

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ АВТОТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАССОВО-ГАБАРИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕГО АГРЕГАТОВ

**Малиновский Михаил Павлович**, канд. техн. наук, доц.,  
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, ntbmadi@gmail.com,

**Аннотация.** При проектировочных и поверочных расчётах автотранспортных средств часто возникает необходимость определить положение центра тяжести. Продольная координата центра тяжести оказывает существенное влияние на плавность хода и управляемость. Высота центра тяжести влияет на продольную устойчивость при движении на спуск и поперечную устойчивость при криволинейном движении или по косоугору. Расчёт перераспределения нормальных реакций на колёсах при торможении и определение коэффициента сцепления в режиме реального времени требует учёта одновременно продольной и вертикальной координат центра тяжести. Точное определение центра тяжести проводится путём испытаний на стенде для оценки статической устойчивости по стандартизированной методике. Однако экспериментальное определение центра тяжести часто представляется затруднительным, особенно на стадии проектирования или в учебном процессе. Цель настоящего исследования заключалась в разработке методики по определению центра тяжести колёсной машины на основе справочных данных и проверке её адекватности. Предложенная автором методика построена на гипотезе, что центр тяжести каждого массового элемента автотранспортного средства находится в его геометрическом центре, который определяется по габаритному или компоновочному чертежу, наложенному на координатную сетку. При этом полная и снаряжённая масса автотранспортного средства, а также массы его агрегатов определяются по справочнику. Адекватность предложенной методики подтверждена путём сравнения полученных расчётных координат центра тяжести с экспериментальными значениями. Разработанная методика может быть использована в учебном процессе, при проектировочных и поверочных расчётах автотранспортных средств, в том числе специального назначения, а также в алгоритмах систем активной безопасности и беспилотных транспортных средств.

**Ключевые слова:** транспортные средства специального назначения; системы управления; геометрические характеристики; метод разбиения.

## DETERMINATION OF THE GRAVITY CENTRE OF A VEHICLE USING MASS AND DIMENSIONAL CHARACTERISTICS OF ITS UNITS

**Malinovsky Mikhail P.**, Ph. D., associate professor,  
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, ntbmadi@gmail.com

**Abstract.** When designing and verifying calculations of vehicles, it is often necessary to determine the position of the center of gravity. The longitudinal coordinate of the center of gravity has a significant impact on the ride and handling. The height of the center of gravity affects the longitudinal stability when driving downhill and lateral stability when driving curved or on a slope. Calculation of the redistribution of normal reactions on wheels during braking and determination of the coefficient of adhesion in real time requires taking into account both the longitudinal and vertical coordinates of the center of gravity. The exact determination of the center of gravity is carried out by tests on a stand to assess the static stability according to a standardized method. However, experimental determination of the center of gravity is often difficult, especially at the design stage or in the educational process. The purpose of this study was to develop a methodology for determining the center of gravity of a wheeled vehicle based on reference data and to verify its adequacy. The method proposed by the author is based on the hypothesis that the center of gravity of each mass element of the vehicle is located in its geometric center, which is determined by the dimensional or layout drawing superimposed on the coordinate grid. In this case, the gross and curb weight of the vehicle, as well as the masses of its units, are determined by reference. The adequacy of the proposed method is confirmed by comparing the calculated coordinates of the center of gravity with experimental values. The developed technique can be used in the educational process, in the design and verification calculations of vehicles, including special purpose vehicles, as well as in the algorithms of active safety systems and unmanned vehicles.

**Key words:** special purpose vehicles; control systems; geometric characteristics; partitioning method.

### Введение и постановка задачи

При проектировочных и поверочных расчётах автотранспортных средств (АТС) в ряде случаев возникает необходимость определить положение центра тяжести. Так, продольная координата центра тяжести оказывает существенное влияние на такие важные эксплуатационные свойства АТС, как плавность хода [1] и управляемость [2]. Чтобы уменьшить нежелательную избыточную поворачиваемость, «центр масс

автомобиля немного смещают в сторону переднего моста, что увеличивает составляющую центробежной силы, действующую на управляемые колеса» [3]. Высота центра тяжести значительно влияет на продольную устойчивость АТС при движении на спуск [4] и поперечную устойчивость при криволинейном движении [5] или по косогору [6]. Чем выше расположен центр тяжести, тем ниже критическая скорость по опрокидыванию [7; 8]. При этом смещение центра тяжести относительно продольной оси обычно не учитывают. Расчёт перераспределения нормальных реакций на колёсах при торможении [9] и определение коэффициента сцепления в режиме реального времени [10] требует учёта одновременно продольной и вертикальной координат центра тяжести.

Точное определение центра тяжести проводится путём испытаний на стенде, предназначенном «для оценки статической устойчивости автомобилей» [11] по методике, которая приводится в ОН 025 305-67, ГОСТ 27248-87, ГОСТ 30750-2001 (ИСО 789-6-82). Однако экспериментальное определение центра тяжести часто представляется затруднительным ввиду организационных или финансовых сложностей, а на стадии проектирования или в учебном процессе – просто невозможным. Поэтому для получения исходных данных пользуются различными справочниками [12]. Автором статьи была поставлена цель разработать методику по определению центра тяжести колёсной машины на основе справочных данных и проверить её адекватность.

### **Методика определения центра тяжести**

Предлагаемая автором методика состоит из следующих этапов.

1. Принимается допущение о том, что центр тяжести каждого массового элемента АТС находится в его геометрическом центре.
2. По справочнику [13] определяется масса АТС и его агрегатов (табл. 1). Масса человека принимается 75 кг для гражданских АТС и 100 кг (с учётом амуниции) – для военного Урал-4320.

3. Масса топливного бака приравнивается к массе топлива:

$$m_{\text{тб}} = 10^{-3} V_{\text{тб}} \rho_{\text{топл}},$$

где  $V_{\text{тб}}$  – объём топливного бака, л;

где  $\rho_{\text{топл}}$  – плотность топлива, кг/м<sup>3</sup>.

Для бензина АИ-92  $\rho_{\text{топл}}=760$  кг/м<sup>3</sup>, для летнего дизельного топлива  $\rho_{\text{топл}}=860$  кг/м<sup>3</sup>.

Таблица 1

Справочные массовые характеристики АТС

Параметр	Обозн.	ГАЗ-3307	КамАЗ-5320	Урал-4320
Полная масса, кг	$m_{\text{п}}$	7850	15305	13325
Снаряжённая масса, кг	$m_{\text{с}}$	3200	7080	8025
Грузоподъёмность, кг	$m_{\text{г}}$	4500	8000	5000
Масса водителя и пассажиров, кг	$m_{\text{чел}}$	150	225	300
Масса агрегатов, кг:	$m_{\text{а}}$			
– ДВС	$m_{\text{д}}$	274	770	1040
– коробка передач	$m_{\text{кп}}$	56	320	246
– раздаточная коробка	$m_{\text{рк}}$	–	–	178
– карданная передача	$m_{\text{крд}}$	25,5	49	101
– первый мост	$m_{\text{мт1}}$	158	255	656
– второй мост	$m_{\text{мт2}}$	270	592	590
– третий мост	$m_{\text{мт3}}$	–	555	590
– рессора передняя	$m_{\text{р1}}$	27	30	67

– рессора задняя	$m_{p2}$	77	88	96
– колесо с шиной	$m_{к}$	84	80	165
– рама	$m_{nc}$	281	605	694
– кабина	$m_{каб}$	303	577	428
– оперение	$m_{кап}$	49	–	120
– радиатор	$m_{рад}$	25	25	37
– кузов	$m_{куз}$	545	870	770
– тент	$m_{тнт}$	–	24,9	34
– лебёдка с тросом	$m_{леб}$	–	–	387
Объём топливного бака, л	$V_{тб}$	105	250	200
Тип топлива		бенз.	диз.	диз.

4. Проще всего определить центры тяжести мостов и колёс (кроме запасного), так как они совпадают с осями вращения, и их координаты всегда указаны на габаритном чертеже (рис. 1). При этом для каждой оси необходимо умножить массу одного колеса на число скатов. Статический радиус колеса определяется по справочнику для конкретного типоразмера шин [14].

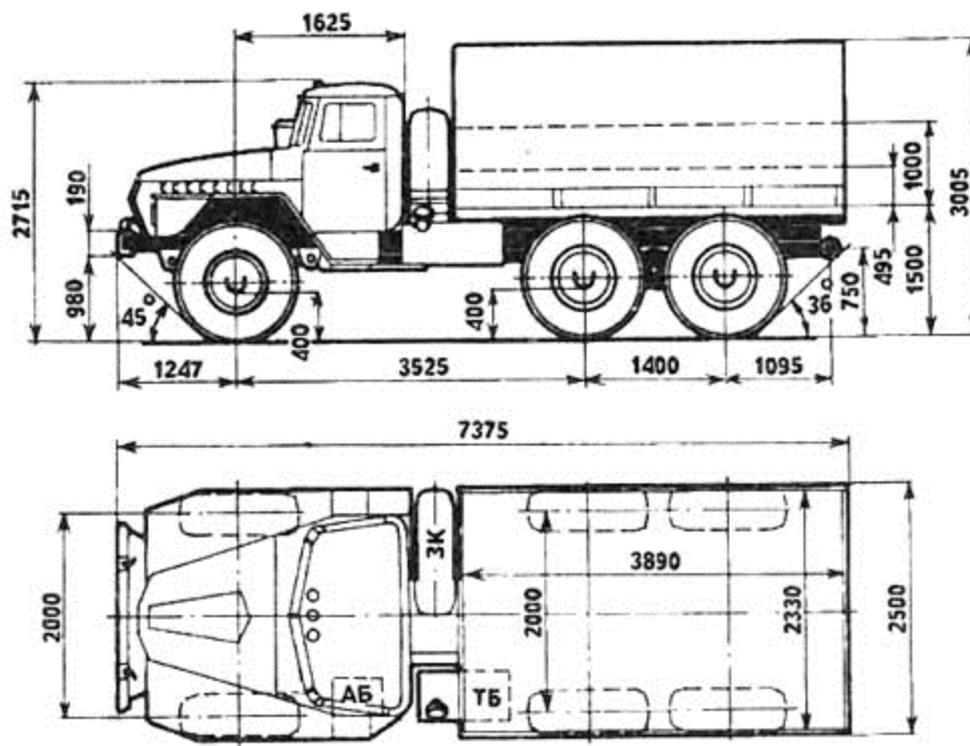
5. На габаритном чертеже указаны размеры кузова, и если кузов закрытый цельнометаллический (фургон), то найти его геометрический центр не составит труда. Если же кузов открытый (бортовой), то нужно найти отдельно центр тяжести бортов и платформы, при этом масса кузова делится пропорционально площади их поверхностей  $S_{борт}$  и  $S_{плат}$ :

$$m_{куз} = m_{борт} + m_{плат}; \quad \frac{m_{борт}}{m_{плат}} = \frac{S_{борт}}{S_{плат}} = \frac{2(a_{куз} + b_{куз})h_{борт}}{a_{куз} b_{куз}},$$

где  $m_{\text{борт}}$ ,  $m_{\text{плат}}$  – масса бортов и платформы соответственно, кг;

$a_{\text{куз}}$ ,  $b_{\text{куз}}$  – длина и ширина кузова соответственно, м;

$h_{\text{борт}}$  – высота борта, м.



*Рис. 1. Габаритный чертёж Урал-4320*

Соответственно, масса бортов и платформы равны, кг:

$$m_{\text{борт}} = \frac{S_{\text{борт}}}{S_{\text{плат}} + S_{\text{борт}}} m_{\text{куз}}; \quad m_{\text{плат}} = \frac{S_{\text{плат}}}{S_{\text{плат}} + S_{\text{борт}}} m_{\text{куз}}.$$

Высоту центра тяжести платформы можно приравнять к погрузочной высоте, которая всегда присутствует на габаритном чертеже.

Аналогичным образом можно разложить массу тента (если он предусмотрен конструкцией). Если его масса неизвестна, её можно определить, учитывая плотность тента  $\rho_{\text{тент}} = 700 \text{ г/м}^2$  (тент изготавливают из ПВХ 400...1300, где марка ПВХ означает плотность  $\text{г/м}^2$ ).

6. Принимается допущение, что распределение массы груза  $m_r$  по объёму кузова является равномерным. Тогда центр тяжести груза находится в геометрическом центре кузова.

Если кузов закрытый (цельнометаллический или с тентом), высоту центра тяжести кузова и груза можно определить по формуле, м:

$$Z_{\text{куз}} = Z_r = \frac{h_{\text{габ}} + h_{\text{погр}}}{2},$$

где  $h_{\text{габ}}$  – габаритная высота, м;

$h_{\text{погр}}$  – погрузочная высота, м.

7. Для определения геометрических центров всех остальных массовых элементов необходимо наложить габаритный чертёж на координатную сетку таким образом, чтобы начало координат по продольной оси  $X$  совпадало с передним габаритом, а по вертикальной оси  $Z$  – с уровнем опорной поверхности (рис. 2). Более эффективным способом является использование чертежа в системе автоматизированного проектирования «КОМПАС» (рис. 3) [15].

8. Для более точного определения координат внутренних агрегатов и узлов рекомендуется воспользоваться компоновочным чертежом (рис. 4) или рисунком (рис. 5), если таковые имеются в наличии.

9. Центр масс водителя и пассажиров расположен в кабине на уровне сидений.



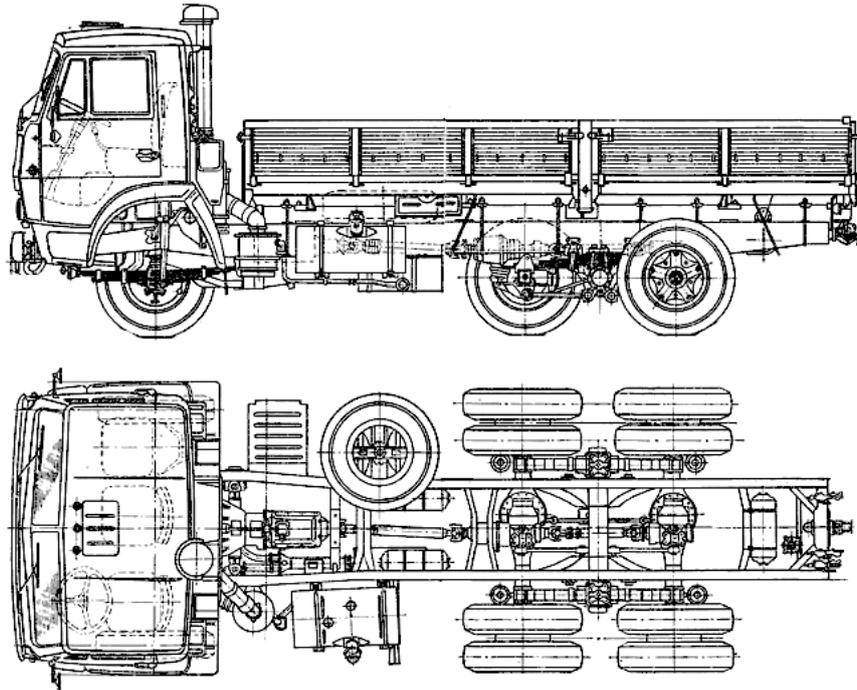


Рис. 4. Компоновочный чертёж КамАЗ-5320

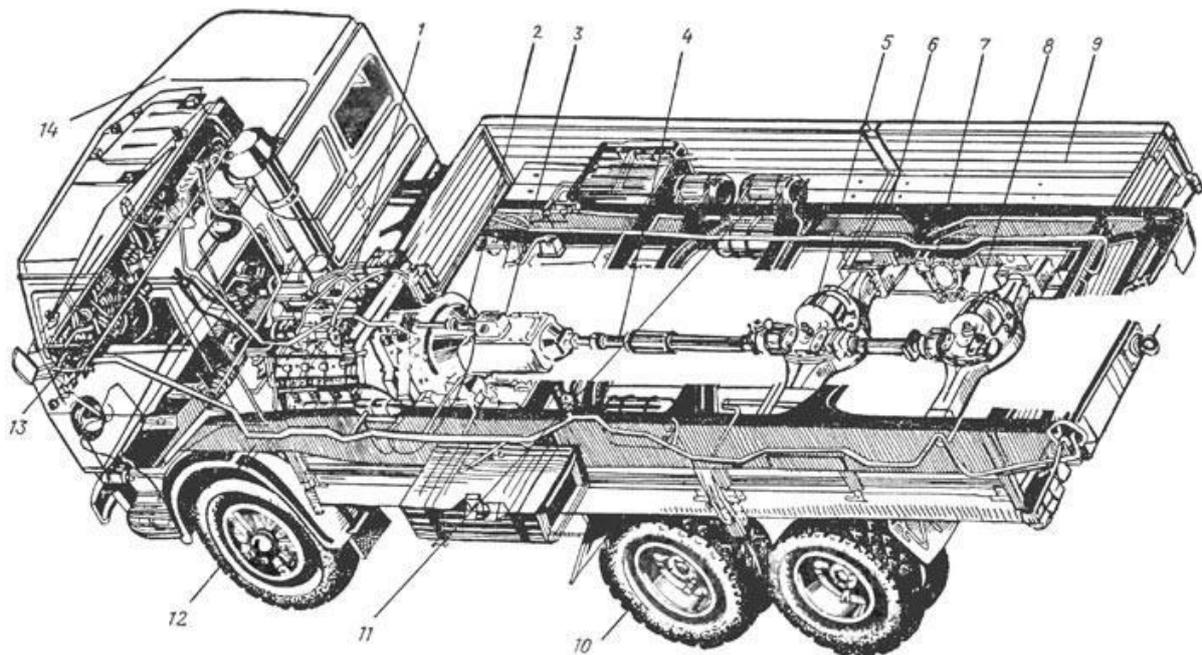


Рис. 5. Компоновочный рисунок КамАЗ-5320:

1 – двигатель; 2 – сцепление; 3 – коробка передач; 4 – карданная передача; 5 – средний мост; 6 – рама; 7 – балансир задней подвески; 8 – задний мост; 9 – кузов; 10 – заднее ведущее колесо; 11 – ресиверы тормозного привода; 12 – переднее управляемое колесо; 13 – рулевое управление; 14 – кабина

10. Высоту центра плоской лонжеронной рамы можно приравнять к высоте буксирного крюка (если не указано иное).

11. Карданную передачу можно разложить на отдельные валы, если известна масса каждого из них, или приблизительно определить единый центр тяжести карданной передачи.

12. Продольная координата центра масс рессоры для одиночного моста совпадает с его центром, а для двухосной тележки лежит между средним и задним мостами. Необходимо учесть, что рессоры расположены с обоих бортов.

13. После учёта всех известных массовых элементов  $m_u$  рассчитывается остаточная масса АТС, кг:

$$m_{\text{ост}} = m_c - \sum m_u .$$

Координаты остаточной массы принимаются следующим образом, м:

$$X_{\text{ост}} = \frac{L_{\text{габ}}}{2} ; Z_{\text{ост}} = \frac{h_{\text{каб}} + h_{\text{дп}}}{2} ,$$

где  $L_{\text{габ}}$  – габаритная длина АТС, м;

$h_{\text{каб}}$  – высота кабины, м;

$h_{\text{дп}}$  – дорожный просвет, м.

14. Расчётные координаты центра тяжести АТС находятся по формулам, известным из метода разбиения, м:

$$X_{\text{цт.п}} = \frac{\sum_{u=1} m_u X_u + m_{\text{ост}} X_{\text{ост}} + m_{\text{г}} X_{\text{г}} + m_{\text{чел}} X_{\text{чел}}}{m_{\text{п}}} ;$$

$$Z_{\text{цт.п}} = \frac{\sum_{u=1} m_u Z_u + m_{\text{ост}} Z_{\text{ост}} + m_{\text{г}} Z_{\text{г}} + m_{\text{чел}} Z_{\text{чел}}}{m_{\text{п}}} .$$

То же для АТС в снаряжённом состоянии, м:

$$X_{\text{цт.с}} = \frac{\sum_{u=1} m_u X_u + m_{\text{ост}} X_{\text{ост}}}{m_c}; Z_{\text{цт.с}} = \frac{\sum_{u=1} m_u Z_u + m_{\text{ост}} Z_{\text{ост}}}{m_c}.$$

Результаты расчётов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчётов

МЭ	ГАЗ-3307 (4x2)			КамАЗ-5320 (6x4)			Урал-4320 (6x6)		
	m <sub>u</sub> , кг	X <sub>u</sub> , м	Z <sub>u</sub> , м	m <sub>u</sub> , кг	X <sub>u</sub> , м	Z <sub>u</sub> , м	m <sub>u</sub> , кг	X <sub>u</sub> , м	Z <sub>u</sub> , м
m <sub>плат</sub>	299,2	4,575	1,28	434,6	4,79	1,35	335,9	5,38	1,5
m <sub>борт</sub>	245,8	4,575	1,67	435,4	4,79	1,78	434,1	5,38	2
m <sub>тн.в</sub>	0	0	0	9,4	4,79	3,25	14,7	5,38	3,005
m <sub>тн.б</sub>	0	0	0	15,5	4,79	2,55	19,3	5,38	2,5
m <sub>нс</sub>	281	2,98	0,92	605	3,63	0,85	694	3,63	1,075
m <sub>мт1</sub>	158	0,955	0,457	255	1,275	0,476	656	1,247	0,583
m <sub>мт2</sub>	270	4,725	0,457	592	4,465	0,476	590	4,772	0,583
m <sub>мт3</sub>	0	0	0	555	5,791	0,476	590	6,172	0,583
m <sub>к1</sub>	168	0,955	0,457	160	1,275	0,476	330	1,247	0,583
m <sub>к2</sub>	336	4,725	0,457	320	4,465	0,476	330	4,772	0,583
m <sub>к3</sub>	0	0	0	320	5,791	0,476	330	6,172	0,583
m <sub>кз</sub>	84	3,36	0,86	80	3,29	0,745	165	3,1	1,87
m <sub>каб</sub>	303	1,92	1,26	577	0,69	1,62	428	2,32	1,8
m <sub>кап</sub>	49	0,82	1,13	0	0	0	120	0,8	1,7
m <sub>д</sub>	274	0,92	1,13	770	1,08	0,99	1040	0,94	1,36
m <sub>кп</sub>	56	1,44	0,86	320	2,11	0,74	246	1,5	1,15
m <sub>рк</sub>	0	0	0	0	0	0	178	1,9	0,71

$m_{крд}$	25,5	3,76	0,66	49	3,2	0,6	101	3,71	0,71
$m_{р1}$	54	0,955	0,66	60	1,275	0,74	134	1,247	0,95
$m_{р2}$	154	4,725	0,66	176	5,128	0,74	192	5,472	0,95
$m_{рад}$	25	0,27	1,19	25	0,37	1,02	37	0,34	1,54
$m_{леб}$	0	0	0	0	0	0	387	6,67	1,075
$m_{тб}$	79,8	3,4	0,65	215	2,94	0,75	172	3,2	1,06
$m_{ост}$	337,7	3,275	1,308	1106,1	3,718	1,765	501	3,688	1,703
$m_{г}$	4500	4,575	1,67	8000	4,79	2,3	5000	5,388	2,253
$m_{чел}$	150	2,24	1,376	225	1,06	1,442	300	2,367	1,865
$m_{п}$	7850	<b>3,939</b>	<b>1,369</b>	15305	<b>4,101</b>	<b>1,702</b>	13325	<b>4,177</b>	<b>1,552</b>
$m_{с}$	3200	<b>3,125</b>	<b>0,944</b>	7080	<b>3,419</b>	<b>1,035</b>	8025	<b>3,491</b>	<b>1,103</b>

Условные обозначения массовых элементов (МЭ):  $m_{плат}$ ,  $m_{борт}$  – платформа и борта кузова соответственно;  $m_{тн.в}$ ,  $m_{тн.б}$  – верх и боковины тента соответственно;  $m_{нс}$  – рама;  $m_{мт1}$ ,  $m_{мт2}$ ,  $m_{мт3}$  – первый, второй и третий мост;  $m_{к1}$ ,  $m_{к2}$ ,  $m_{к3}$  – колёса первой, второй и третьей оси;  $m_{кз}$  – колесо запасное;  $m_{каб}$  – кабина;  $m_{кап}$  – оперение (капот);  $m_{д}$  – ДВС;  $m_{кп}$  – коробка передач;  $m_{рк}$  – раздаточная коробка;  $m_{крд}$  – карданная передача;  $m_{р1}$ ,  $m_{р2}$  – передняя и задняя рессора;  $m_{рад}$  – радиатор;  $m_{леб}$  – лебёдка;  $m_{тб}$  – топливный бак;  $m_{ост}$  – остаточная масса;  $m_{г}$  – груз;  $m_{чел}$  – водитель и пассажиры;  $m_{п}$ ,  $m_{с}$  – полная и снаряжённая масса

### Проверка методики на адекватность

Для подтверждения адекватности предложенной методики было выполнено следующее.

1. Определили экспериментальную продольную координату исходя из распределения полной и снаряжённой массы по осям,  $m$  (табл. 3):

$$l_{цт.п} = L_1 + L \frac{m_{п2}}{m_{п}}; \quad l_{цт.с} = L_1 + L \frac{m_{с2}}{m_{с}},$$

где  $L_1$  – расстояние от переднего габарита до первой оси, м;

$L$  – колёсная база АТС, м.

Ошибка определения продольной координаты для полной нагрузки и снаряжённого состояния соответственно находится по формулам (табл. 3):

$$\Delta X_{п} = \frac{|X_{цт.п} - \ell_{цт.п}|}{X_{цт.п}} \cdot 100\%; \Delta X_{с} = \frac{|X_{цт.с} - \ell_{цт.с}|}{X_{цт.с}} \cdot 100\% .$$

Таблица 3

Экспериментальные характеристики АТС

Параметр	Обозначение	ГАЗ-3307	КамАЗ-5320	Урал-4320
Полная масса, кг:				
– на переднюю ось	$m_{п1}$	1875	4375	4360
– на заднюю ось/тележку	$m_{п2}$	5975	10930	8965
Снаряжённая масса, кг:				
– на переднюю ось	$m_{с1}$	1435	3320	4015
– на заднюю ось/тележку	$m_{с2}$	1765	3760	4010
Экспериментальная продольная координата центра тяжести, м:				
– при полной массе	$\ell_{цт.п}$	3,825	4,027	4,090
– в снаряжённом состоянии	$\ell_{цт.с}$	3,034	3,321	3,358
Ошибка метода:				
– при полной массе	$\Delta X_{п}$	2,92%	1,82%	2,1%
– в снаряжённом состоянии	$\Delta X_{с}$	2,91%	2,87%	3,79%

2. Сравнили расчётную высоту центра масс с известными экспериментальными значениями. Ошибка определения вертикальной координаты для полной нагрузки и снаряжённого состояния:

$$\Delta Z_{\text{п}} = \frac{|Z_{\text{цт.п}} - h_{\text{цт.п}}|}{Z_{\text{цт.п}}} \cdot 100\% ; \Delta Z_{\text{с}} = \frac{|Z_{\text{цт.с}} - h_{\text{цт.с}}|}{Z_{\text{цт.с}}} \cdot 100\% .$$

Однако обнаружить достоверные значения высоты центра тяжести в открытых источниках не удалось. На габаритном чертеже ГАЗ-3307 указана  $h_{\text{цт.с}}=0,835$  м для снаряжённого состояния, и  $\Delta Z_{\text{с}}=11,74\%$ . В методических рекомендациях [16] приводятся значения для КамАЗ-5320  $h_{\text{цт.с}}=0,9$  м,  $h_{\text{цт.п}}=1,3$  м и для Урал-4320  $h_{\text{цт.с}}=1,3$  м,  $h_{\text{цт.п}}=1,5$  м, что соответствует  $\Delta Z_{\text{с}}=23,68\%$ ,  $\Delta Z_{\text{п}}=13,08\%$  и  $\Delta Z_{\text{с}}=3,43\%$ ,  $\Delta Z_{\text{п}}=17,82\%$ , но не указывается, в какой точке располагался груз, что существенно влияет на высоту центра тяжести при полной массе АТС.

### Выводы

1. Погрешность предложенной методики для определения центра тяжести АТС не превышает 3...4% по продольной координате, что подтверждает её адекватность.
2. Оценить методику по вертикальной координате при полной массе не представляется возможным ввиду отсутствия достоверных сведений об условиях получения её экспериментальных значений. Если доверять справочным значениям при снаряжённой массе, то погрешность методики не превысила 18%.
3. Очевидно, что принятие центра тяжести равным «высоте погрузочной площадки для грузовых автомобилей» [17] является весьма условным допущением.
4. Как известно, «чтобы снизить ударные нагрузки на кузов, неподрессоренные массы стремятся уменьшить» [18]. К ним относятся колёса с шинами (кроме запасного), мосты, карданная передача и рессоры.

Разработанная методика позволила определить, какой процент от массы АТС они составляют (табл. 4).

Таблица 4

Величина неподрессоренных масс

Параметр	ГАЗ-3307	КамАЗ-5320	Урал-4320
Неподрессоренные массы $m_{нп}$ , кг	1165,5	2487	3253
Отношение $m_{нп}/m_{п}$	14,85%	16,25%	24,41%
Отношение $m_{нп}/m_{с}$	36,42%	35,12%	40,54%

5. ГАЗ-3307 оснащён гидравлическим тормозным приводом с вакуумным усилителем, Урал-4320 – пневмогидравлическим, и  $m_{ост}$  у них составляет 337,7 кг и 501 кг соответственно. У КамАЗ-5320  $m_{ост}=1106,1$  кг, что отчасти связано с большой массой аппаратов в пневматическом тормозном приводе.

6. Масса заправочных жидкостей  $m_{ж}$  (кроме топлива) и её отношение к остаточной массе  $m_{ост}$  приведена в табл. 5. К заправочным объёмам относятся системы охлаждения и смазки двигателя, гидроусилитель руля, картер рулевого механизма, коробка передач, раздаточная коробка, главная передача, картеры ведущих мостов, ступица балансира задней подвески, редуктор лебедки, амортизаторы, гидравлический тормозной привод, предохранитель от замерзания пневматического тормозного привода, гидропривод сцепления и бачок омывателя. Диапазон значений  $m_{ж}$  связан с различной плотностью рабочих жидкостей и масел, применяемых во время летнего и зимнего сезона.

Величина заправочных жидкостей

Параметр	ГАЗ-3307	КамАЗ-5320	Урал-4320
Масса заправочных жидкостей $m_{ж}$ , кг	46,41...48,8	91,3...91,87	92,77...93,77
Отношение $m_{ж}/m_{ост}$	13,74...14,45%	8,25...8,31%	18,52...18,72%

**Заключение**

Разработанная автором методика апробирована в учебном процессе и подлежит использованию при проектировочных и проверочных расчётах различных эксплуатационных свойств транспортных средств, в том числе специального назначения. Кроме того, она может применяться в алгоритмах систем активной безопасности и беспилотных транспортных средств, особенно если учесть динамическое смещение центра масс под действием перегрузок.

**Список литературы**

1. Павлов, В.В. Проектировочные расчёты транспортных средств специального назначения (ТССН): учеб. пособие / В.В. Павлов. – М.: МАДИ, 2014. – 116 с.
2. Тарасик, В.П. Методика имитационного моделирования режима испытаний на управляемость и устойчивость автомобиля при входе в поворот / В.П. Тарасик // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2019. – № 2 (63). – С. 44-53.
3. Железнов, Е.И. Автомобили. Теория эксплуатационных свойств: конспект лекций / Е.И. Железнов, А.А. Ревин; ВолгГТУ. – Волгоград, 2015. – 170 с.
4. Тюрин, Я.И. Исследование устойчивости колёсно-шагающих экскаваторов при помощи системы автоматизированного проектирования / Я.И. Тюрин, К.П. Мандровский // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2018. – № 4 (55). – С. 34-38.

5. Гладов, Г.И. Предпосылки к разработке алгоритма для системы повышения устойчивости движения многозвенного автопоезда / Г.И. Гладов, М.П. Малиновский // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2007. – № 11. – С. 36-46.
6. Хусаинов, А.Ш. Теория автомобиля: конспект лекций / А.Ш. Хусаинов, В.В. Селифонов. – Ульяновск: УлГТУ, 2008. – 121 с.
7. Кулько, П.А. Прогнозирование показателей поперечной устойчивости автомобилей на поворотах / П.А. Кулько, А.П. Кулько, Т.А. Галицына // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия: Наземные транспортные системы. – 2010. – Т. 3, № 10 (70). – С. 58-61.
8. Рябов, И.М. Расчет критической скорости на повороте автомобиля с незакрепленным грузом в кузове / И.М. Рябов, Д.М. Ханин, М.М. Мамакурбанов // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия: Наземные транспортные системы. – 2013. – Т. 6, № 10 (113). – С. 30-33.
9. Малиновский, М.П. Применение итерационного метода при расчёте тормозных свойств седельного автопоезда с учётом перераспределения вертикальных реакций / М.П. Малиновский, Е.С. Смолко // Труды НАМИ. – 2020. – № 1 (280). – С. 36-47.
10. Малиновский, М.П. Повышение адаптивных свойств систем управления путём определения коэффициента сцепления бортовыми средствами в режиме реального времени / М.П. Малиновский // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2020. – № 1 (60). – С. 43-51.
11. Испытания колёсных транспортных средств: учеб. пособие / А.М. Иванов, С.Р. Кристальный, Н.В. Попов, А.Р. Спинов. – М.: МАДИ, 2018. – 124 с.
12. Малиновский, М.П. Использование справочных параметров шин при расчёте систем управления колёсных машин / М.П. Малиновский, К.В. Базеев, И.В. Балясников // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2020. – № 2 (24). – С. 8.
13. Краткий автомобильный справочник / А.Н. Понизовкин и др. – М.: Трансконсталтинг, НИИАТ, 1994. – 779 с.
14. Малиновский М.П. Проектировочный расчёт массовых характеристик автомобильного колеса / М.П. Малиновский, С.В. Борисов, А.Э. Карьялайнен // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2020. – № 2 (24). – С. 10.
15. Малиновский, М.П. Компьютерная графика в Compas: учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 2: Оформление чертежей / М.П. Малиновский. – М.: МАДИ, 2015. – 124 с.
16. Кисляков, Ю.Д. Справочно-информационные данные для анализа дорожно-транспортных происшествий: метод. рекомендации / Ю.Д. Кисляков, О.Г. Кузнецов, Т.М. Жанабаев. – Алматы: РМНИЦ БДД, 1998. – 108 с.

17. Гаевский, В.В. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Теория эксплуатационных свойств АТС» / В.В. Гаевский, А.М. Иванов. – М.: МАДИ, 2013. – 53 с.
18. Конструкции активной подвески с низким уровнем энергопотребления / М.П. Малиновский, В.В. Кувшинов, А.А. Фёдоров, Г.А. Беджанов // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. – 2018. – № 3 (24). – С. 10-13.

### References

1. Pavlov V.V. *Proektirovochnye raschety transportnyh sredstv special'nogo naznachenija (TSSN) [Design calculations of special purpose vehicles]*. Moscow, MADI, 2014, 116 p.
2. Tarasik V.P. *Vestnik Belorussko-Rossijskogo universiteta*, 2019, no. 2, pp. 44-53.
3. Zheleznov E.I., Revin A.A. *Avtomobili. Teorija jekspluatacionnyh svojstv [Cars. Performance theory]*. Volgograd, VolgGTU, 2015, 170, p.4.
4. Tjurin Ja.I., Mandrovskij K.P. *Vestnik MADI*, 2018, issue 4, pp. 34-38.
5. Gladov G.I., Malinovskij M.P. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Mashinostroenie*, 2007, no. 11, pp. 36-46.
6. Husainov A.Sh., Selifonov V.V. *Teorija avtomobilja [Car theory]*. Uljanovsk, UIGTU, 2008, 121 p.
7. Kul'ko P.A., Kul'ko A.P., Galicyna T.A. *Izvestija Volgogradskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Serija: Nazemnye transportnye sistemy*, 2010, vol. 3, no. 10, pp. 58-61.
8. Rjabov I.M., Hanin D.M., Mamakurbanov M.M. *Izvestija Volgogradskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. Serija: Nazemnye transportnye sistemy*, 2013, vol. 6, no. 10, pp. 30-33.
9. Malinovskij M.P., Smolko E.S. *Trudy NAMI*, 2020, no. 1, pp. 36-47.
10. Malinovskij M.P. *Vestnik MADI*, 2020, issue 1, pp. 43-51.
11. Ivanov A.M., Kristal'nyj S.R., Popov N.V., Spinov A.R. *Ispytaniya kolyosnyh transportnyh sredstv [Tests of wheeled vehicles]*. Moscow, MADI, 2018, 124 p.
12. Malinovskij M.P., Bazeev K.V., Baljasnikov I.V. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*, 2020, no. 2, p. 8.
13. Ponizovkin A.N. et al. *Kratkij avtomobil'nyj spravochnik [Quick automobile reference]*. Moscow, Transkonstaltling, NIAT, 1994, 779 p.
14. Malinovskij M.P., Borisov S.V., Kar'jalajnen A.Je. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*, 2020, no. 2, p. 10.
15. Malinovskij M.P. *Komp'juternaja grafika v Compas. Ch. 2: Oformlenie chertezhej [Computer graphics in Compas. Part 2: Drawing design]*. Moscow, MADI, 2015, 124 p.

16. Kisljakov Ju.D., Kuznecov O.G., Zhanabaev T.M. *Spravochno-informacionnye dannye dlja analiza dorozhno-transportnyh proisshestvij* [Reference data for the analysis of road traffic accidents]. Almaty, RMNIC BDD, 1998, 108 p.
17. Gaevskij V.V., Ivanov A.M. *Metodicheskie ukazanija k prakticheskim zanjatijam po discipline «Teorija jekspluatacionnyh svojstv ATS»* [Methodical instructions for practical training in the discipline «Theory of operational properties of vehicles»]. Moscow, MADI, 2013, 53 p.
18. Malinovskij M.P., Kuvshinov V.V., Fjodorov A.A., Bedzhanov G.A. *Jenergo- i resursosberezhenie: promyshlennost' i transport*, 2018, no. 3, pp. 10-13.

Рецензент: Н.И. Баурова, д-р техн. наук, проф., МАДИ