ( $G'_{2зв}$ ), під час встановлення автомобіля під кутом відносно горизонтальної площини. Тому постає питання, чи можна отримати значення цієї ваги, не зважуючи автомобіль під кутом відносно горизонтальної площини, лише за рахунок розрахункових методів.

Точної аналітичної залежності мабуть не існує, але якщо взяти до уваги деякі припущення, можна записати емпіричну залежність. Така залежність повинна відображати характер зміни навантаження на осі автомобіля при його нахилі відносно горизонтальної площини.

В роботі як припущення взято вираз (3), який отримано на основі аналізу експериментальних даних, наведених в табл. 1. Вираз (3) характеризує зміну навантаження на задні колеса ( $N_2$ ) автомобіля в момент початку його руху з місця на ухилі дороги ( $\alpha$ )

$$N_2 = G_2 \cos \frac{\alpha}{A}, \quad (3)$$

де  $A$  – коефіцієнт, який залежить від геометричних параметрів транспортного засобу.

Коефіцієнт  $A$  можна визначити за емпіричною залежністю

$$A = 1 - \cos \left( \frac{1}{\arctan \left( \frac{H}{L} \right)} \right), \quad (4)$$

де  $H$  – середнє значення розташування крайніх верхніх частин елементів транспортного засобу (за відсутніх даних про розташування крайніх верхніх частин елементів транспортного засобу можна взяти значення  $H$  рівним висоті транспортного засобу).

Взявши припущення (3) та (4) та склавши рівняння моментів відносно переднього колеса автомобіля з використанням залежності (1), отримаємо залежність виду

$$G'_{2розп} = B \cdot G_2 \cdot \left( 2 - \cos \frac{\alpha}{A} + \frac{r_{ct}}{a} \tan(\alpha) \right). \quad (5)$$

де  $a$  – відстань від проекції центру ваги транспортного засобу до передньої його осі, м;  $B$  – коефіцієнт, який враховує ступінь зниження середнього значення розташування крайніх верхніх частин елементів транспортного засобу по відношенню до підвіски автомобіля.

Коефіцієнт  $B$  становить:

- для швидкісних автомобілів  $B=0,93$ ;
- для легкових автомобілів та автобусів  $B=1$ ;
- для вантажних автомобілів  $B=1,01$ .

Отримана залежність дозволяє розрахувати центр ваги автомобіля, не вдаючись до зважування осей транспортного засобу при нахилі автомобіля відносно опорної поверхні.

Для того щоб довести працездатність методу знаходження центру ваги за допомогою формули (5), було проведено стендові дослідження на макетних зразках у лабораторії кафедри автомобілів ХНАДУ та натурні дослідження на автомобілях лабораторії швидкісних автомобілів (ЛША) ХНАДУ.

Також на основі аналізу науково-технічної літератури були співставлені розрахункові дані, отримані за допомогою залежності (5), зі значеннями координати центру ваги, наведені в літературі [1, 4–8] для окремих автомобілів.

### Методика проведення експериментального дослідження

На стенді з вагами було встановлено два різних макетних зразки автомобіля (вантажний автомобіль вагою 60 кг та легковий автомобіль вагою 0,44 кг), було визначено навантаження на осі цих транспортних засобів і всі їх геометричні параметри. Після чого передні осі автомобілів були по черзі встановлені на підставку висотою  $h_1$  і зафіксовані навантаження на задні осі в нахиленому стані автомобіля відносно горизонтальної площини (згідно схеми, наведеної на рис. 1).

Макет вантажного автомобіля був також зважений в завантаженому стані. Координату центру ваги макетних автомобілів було розраховано за залежністю (1). Результати розрахунків за залежністю (2) не відрізняються від результатів, отриманих за залежністю (1).

Таблиця 1 Результати експериментальних та теоретичних досліджень

№	Марка автомобіля	$G_{a1}, H$		$G_2, H$		$L$	$a$		$H$	$r_{ст}$	$\alpha_{зам}$ град
		спор.	заван.	спор.	заван.		спор.	заван.			
Розрахунки за даними, які наведені в науково-технічній літературі та довіднику ННІАТ											
1	ЗАЗ-968А	8240	11380	4905	5788	2,16	1,286	1,099	1,425	0,317	---
2	ВАЗ-2101	9369	13293	7259	7259	2,42	1,878	1,324	1,440	0,28	---
3	ВАЗ-2103	10104	14028	4650	7593	2,42	1,116	1,312	1,440	0,28	---
4	Москвич 2137	10742	14666	4758	7603	2,4	1,063	1,244	1,440	0,28	---
5	Москвич -412ИЭ	10251	14175	4807	7652	2,42	1,137	1,308	1,400	0,28	---
6	ГАЗ-24 Волга	13930	17854	6524	9320	2,8	1,311	1,462	1,490	0,33	---
7	ГАЗ-13	20601	12802	9516	13293	3,25	1,501	3,375	1,620	0,37	---
8	ЗИЛ-114	30264	35414	15451	18884	3,88	1,981	2,069	1,500	0,35	---
9	УАЗ-469	16187	24035	7456	14028	2,38	1,096	1,389	2,050	0,36	---
10	УАЗ-452В	18345	26389	8240	13538	2,3	1,033	1,180	2,090	0,36	---
11	МАЗ-5335	65972	146660	32373	98100	3,55	1,742	2,375	2,900	0,55	---
12	МАЗ-53352	73085	156960	31883	98100	2,65	1,154	1,653	2,520	0,55	---
13	УРАЛ-375 Д	76518	127775	41104	90497	3,53	1,894	2,497	2,715	0,58	---
14	УРАЛ-377	70877	146660	37867	107910	3,53	1,883	2,594	2,680	0,58	---
15	МАЗ-500 А	64746	145433	31883	98100	3,3	1,625	2,226	2,925	0,52	---
16	ЗАЗ -968М	7848	11772	4905	7259	2,19	1,369	1,351	1,093	0,21	---
17	ВАЗ -2106	10153	14077	4709	7632	2,42	1,124	1,314	1,440	0,21	---
18	Москвич -412ИЭ	9810	13734	4513	7554	2,4	1,104	1,320	1,500	0,21	---
19	ГАЗ -24-10	13734	17560	6426	9172	2,8	1,310	1,463	1,476	0,21	---
20	ГАЗ -24-12	15107	19777	7995	10948	2,8	1,482	1,550	1,476	0,21	---
21	ГАЗ -53-12	31392	77009	17315	58615	3,7	2,041	2,816	2,220	0,4	---
22	ГАЗ -3307	31392	77009	17315	58615	3,77	2,079	2,870	2,350	0,4	---
23	ГАЗ -66-11	33746	56604	12900	29970	3,3	1,261	1,747	2,490	0,4	---
24	ЛуАЗ -1302	9516	13440	3630	6573	1,8	0,687	0,880	1,115	0,21	---
25	УАЗ -31512	16481	21092	7456	12066	2,38	1,077	1,362	1,990	0,36	---
26	УАЗ -3151	17266	24329	8044	14323	2,38	1,109	1,401	2,050	0,38	---
27	ЗИЛ -341410	40957	102024	21288	77401	3,6	1,871	2,731	2,400	0,5	---
28	ЗИЛ -433100	53955	115022	24525	78480	4,5	2,045	3,070	2,480	0,5	---
29	ЗИЛ -133ГЯ	74654	174961	42379	131209	5,31	3,014	3,982	2,405	0,5	---
30	ЗИЛ -157КД	49541	80442	28057	56211	4,23	2,393	2,952	2,360	0,45	---
31	ЗИЛ -131Н	60184	99915	33207	69896	3,98	2,193	2,781	2,510	0,5	---
32	КАЗ -4540	64844	120271	22367	60233	3,4	1,173	1,703	2,990	0,5	---
Розрахунки за даними, наданими заводом УАЗ											
33	3160	19718	24819	10055	14126	2,4	1,224	1,366	1,195	0,36	---
34	3163	20895	25997	9614	14077	2,76	1,270	1,495	1,190	0,36	---
35	315195(st)	16481	23054	7456	13587	2,38	1,077	1,403	1,190	0,36	---
36	315195(ht)	17952	24525	8240	14715	2,38	1,092	1,428	1,190	0,36	---
37	31512(st)	16481	23054	7456	13587	2,38	1,077	1,403	2,050	0,36	---
38	31512(ht)	17952	24525	8240	14715	2,38	1,092	1,428	2,050	0,36	---
39	3151(st)	17266	24329	8044	14323	2,38	1,109	1,401	2,050	0,38	---
40	3151(ht)	18737	25800	8829	15451	2,38	1,121	1,425	2,050	0,38	---
41	3153	18443	25506	8927	14911	2,76	1,336	1,614	2,025	0,36	---
42	3159	20405	27468	9712	15598	2,76	1,314	1,567	2,100	0,38	---
43	2206	18982	27272	8142	14225	2,3	0,987	1,200	2,064	0,36	---
44	3962	18688	24525	7750	12341	2,3	0,954	1,157	2,100	0,36	---
45	3741	17658	26683	7063	14028	2,3	0,920	1,209	2,100	0,36	---
46	3303	16971	25997	6377	14028	2,3	0,864	1,241	2,355	0,36	---
47	3909	18639	27664	7456	14126	2,3	0,920	1,174	2,100	0,36	---
48	33094	19424	29921	7554	15990	2,55	0,992	1,363	2,400	0,36	---
49	39095	19228	29921	6867	15990	2,55	0,911	1,363	2,400	0,36	---
50	33036	17952	29921	6475	15990	2,55	0,920	1,363	2,355	0,36	---
51	2360	19914	26978	9123	15304	3	1,374	1,702	1,970	0,36	---
52	2363	21288	28351	9859	16137	3	1,389	1,708	2,000	0,36	---
Розрахунки за даними, отриманими у стендових умовах (з урахуванням звітів)											
53	КамАЗ 5511	9050	22200	5200	16700	3,5	2,011	2,633	2,708	0,48	---
54	Модель формули	0,44	---	0,26	---	0,17	0,100	---	0,100	0,03	15,15
55	Модель вантажівки завантажена вздовж	60,40	86,15	21,90	43,06	0,44	0,160	0,220	0,490	0,092	15,15
56	Модель вантажівки завантажена у поперек				39,1			0,200	0,610	0,092	15,15
Розрахунки за даними, отриманими у стендових умовах (швидкісні автомобілі ХНАДУ)											
57	ХАДІ 31	5052	5572	3178	3375	2,58	1,623	1,563	0,900	0,29	20,42
58	ХАДІ 33	5121	5925	3218	3541	2,55	1,600	1,522	0,860	0,29	20,69
59	ЕСТОНІЯ 25	4866	5670	3100	3424	2,6	1,656	1,570	0,880	0,29	20,25
60	ЕСТОНІЯ 21	4699	5297	2914	3080	2,38	1,473	1,381	0,780	0,29	22,27

Закінчення табл. 1

№	$\alpha_{завд}$ , град	$G'_{2зв}$		$G'_{2розр}$		$h_g$ спор			$h_g$ заван		
		спор.	заван.	спор.	заван.	при $G'_{2зв}$	при $G'_{2розр}$	$\Delta$ , %	при $G'_{2зв}$	при $G'_{2розр}$	$\Delta$ , %
Розрахунки за даними, наведеними у науково технічній літературі та довіднику ННІАТ											
1	15	---	---	5357,0	6386,4	0,556	0,759	26,8	0,564	0,741	23,9
2	15	---	---	7693,1	7812,3	0,562	0,694	19,0	---	0,651	---
3	15	---	---	5061,4	8187,5	0,560	0,651	14,0	0,581	0,666	12,8
4	15	---	---	5197,0	8225,6	0,601	0,649	7,4	0,617	0,663	7,0
5	15	---	---	5220,1	8242,6	0,562	0,648	13,2	0,596	0,660	9,7
6	15	---	---	7074,0	10040,3	0,552	0,747	26,1	0,62	0,756	18,0
7	15	---	---	10269,7	13865,1	0,550	0,809	32,0	0,56	0,907	38,3
8	15	---	---	16321,1	19910,3	0,621	0,763	18,7	0,628	0,767	18,1
9	15	---	---	8481,2	15695,0	---	1,371	---	0,769	1,411	45,5
10	15	---	---	9470,5	15399,7	0,705	0,940	25,0	0,83	0,970	14,4
11	15	---	---	36519,1	108441,2	---	1,386	---	---	1,487	---
12	15	---	---	37921,3	112876,3	---	1,369	---	---	1,482	---
13	15	---	---	46036,5	99553,9	1,270	1,431	11,3	1,5	1,515	1,0
14	15	---	---	42385,3	118335,6	1,415	1,422	0,5	1,81	1,518	16,1
15	15	---	---	36280,6	109353,0	1,050	1,359	22,7	1,45	1,475	1,7
16	15	---	---	5175,9	7664,3	0,574	0,492	14,3	0,572	0,491	14,1
17	15	---	---	5041,1	8115,5	0,536	0,506	5,6	0,556	0,521	6,4
18	15	---	---	4846,5	8049,6	0,538	0,515	4,3	0,561	0,533	4,9
19	15	---	---	6803,0	9670,1	0,540	0,497	7,9	0,554	0,506	8,6
20	15	---	---	8425,0	11518,3	0,562	0,507	9,7	0,568	0,511	10,0
21	15	---	---	18587,2	62074,9	1,033	0,960	7,1	1,121	1,020	9,0
22	15	---	---	18603,4	62145,4	1,041	0,978	6,1	1,133	1,045	7,8
23	15	---	---	14457,3	32879,2	0,973	0,968	0,5	1,039	1,033	0,6
24	15	---	---	4009,0	7141,1	0,525	0,478	9,0	0,555	0,494	11,0
25	15	---	---	8462,0	13468,8	0,881	0,902	2,4	0,924	0,951	2,8
26	15	---	---	9164,1	16045,8	0,921	0,951	3,2	0,966	1,004	3,8
27	15	---	---	23381,2	83267,5	1,249	1,187	5,0	1,363	1,273	6,6
28	15	---	---	26557,2	83267,3	1,223	1,133	7,4	1,335	1,199	10,2
29	15	---	---	44762,1	137169,2	1,275	1,133	11,2	1,363	1,175	13,8
30	15	---	---	29975,3	59517,3	1,162	1,062	8,6	1,222	1,099	10,1
31	15	---	---	36018,2	74911,7	1,272	1,193	6,2	1,345	1,245	7,5
32	15	---	---	26061,6	68041,7	1,188	1,223	2,9	1,273	1,324	3,8
Розрахунки за даними, наданими заводом УАЗ											
33	15	---	---	10989,1	15322,5	0,780	0,784	0,5	0,885	0,792	10,5
34	15	---	---	10448,5	15138,9	0,795	0,771	3,0	0,915	0,781	14,7
35	15	---	---	8229,2	14713,8	0,755	0,777	2,8	0,85	0,794	6,6
36	15	---	---	9084,8	15917,6	0,770	0,778	1,0	0,87	0,796	8,6
37	15	---	---	8485,9	15181,5	0,755	0,915	17,5	0,85	0,974	12,8
38	15	---	---	9368,5	16424,1	0,770	0,918	16,1	0,87	0,979	11,1
39	15	---	---	9164,1	16045,8	0,810	0,951	14,8	0,895	1,004	10,9
40	15	---	---	10049,1	17290,9	0,830	0,953	12,9	0,925	1,008	8,3
41	15	---	---	9870,5	16301,7	0,785	0,887	11,5	0,895	0,922	2,9
42	15	---	---	10808,8	17166,4	0,830	0,929	10,6	0,925	0,963	4,0
43	15	---	---	9372,8	16127,1	0,860	0,916	6,2	1,01	0,959	5,1
44	15	---	---	8963,5	14054,1	0,850	0,917	7,4	0,96	0,960	0,0
45	15	---	---	8195,6	15925,5	0,810	0,910	11,0	0,88	0,970	9,3
46	15	---	---	7543,3	16119,6	0,830	0,950	12,6	0,95	1,051	9,6
47	15	---	---	8650,9	16070,2	0,830	0,910	8,8	0,92	0,963	4,5
48	15	---	---	8736,9	18071,3	0,810	0,940	13,8	0,94	1,022	8,0
49	15	---	---	8002,0	18071,3	0,810	0,922	12,1	0,94	1,022	8,0
50	15	---	---	7522,2	18032,1	0,810	0,915	11,5	0,94	1,009	6,9
51	15	---	---	9999,1	16566,1	0,820	0,852	3,8	0,94	0,884	6,0
52	15	---	---	10807,2	17480,6	0,795	0,859	7,4	0,915	0,890	2,7
Розрахунки за даними, отриманими у стендових умовах (з урахуванням звітів)											
53	15	---	---	5729,7	18693,3	0,960	1,244	22,9	1,900	1,653	13,0
54	15,15	0,26	---	0,29	---	0,060	0,068	11,2	---	---	---
55	15,15	27,64	52,16	27,22	51,68	0,246	0,235	4,6	0,264	0,255	3,5
56	15,15		49,46		49,14				0,287	0,281	2,1
Розрахунки за даними, отриманими у стендових умовах (швидкісні автомобілі ХНАДУ)											
57	20,42	3188,3	3384,5	3196,6	3401,9	0,298	0,310	3,7	0,297	0,319	6,8
58	20,69	3256,9	3600,3	3242,5	3580,1	0,337	0,318	5,7	0,352	0,329	6,5
59	20,25	3129,4	3492,4	3111,0	3447,0	0,328	0,301	8,1	0,37	0,314	15,2
60	22,27	2972,4	3168,6	2975,4	3160,8	0,358	0,361	1,0	0,382	0,373	2,3

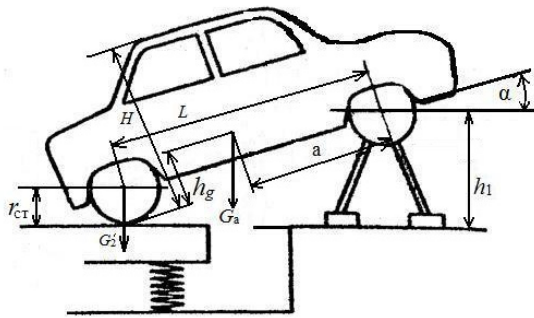


Рис. 1. Схема зважування автомобіля під кутом відносно горизонтальної площини

Працівниками ЛША ХНАДУ Савченком Є.Л. та Чернишовим О.О. були виконані зважування швидкісних автомобілів ХАДІ-31, ХАДІ-33, ЕСТОНІЯ-25, ЕСТОНІЯ-21. Особливістю конструкцій швидкісних автомобілів є те, що центр їх ваги розташований в межах підвіски автомобіля. При зважуванні автомобілів визначалася вага, яка припадає на ліві та праві колеса однієї осі швидкісного автомобіля, розробленого в ЛША ХНАДУ.

Результати розрахунків та експериментальних досліджень зведені до табл. 1 для зручності проведення аналізу використання залежності (5) задля визначення зміни ваги розрахунковим методом. Під час розрахунків припущення, що середнє значення розташування крайніх верхніх частин елементів транспортного засобу дорівнює максимальній висоті транспортного засобу.

У табл. 1 прийнято такі позначення:  $\alpha_{\text{зам}}$  – кут, який був реально замірваний на стенді;  $\alpha_{\text{зад}}$  – кут, який задавався при розрахунках;  $G'_{2\text{розр}}$  – навантаження на задні колеса автомобіль в нахиленому стані відносно горизонтальної площини (отримане розрахунковим методом за формулою (5));  $h_{g\text{ спор}}$  – висота розташування центру ваги автомобіля в спорядженому стані;  $h_{g\text{ заван}}$  – висота розташування центру ваги автомобіля в завантаженому стані;  $\Delta$  – різниця у відсотках між розрахованим значенням висоти розташування центру ваги та його значенням наведеном в науково технічній літературі, або визначеним в наслідок стендових досліджень.

Аналізуючи результати розрахунку, наведені в табл. 1, можна побачити, що при розрахунку ваги, яка діє на задню вісь автомобіля похибка розрахунку координати центру ваги у порівнянні з реальним його значенням не перевищує в середньому 10 % для спорядже-

них автомобілів та 9 % для завантажених. Причому менша похибка розрахунків спостерігається в даних, які розраховані для автомобілів координати центра ваги яких надані заводом виробником УАЗ (8 % у спорядженому стані автомобілів, 3% у завантаженому) та отриманих у ХНАДУ в стендових умовах (5 % у спорядженому стані автомобілів, 7 % – у завантаженому стані).

Більша похибка розрахунків виникла при порівнянні з даними координати центру ваги автомобілів, наведеними в науково-технічній літературі [1, 4–8]. Середня похибка розрахунків склала 12 % у спорядженому стані та 11 % у завантаженому стані автомобілів.

При порівнянні результатів розрахунку за формулою (5) та результатів виміру ваги автомобілів у стендових умовах середня похибка розрахунків не перевищує 3 % для спорядженого автомобіля та 4 % – для завантаженого.

## Висновки

Аналіз результатів використання залежності (5) показав:

– використання залежності (5) з похибкою до 5 % дозволяє визначити зміну навантаження на задні колеса автомобіля при його нахилі відносно горизонтальної площини;

– похибка розрахунків може коливатися в межах 3 %, що обумовлено наступними припущеннями: 1) радіус колеса є постійною величиною при нахилі автомобіля відносно горизонтальної площини; 2) підвіска автомобіля жорстко зафіксована, що не дає змоги мосту автомобіля переміщатися відносно рами;

– використання залежності (5) при розрахунках висоти розташування координати центру ваги за формулою (1) збільшує похибку розрахунку в два рази.

Аналіз результатів розрахунків та значень координати центру ваги реальних автомобілів показав:

– розрахунок координати центру ваги автомобілів ЛША ХНАДУ виконано із середньою похибкою 5 % у спорядженому стані автомобіля та 7 % – у завантаженому стані;

– розрахунок координати центру ваги автомобілів, що були наданні заводом виробником УАЗ, виконано із середньою похибкою 8 % у спорядженому стані автомобілів та 3 % – у завантаженому стані;

– розрахунок координати центру ваги макетних зразків автомобілів виконано із середньою похибкою 3 % для споряджених автомобілів та 4 % – для завантажених;

– розрахунок координати центру ваги автомобілів, які було взято з науково-технічної літератури [1, 4–8], виконано із середньою похибкою 12 % у спорядженому стані автомобілів та 11 % – у завантаженому.

Зростання середнього показника похибки спостерігається в розрахунках висоти координати центру ваги автомобілів, взятих з науково-технічної літератури; розрахунок висоти координати центра ваги автомобілів, реально зважених, мають найменшу похибку розрахунку.

### Література

1. Тур Е.Я. Устройство автомобиля: учебник для учащихся автотранспортных техникумов / Е.Я. Тур, К.Б. Серебряков, Л.А. Жолобов. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.
2. Расположение центра тяжести автомобиля и его влияние на устойчивость. Режим доступа: <http://avtookay.ru/physics/tsentr-tyazhesti-avtomobilya>.
3. Алёкса Н.Н. Теория эксплуатационных свойств автотранспортных средств в примерах и заданиях: учеб. пособие / Н.Н. Алёкса, В.Н. Алексеенко, А.Б. Гредескул. – К.: УМК ВО, 1990. – 100 с.
4. Боровский Б.Е. Безопасность движения автомобильного транспорта / Б.Е. Боровский. – Л.: Лениздат, 1984. – 304 с.
5. Шасси автомобиля: Типы приводов / под ред. Й. Раймпеля; Пер. с нем. В.И. Губы. – М.: Машиностроение, 1989. – 232 с.
6. Краткий автомобильный справочник / А.Н. Понизовскин, Ю.М. Власков, М.Б. Ляликов и др. – М. АО «ТРАНСКОСЛТИНГ», НИИАТ, 1994. – 779 с.
7. Краткий автомобильный справочник. – 10-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1985. – 220 с.
8. Краткий автомобильный справочник. – 9-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1982. – 464 с.

### References

1. Tur E.Ja., Serebrjakov K.B., Zholobov L.A. *Ustrojstvo avtomobilja: uchebnik dlja uchashhihsja avtotransportnyh tehnikumov* [The unit of the vehicle], Moscow, Mashinostroenie Publ., 1990, 352 p.
2. *Raspolozhenie centra tjazhesti avtomobilja i ego vlijanie na ustojchivost* [The center of mass of vehicle and its impact on stability] Available at: <http://avtookay.ru/physics/tsentr-tyazhesti-avtomobilya>.
3. Aljoksa N.N., Alekseenko V.N., Gredeskul A.B. *Teorija ekspluatacionnyh svojstv avtotransportnyh sredstv v primerah i zadaniyah: ucheb. posb.* [Theory of operating properties of vehicles in the examples and exercises], Kiyv, UMK VO Publ., 1990, 100 p.
4. Borovskij B.E. *Bezopasnost' dvizhenija avtomobil'nogo transporta* [Traffic safety of road transport], Leningrad, 1984, 304 p.
5. *Shassi avtomobilja: Tipy privodov* [Vehicle Chassis: Types of drives] Pod red. J. Rajmpelja; Per. s nem. V.I. Guby; Pod red. A.K. Millera, Moscow, Mashinostroenie Publ., 1989, 232 p.
6. Ponizovskin A.N., Vlaskov Ju.M., Ljalikov M.B. *Kratkij avtomobil'nyj spravocchnik* [A short vehicles guide], Moscow, АО «ТРАНСКОСЛТИНГ», НИИАТ Publ., 1994, 779 p.
7. *Kratkij avtomobil'nyj spravocchnik* [A short vehicles guide] 10-e izd., pererab. i dop., Moscow, Transport Publ., 1985, 220 p.
8. *Kratkij avtomobil'nyj spravocchnik* [A short vehicles guide] 9-e izd., pererab. i dop., Moscow, Transport Publ., 1982, 464 p.

Рецензент: М.М. Альюкса, професор, к.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 3 липня 2015 р.