Section 2. Architekture

Varentsova A. D.
Analytic and Graphic Dependencies to Determine the Pressure Forces of the Wheels Vehicle

ANALYTICAL AND GRAPHICAL DEPENDENCIES FOR DETERMINING THE PRESSURE FORCES OF THE WHEELS OF A VEHICLE

Abstract. The possibility of determining the forces of wheel pressure on the road using the technical characteristics of the vehicle from the manufacturer is considered. On the example of a vehicle including a KAMAZ 65221 tractor and a C93901 semi-trailer, analytical and graphical dependencies have been developed that allow, in the absence of weight control, to quickly determine the axle loads with sufficient accuracy, as well as the position of the center of gravity of the load on the semi-trailer during transportation on roads for various purposes.

Keywords: technical characteristics of the vehicle, load on the axles of the tractor and semi-trailer, graphic dependencies of loads

Варенцова А. Д.,
Московский государственный
технический университет имени им. Н. Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)

АНАЛИТИЧЕСКИЕ И ГРАФИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛ ДАВЛЕНИЯ КОЛЕС ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Аннотация. Рассмотрена возможность определения сил давления колес на дорогу с использованием технической характеристики транспортного средства от завода-изготовителя. На примере транспортного средства, включающего тягач КАМАЗ 65221 и полуприцеп С93901, разработаны аналитические и графические зависимости, позволяющие в условиях отсутствия весового контроля оперативно с достаточной точностью определять нагрузки на оси, а также положение центра тяжести груза на полуприцепе при транспортировке по дорогам разного назначения.

Ключевые слова: техническая характеристика транспортного средства, нагрузка на оси тягача и полуприцепа, графические зависимости нагрузок.

В работе [1] рассмотрена возможность определения нагрузок на оси колесного транспортного средства (ТС), состоящего из тягача и полуприцепа, с помощью уравнений равновесия. При этом для расчетов используются только технические характеристики, представленные заводом-изготовителем. Эти уравнения позволяют решать различные задачи, связанные с организацией загрузки ТС. Однако если требуется срочно определить положение груза на полуприцепе при известных допускаемых нагрузках на оси, времени на расчеты может и не быть. В этом случае могут оказаться полезными графические зависимости между искомыми и задава-

емыми величинами, с помощью которых можно приблизительно, но с достаточной степенью точности решать поставленные задачи: определять реакции полотна дороги на оси ТС (равные по величине нагрузкам на оси колес) и координаты центра тяжести груза на полуприцепе. Эти зависимости строятся на основе уравнений равновесия ТС, записанных для полуприцепа и тягача в соответствии с расчетными схемами, представленными на (рис. 1–3).

Технические характеристики полуприцепа:

– масса перевозимого груза, т 30,0
– снаряженная масса, т 7,7
– полная масса, т 37,7
– распределение нагрузки от полуприцепа с тягачом:
– на седельно-сцепное устройство, тс 14,6
– на дорогу, тс 23,1

Технические характеристики тягача:

– снаряженная масса, т 11,55
– распределение нагрузки от тягача снаряженной массы по осям:
– на переднюю, тс 5,7
– на заднюю (тележку), тс 5,85

Замечание: 1 тс = 10 кН.

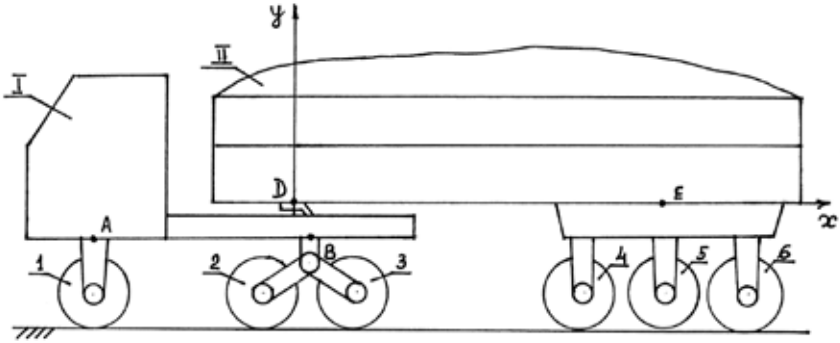

Рисунок 1. Схема транспортного средства:
I – тягач КАМАЗ 65221; II – полуприцеп С93901 с грузом

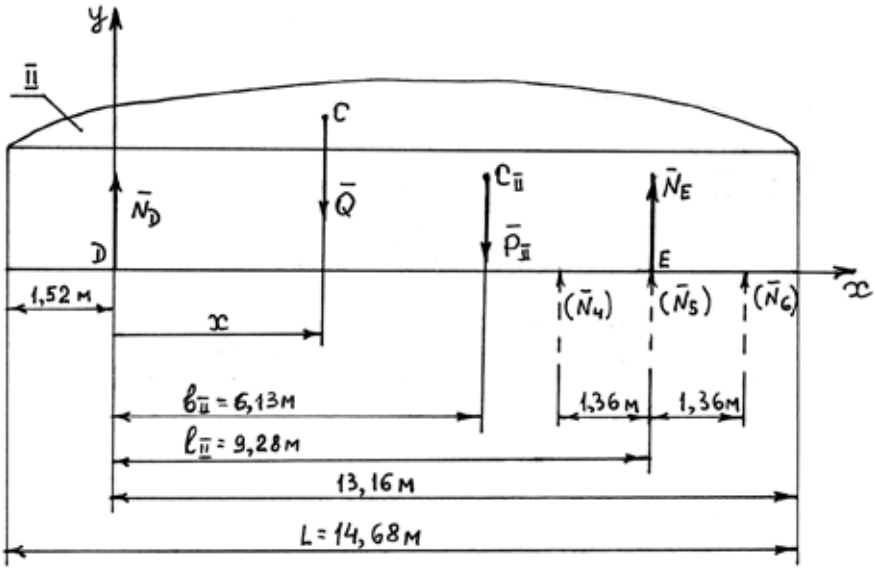

Рисунок 2. Расчетная схема для полуприцепа

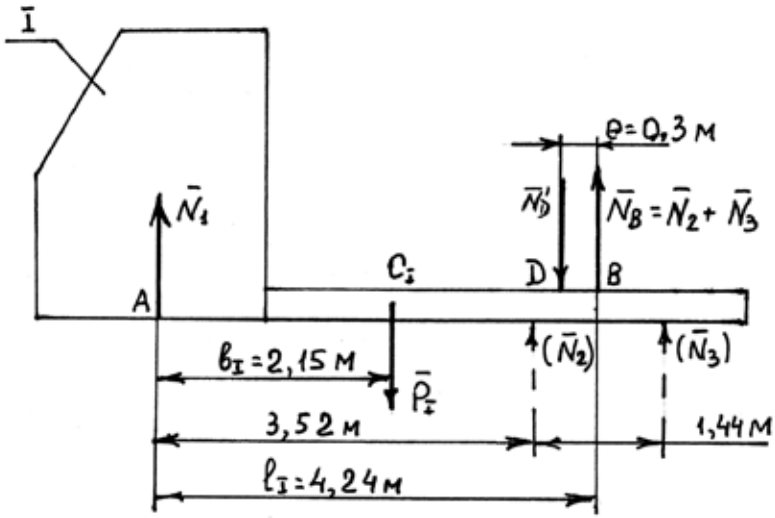

Рисунок 3. Расчетная схема для тягача

Принятые на рисунках и в расчетах обозначения и числовые значения:

I – тягач КАМАЗ 65221;

II – полуприцеп С93901 с грузом;

P_{I}, P_{II} – силы тяжести тел I и II ($P_{\text{I}} = 11{,}55$ тс, $P_{\text{II}} = 7{,}7$ тс);

C_{I}, C_{II} – центры тяжести тел I и II;

b_{I}, b_{II} – размеры, определяющие положение точек C_{I}, C_{II};

$b_{\text{I}} = 2{,}15$ м, $b_{\text{II}} = 6{,}13$ м (определение значений b_{I} и b_{II} см. ниже);

C – центр тяжести груза;

$\vec{Q}$ – сила тяжести груза;

1, 2, 3, 4, 5, 6 – оси с колесами;

$\vec{N}_1, \vec{N}_2, \vec{N}_3, \vec{N}_4, \vec{N}_5, \vec{N}_6$ – реакции горизонтальной дороги, по модулю равные давлению на оси; принято $N_2 = N_3$, $N_B = N_2 + N_3$, $N_4 = N_5 = N_6$, $N_2 = N_3$, $N_E = N_4 + N_5 + N_6$;

$\vec{N}_D$ – реакция седла тягача, приложенная к полуприцепу;

$\vec{N}'_D$ – реакция полуприцепа, приложенная к тягачу ($N'_D = N_D$, $\vec{N}'_D = -\vec{N}_D$);

A, B, C, D – точки приложения сил;

Dxy – оси координат;

x – координата центра тяжести груза;

$\sum F_{kx}$, $\sum F_{ky}$ – суммы проекций сил на оси x и y;

$\sum M_A(\vec{F}_k)$, $\sum M_D(\vec{F}_k)$ – суммы моментов сил относительно точек A и D;

$l_{\text{I}} = 4{,}24$ м, $l_{\text{II}} = 9{,}28$ м, $L = 14{,}68$ м, $e = 0{,}3$ м – конструктивные размеры.

Замечание. Принято: сила тяжести тележки равна 0,7 тс, приложить ее можно в точке E. Сила тяжести кузова полуприцепа (без тележки) равна 7,0 тс и приложена посередине длины кузова. При этих допущениях для полуприцепа без груза из условия $\sum M_D(\vec{F}_k) = 0$ получим:

$$7{,}7 \cdot b_{\text{II}} = 7{,}0 \cdot 5{,}82 + 0{,}7 \cdot 9{,}28, \quad b_{\text{II}} = 6{,}13 \text{ м}.$$

Расчетная часть. Рассмотрим равновесие ТС с грузом.

Уравнения равновесия [2] для полуприцепа (рис. 2):

$$\sum F_{kx} = N_D + N_E - P_{\text{II}} - Q = 0; \quad (1)$$

$$\sum M_D(\vec{F}_k) = N_E l_{\text{II}} - P_{\text{II}} b_{\text{II}} - Qx = 0. \quad (2)$$

Уравнения равновесия [2] для тягача (рис. 3):

$$\sum F_{kx} = N_D + N_E - P_{\text{II}} - Q = 0; \quad (3)$$

$$\sum M_D(\vec{F}_k) = N_E l_{\text{II}} - P_{\text{II}} b_{\text{II}} - Qx = 0. \quad (4)$$

Рассмотрим на примерах основные задачи, которые могут встретиться при размещении груза на полуприцепе.

Пример 1. При загрузке ТС нужно выполнить условия: значение N_E = const должно равняться допустимому в соответствии с категорией дороги, по которой будет следовать ТС. При этом максимальное значение $N_{E\max}$ = 23,1 тс (из технической характеристики на полуприцеп). Для примера выберем одно значение N_E = 18,0 тс. Числовые значения N_D при этом будут меняться, но не превышать $N_{D\max}$ = 14,6 тс (из технической характеристики на полуприцеп).

Из уравнений (1)–(4) запишем уравнения (5)–(10), с помощью которых составим таблицу 1, где $x = x_{\max}$ для каждого значения Q при N_E = 18,0 тс = const:

из уравнения (1)

$$N_D = Q + (P_{\text{II}} - N_E); \quad (5)$$

из уравнения (4)

$$N_B = \frac{1}{l_{\text{II}}}\left[P_{\text{I}} b_{\text{I}} + N_D(l_{\text{I}} - e)\right]; \quad (6)$$

из уравнения (2)

$$x_{\max} = \frac{N_E l_{\text{II}} - P_{\text{II}} b_{\text{II}}}{Q}; \quad (7)$$

из уравнения (3)

$$N_1 = P_{\text{I}} + N_D - N_B. \quad (8)$$

При этом силы давления колес 2–6:

$$N_2 = N_3 = N_B/2; \quad (9)$$

$$N_4 = N_5 = N_6 = N_E/3. \quad (10)$$

С помощью таблицы 1 построим графические зависимости $x_{\max}(Q), N_1(Q), N_2(Q)$, представленные на (рис. 4).

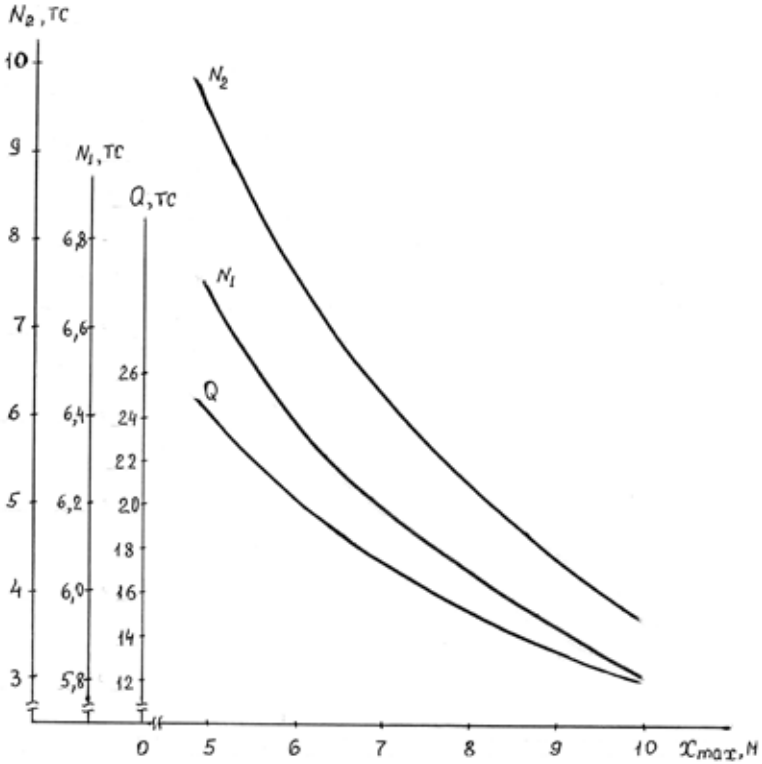

Рисунок 4. Зависимости $x_{\max}(Q)$, $N_1(Q)$, $N_2(Q)$ при N_E = 18,0 тс = const, $N_{D\max}$ = 14,6 тс

Таблица 1. – Числовые значения параметров для (рис. 4 N_E = 18,0 тс = const)

Q, тс	N_D, тс	N_B, тс	$x_{\max}$, м	N_1, тс	$N_2 = N_3$, тс	$N_4 = N_5 = N_6$, тс
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*
11,0	0,7	6,5	10,9	5,7	3,3	6,0
12,0	1,7	7,4	10,0	5,8	3,7	6,0
14,0	3,7	9,3	8,6	6,0	4,7	6,0
16,0	5,7	11,2	7,5	6,1	5,6	6,0

1	2	3	4	5	6	7
18,0	7,7	13,0	6,7	6,2	6,5	6,0
20,0	9,7	14,9	6,0	6,4	7,4	6,0
22,0	11,7	16,7	5,5	6,5	8,4	6,0
24,0	13,7	18,6	5,0	6,7	9,3	6,0
24,9	14,6	19,4	4,8	6,7	9,8	6,0
25,0	14,7	19,5	4,8	6,7	9,8	6,0

Пример 2. Соблюдая условие $N_{D\max} = 14{,}6$ тс = const, можно определить минимальные значения координаты $x_{\min}$ для данного веса груза Q. Необходимые для расчета формулы получим из уравнений (1)–(4):

из уравнения (1)

$$N_E = Q + P_{\text{II}} - N_D, \text{ или } Q = N_D - P_{\text{II}} + N_E; \qquad (11)$$

из уравнения (2)

$$x_{\min} = \frac{N_E l_{\text{II}} - P_{\text{II}} b_{\text{II}}}{Q}; \qquad (12)$$

из уравнения (4)

$$N_B = \frac{1}{l_{\text{II}}}\left[P_{\text{I}} b_{\text{I}} + N_D (l_{\text{I}} - e)\right] = 19{,}42 \text{ тс} = \text{const}; \qquad (13)$$

из уравнения (3)

$$N_1 = P_{\text{I}} + N_D - N_B = 6{,}7 \text{ тс} = \text{const}. \qquad (14)$$

При этом

$$N_2 = N_3 = N_B/2 = 9{,}7 \text{ тс} = \text{const}; \qquad (15)$$

$$N_4 = N_5 = N_6 = N_E/3. \qquad (16)$$

Формулы (11) и (12) позволяют подготовить (табл. 2), с помощью которой можно построить графические зависимости $N_4(x_{\min})$ и $x_{\min}(Q)$ при $N_{D\max} = 14{,}6$ тс = const.

С помощью этих графиков, соблюдая принятые условия перевозки, можно быстро приближенно определить максимальную координату центра тяжести груза $x_{\max}$ на полуприцепе

и силы давления осей N_1, N_2 и N_3, а также зависимость координаты $x_{\max}$ от веса груза Q. При этом N_E = 18,0 тс = const $N_{D\max} = 14{,}6$ тс; $N_4 = N_5 = N_6 = N_E/3$.

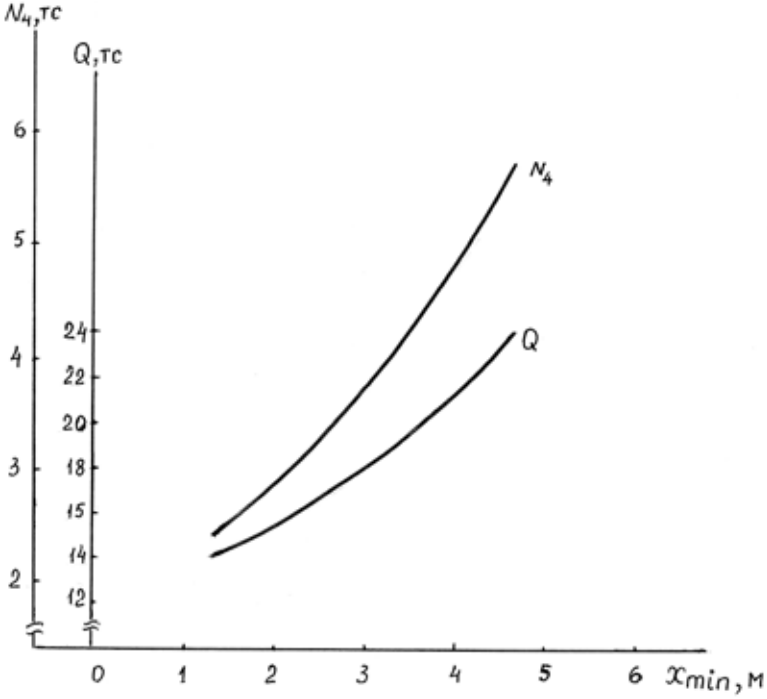

Рисунок 5. Зависимости $N_4(x_{\min})$ и $x_{\min}(Q)$ при $N_{D\max}$ = 14,6 тс = const

Таблица 2. – Числовые значения параметров для рис. 5 (N_D = 14,6 тс = const)

Q, тс	N_E, тс	$x_{\min}$, м	$N_2 = N_3$, тс	$N_4 = N_5 = N_6$, тс
14,0	7,1	1,3	9,7	2,4
16,0	9,1	2,3	9,7	3,0
18,0	11,1	3,1	9,7	3,7
20,0	13,1	3,7	9,7	4,4
22,0	15,1	4,2	9,7	5,0
24,0	17,1	4,6	9,7	5,7
25,9	18,0	4,6	9,7	6,0

Вывод. Если, например, необходимо разместить на полуприцепе груз весом 21,0 тс, не превышая установленную заводом-изготовителем техническую характеристику для ТС ($N_{D\max}$ = =14,6 тс) и суммарную силу давления колес полуприцепа на дорогу (например, для N_E = 18,0 тс или $N_4 = N_5 = N_6 = 6{,}0$ тс), то с помощью примеров 1 и 2 получим приблизительные значения:
из примера 1

$x_{\max}$ = 5,17 м, N_1 = 6,5 тс, $N_2 = N_3$ = 7,9 тс, $N_4 = N_5 = N_6$ = 6,0 тс;

из примера 2

$x_{\min}$ = 3,9 м, N_1 = 6,7 тс, $N_2 = N_3$ = 9,7 тс, $N_4 = N_5 = N_6$ = 4,6 тс.

Таким образом, при размещении на полуприцепе груза, для которого x изменяется в интервале $x_{\min} \ldots x_{\max}$, максимальная сила давления от задних колес тягача будет составлять $N_2 = N_3$ = = 7,9 … 9,7 тс.

Заключение. Определение сил давления колес ТС на дорогу и положения груза на полуприцепе можно проводить сравнительно быстро, если подготовить графический материал для этих целей. Приблизительные значения определяемых величин обеспечивают достаточную степень точности и позволяют соблюдать правила перевозки грузов, не допуская превышения установленных требований.

Графические зависимости, используемые для этих целей, могут быть построены исключительно на основе технической характеристики ТС завода-изготовителя и удобны в условиях отсутствия какого-либо весового контроля.

Возможность применения таких графических зависимостей показана на примере для одного ТС. Однако предлагаемая методика может быть использована и для других ТС.

Список литературы:

1. К расчету осевых нагрузок колесного транспортного средства // Аспирант и соискатель. 2020. – № 2 (116). – С. 34–37.
2. Никитин Н. Н. Курс теоретической механики: учебник для машиностроительных спец. вузов. 5-е изд., перераб. и доп. – Москва, Высшая школа, 1990. – 607 с.