

# 11, ноябрь 2015

УДК 629.1

## **Расчет сил давления осей автомобиля и полуприцепа на плоскость**

*Орлов П.С., студент*

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Аэрокосмические системы»*

*Научный руководитель: Варенцов В.В.,*

*к.т.н., доцент кафедры «Теоретическая механика»  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана*

*[fn3@bmstu.ru](mailto:fn3@bmstu.ru)*

### **Введение**

На территории Российской Федерации есть различные климатические зоны и условия, в которых сезонные колебания температур воздуха приводят к ухудшению качества и разрушению полотна автомобильных дорог. Особенно это явление проявляется в весенний период во время оттаивания грунта. При этом асфальтовое покрытие дополнительно портится под воздействием тяжелых груженых колесных ТС. Поэтому дорожные службы регламентируют нагрузки на оси автомобиля и общий вес автотранспорта для устранения деструктивных факторов.

Давление на ось (осевая нагрузка) – это нагрузка от массы автомобиля, передаваемая на дорожную поверхность колесами одной оси.

Таким образом, давление на ось автомобиля – это один из основных весовых параметров автомобиля, используемый при его проектировании и эксплуатации. В эксплуатации нормирование и контроль нагрузки на ось актуально, в основном, для грузовых автомобилей.

### **Категории дорог**

Дороги делятся на 5 категорий.

Для определенных типов дорог есть свои весовые ограничения. Автомобили группы А, у которых максимальное осевое давление составляет 6 – 10 т., допускаются только на дороги I – III категории. Автомобили группы Б могут эксплуатироваться на всех типах дорог [1].

Дороги I и II категорий с капитальными типами покрытий полнее отвечают условиям автомобильного движения. К их числу относят, например, новые автомагистрали с несколькими полосами движения в каждом направлении и двухполосные, имеющие по одной полосе движения в одну сторону. Широкие полосы движения (3,75 м), ограниченные максимальные уклоны (3...4 %), увеличенные радиусы поворота и уширенные обочины обеспечивают на этих дорогах безопасность движения и достаточную пропускную способность. Дороги III категории, рассчитанные на менее интенсивное движение, имеют облегченное усовершенствованное покрытие. Ширина каждой полосы движения такой дороги может быть уменьшена до 3,5 м, радиусы кривых в плане до 400 м, максимальные уклоны до 5 %. К IV категории относятся дороги с твердым покрытием, но не всегда усовершенствованным (булыжник, гравий). Ширина полосы движения на них не более 3 м, минимальные радиусы поворотов 250 м, максимально продольные уклоны 6 %. К V категории относятся профилированные дороги, не имеющие твердого покрытия (проходящие по естественному грунту). Иногда их поверхность обрабатывают специальными добавками, связующими грунт, и несколько повышающими стойкость верхнего слоя. В осеннюю и весеннюю распутицу, а также в период снежных заносов они обычно становятся непроезжими, но в начале зимы, с наступлением первых морозов и до сильных снегопадов, а также летом в сухое время грунтовые дороги обладают хорошими качествами для эксплуатации.

#### **Допускаемое предельное давление на ось**

Одним из главных критериев принятия предельного давления на ось является категория дороги, по которой перевозится груз: в настоящее время инструкция разбивает дороги на две группы – группа «А» (дороги I-III категории) и группа «Б» - усиленные дороги IV категории. Для II-III категории допустимое давление составляет 10 тонн на одну ось. Для дорог группы «Б» предельное давление на одну ось не должно превышать шести тонн. При этом в зависимости от межосного расстояния допустимое давление изменяется. Чем ближе оси располагаются друг к другу, тем больше они давят на некоторую площадь дорожного полотна.

Расстояние между осями (м)	Допустимая нагрузка на каждую ось (т)	
	Автомобили группы А	Автомобили группы Б
Свыше 2,00		
1,65-2,00	10,0	6,0
1,35-1,65	9,0	5,7
1,00-1,35	8,0	5,5
До 1,00	7,0	4,5

Разработаны такие критерии (табл.): с 2м до 1,65м разрешена нагрузка в 9 тонн. Еще учитывается, двухосная или трехосная тележка; 1,65-1,35 м – 8 тонн; 1,35-1 м – 7 тонн. Менее метра, хоть это и редко встречается, - 6 тонн. Сами сотрудники постов весового контроля при определении допустимого давления пользуются специальными справочниками, где расписаны предельные давления для всех типов грузовиков. Еще одним фактором, который приходится учитывать, является предельная допустимая масса транспортного средства: для дорог группы «А» предельная масса автопоезда не должна быть выше 38 тонн. Дороги группы «Б» менее выносливы и могут выдержать только 28,5 тонн. Впрочем, для них и это слишком много, ведь изначально они вообще не были рассчитаны на движение большегрузного транспорта ни по крепости дорожного покрытия, ни по грузоподъемности мостовых сооружений. Не стоит забывать и о сезонных ограничениях. В нашей стране, как известно, с середины апреля до середины мая допустимая нагрузка на ось у тяжеловозов ограничивается 6 тоннами. Хотя, по мнению некоторых специалистов, это все еще слишком много. В своих выкладках они опираются, например, на опыт Беларуси. Сезонные ограничения иногда уменьшаются до 5 тонн на ось. Как ни странно, экономика это выдержала без особых проблем. Транзитникам, правда, пришлось нелегко: на границе пришлось разгружаться до 5 тонн на ось, брать еще одну машину, везти груз до противоположной границы и там снова перегружать фуры в обратном порядке.

Проверку давления выполняют на пунктах весового контроля и, в редких случаях, на самих предприятиях, осуществляющих грузовые перевозки.

Суть статического взвешивания сводится к тому, что вес автомобиля с грузом определяется тогда, когда автомобиль полностью остановился на платформе весов, то есть на грузоприемном устройстве, которое установлено на тензодатчики. Весовой индикатор индицирует массу груза. Такой способ сулит максимальную точность при взвешивании. Она доходит до 0,01 процента.

**Важно!** В случае буксирующего транспортного средства, предназначенного для сочленения с полуприцепом (тягача для полуприцепа), в качестве массы, которую следует принимать в расчет при классификации этого транспортного средства, используют массу снаряженного транспортного средства (тягача) с учетом массы, соответствующей максимальной статической вертикальной нагрузке, передаваемой на тягач полуприцепом, а также, если это применимо, максимальной массы груза, размещенного на тягаче.

В случае нарушения штрафы для водителей составляют порядка 1500-2500 руб., а для юридических лиц (фирм-перевозчиков): 250-500 тыс. руб. [2].

### Метод расчета давления на ось ТС

Представляемый метод расчета должен позволить при загрузке ТС расположить груз так, чтобы давление на оси ТС не превышало допустимых значений.

Все уравнения, описывающие объекты, относятся к тем моментам, когда они либо находятся в состоянии покоя, либо движутся равномерно [3].

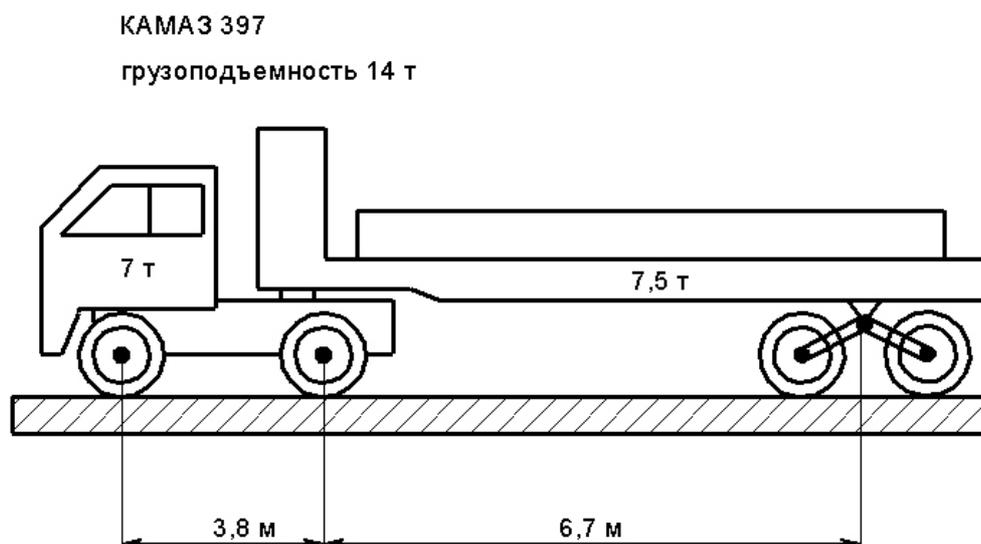


Рис.1. Схема ТС КАМАЗ 397

Задача не привязана к какому-либо конкретному типу тягачей, полуприцепов и грузов. Поэтому все формулы будут приведены в общем виде. Целью задачи не является получение абстрактных формул и решение систем уравнений. Разрешаются практические вопросы, и величины, которые могут быть измерены на практике, будут полагаться

известными. И для условной определенности рассматривать будем автомобиль КАМАЗ 397 с полуприцепом.

### Расчетная часть

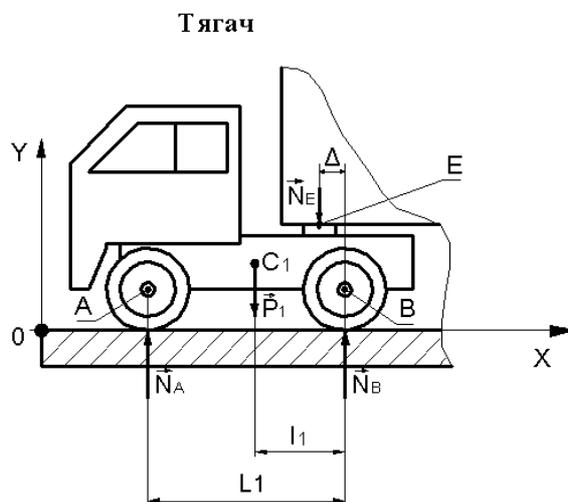


Рис. 2. Схема тягача

Уравнения равновесия сил, приложенных к тягачу, имеют вид:

$$\sum F_{ky} = N_A + N_B - P_1 - N_E = 0; \quad (1)$$

$$\sum M_B(\vec{F}_k) = -N_A * L_1 - P_1 * l_1 - N_E * \Delta = 0; \quad (2)$$

где

$C_1$  - центр тяжести тягача;

$E$  - шкворень седла;

$\Delta$  - расстояние от задней оси тягача до оси шкворня;

$\vec{N}_E$  - реакция прицепа на автомобиль;

$L_1$  - расстояние между осями тягача;

$l_1$  - расстояние от линии действия реакции  $\vec{N}_B$  до линии действия силы тяжести  $\vec{P}_1$ .

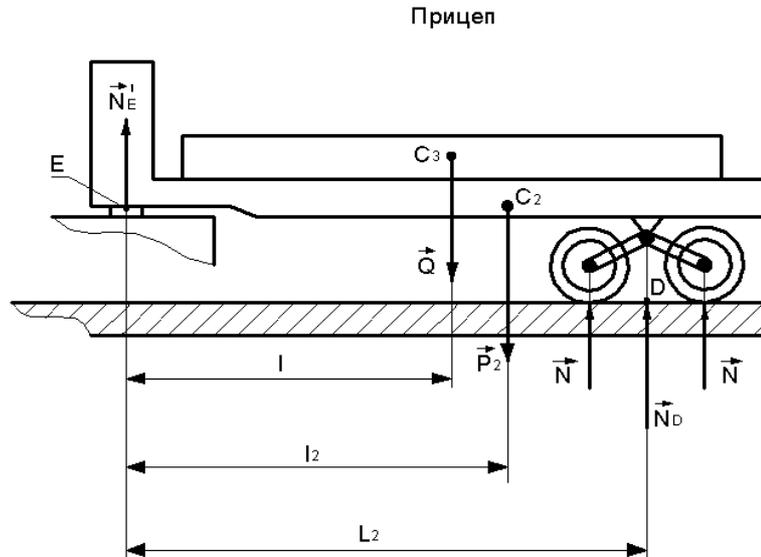


Рис. 3. Схема полуприцепа

$$\sum F_{ky} = N'_E - Q - P_2 + N_D = 0; \quad (3)$$

$$\sum M_E(\vec{F}_k) = -Q * l - P_2 * l_2 + N_D * L_2 = 0; \quad (4)$$

где

$\vec{N}'_E$  – реакция седла тягача на прицеп;  $\vec{N}'_E = -\vec{N}_E$ ; по модулю  $N'_E = -N'_E$

$\vec{N}_D$  – суммарная реакция плоскости, приложенная к тележке тягача; по модулю  $N_D = 2[N]$ ;

$\vec{P}_2$  – сила тяжести;

$\vec{Q}$  – сила тяжести груза;

$L_2$  – расстояние от оси шкворня до оси тележки;

$l_2$  – расстояние от линии действия силы тяжести  $\vec{P}_2$  до оси шкворня;

$l$  – расстояние от линии действия силы тяжести груза  $\vec{Q}$  до оси шкворня.

Давления осей на грунт численно равны реакциям  $N_A$ ,  $N_B$ ,  $N$ . При этом, если тележка полуприцепа включает две оси, то приближенно можно считать, что  $N_D = 2[N]$ , т.к. расстояние между осями тележки намного меньше размера  $L_2$ .

Система уравнений (1)-(4) позволяет решить различные задачи. Приведем некоторые из них.

### Задача 1

Известно:  $P_1, P_2, Q, l, l_1, l_2, L_1, L_2, \Delta$

Определить:  $N_A, N_B, N_D=2N$

Решение:

Из уравнения (4):

$$N_D = \frac{1}{L_2} * (Q * l + P_2 * l_2); \quad (5)$$

Из уравнения (3):

$$N_E = Q + P_2 - N_D; \quad (6)$$

Подставляя (6) в (2), получим:

$$N_A = \frac{1}{L_1} * (P_1 * l_1 + N_E * \Delta); \quad (7)$$

Подставляя (6) и (7) в (1), получим:

$$N_B = P_1 + N_E - N_A; \quad (8)$$

### Задача 2

Известно:  $N_A, N_D=2N, P_1, P_2, l_1, l_2, L_1, L_2, \Delta$

Определить:  $Q, N_B, l$

Решение:

Из уравнения (2) следует:

$$N_E = \frac{1}{\Delta} * (N_A * L_1 - P_1 * l_1) \quad (9)$$

Подставляя (9) в (3), получим:

$$Q = N_E + N_D - P_2 \quad (10)$$

Подставляя (10) в (4), получим:

$$l = \frac{1}{Q} * (N_D * L_2 - P_2 * l_2) \quad (11)$$

Из уравнения (1) найдем:

$$N_B = P_1 + N_E - N_A \quad (12)$$

### Задача 3

Известно:  $N_A, N_B, N_D=2N, P_1, P_2, l_1, l_2, L_1, L_2$

Определить:  $Q, l, \Delta$

Решение:

Из уравнения (1) следует:

$$N_E = N_A + N_B - P_1 \quad (13)$$

Из уравнения (3) получим:

$$Q = N_E + N_D - P_2 \quad (14)$$

Подставляя (14) в (4), получим:

$$l = \frac{1}{Q} * (N_D * L_2 - P_2 * l_2) \quad (15)$$

Подставляя (13) в (2), получим:

$$\Delta = \frac{1}{N_E} * (N_A * L_1 - P_1 * l_1) \quad (16)$$

В приведенных задачах величины  $N_A, N_B, N_D$ , могут равняться допускаемым или задаваемым значениям.

*Замечания:*

1. Расчетное значение  $\Delta$  позволяет при необходимости провести регулировку положения седла тягача.
2. Если задняя ось какого-либо другого тягача будет осью двухосной тележки, то приближенно можно положить  $N_B=2N$ .
3. При более точном расчете значения, рассмотренные задачи могут оказаться статически неопределимыми и их решения значительно усложнятся.
4. Для учета неравномерной нагрузки можно применить несколько различных подходов:
  - 1) Механический подбор коэффициентов;
  - 2) Ослабление исходного предположения о равномерном распределении нагрузки. Предполагается, что в случае 3-осного полуприцепа нагрузки на первые две оси равны между собой;
  - 3) Исследование такой модели, где нагрузка на оси будет неравномерной в силу природы этой модели.

## Выводы

1. Предлагаемый метод определения давления осей ТС позволяет практически быстро рассчитать необходимые параметры. Операторы по загрузке, опираясь на собственный опыт и зная погрешности расчета вкуче с правилами перевозок смогут вносить необходимые коррективы, тем самым эффективно распределять груз в ТС и избегать нарушений.
2. На основе выражений (1)-(4) для конкретного ТС можно создать планшет с графическими зависимостями интересующих величин, этот планшет позволит быстро ориентироваться в правильной загрузке ТС, определяемой условиями перевозки грузов.

## Список литературы

1. Постановление Правительства РФ от 15.04.2011 N 272 (ред. от 18.05.2015) «Об утверждении Правил перевозок грузов автомобильным транспортом». Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_113363/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_113363/) (дата обращения: 14.10.2015).
2. Статья 12.21.2 КоАП РФ. Нарушение правил перевозки опасных грузов. Режим доступа: <http://www.kodap.ru/kommentarii/razdel-2/glava-12/st-12-21-2-koap-rf> (дата обращения: 14.10.2015).
3. Дронг В.И., Дубинин В.В., Ильин М.М., Колесников К.С., Космодемьянский В.А., Назаренко Б.П., Панкратов А.А., Русанов П.Г., Саратов Ю.С., Степанчук Ю.М., Тушева Г.М., Шкапов П.М. Курс теоретической механики / под ред. К.С. Колесникова, В.В. Дубинина. 4-е изд., испр. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. 331 с.