

Расчет статической нагруженности балок осей автобуса

РУП Минский автомобильный завод
Минск. Белорусь

Прогнозирование реального нагружения осей автобуса от воздействия весов кузова, узлов и агрегатов трансмиссии, а также сил, вызванных равномерно распределёнными по салону пассажирами, на этапе проектирования является важным этапом на пути создания надёжной и долговечной конструкции автобуса.

В зависимости от степени заполненности салона и от распределения пассажиров внутри салона перераспределение сил может меняться в ту или иную сторону в значительных пределах. Особенно это сказывается при средней заполненности автобуса при подъезде к остановкам, когда готовящиеся к выходу пассажиры начинают скапливаться у выходных дверей с перераспределением основной массы на накопительных площадках и с тенденцией оттока от передней двери к средней и задней, догружая при этом избыточной вертикальной нагрузкой правое заднее колесо. Однако такие перераспределения масс носят случайный и непродолжительный характер (в промежутках между остановками происходит рассредотачивание пассажиров по всему салону) и на динамические процессы в пределах одного рейса в значительной мере не сказываются. Наибольший интерес представляет предельное заполнение автобуса в часы “пик”.

Определение реакций со стороны дороги транспортного средства со снаряжённой массой.

Будем считать, что на малых углах продольного и поперечного наклона дороги, что характерно для большинства дорог городов Беларуси, влияние кинематики подвески несущественно.

Рассмотрим наиболее общий случай нагружения с числом осей, отличным от 2-х (в зависимости от типа трансмиссии и компоновочной схемы транспортного средства).

Предположим, что каркас – абсолютно жёсткое тело, а подвеска каждого моста имеет жесткость C_i с учетом жёсткости самой подвески и жёсткости шин

$$\left(C_i = \frac{C_{mi} C_{ши}}{C_{mi} + C_{ши}} \right)$$

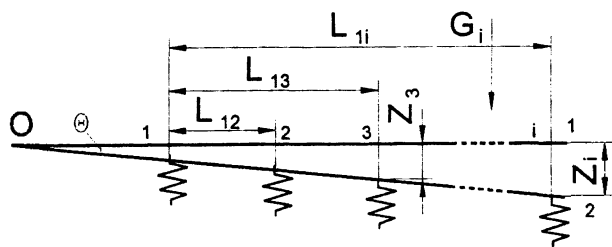


Рис 1. Геометрические характеристики транспортного средства.

Обозначим (рис. 1):

- L_1 – расстояние до I-й массы агрегата,
- L_{1i} – расстояние от 1-го моста (оси) до I-го моста (оси),
- G_i – I-я масса.

Тогда при приложении силы G_i на расстоянии l_i от первой оси рама переместится из положения 1 в положение 2, повернувшись относительно некоторого центра O на

угол θ . Если считать, что каждая точка при этом переместилась на расстояние Z_i , можно записать:

$$Z_i = \text{tg}\theta \cdot l_{oi}, \text{ где } l_{oi} - \text{расстояние от центра поворота } O \text{ до } i\text{-й точки.}$$

Учитывая то, что расположение центра O неизвестно, а расстояния до каждой массы удобнее связывать с первой осью, представим Z_i через Z_1 :

$$Z_i = Z_1 + l_{1i} \text{tg}\theta \quad (1)$$

Рассмотрим многоосное транспортное средство с $j=1 \dots m$ массами и $i=1 \dots n$ осями, стоящий на плоскости под углом α к горизонту (рис. 2).

Для данного случая G_i – обобщенная i -я составляющая масса.

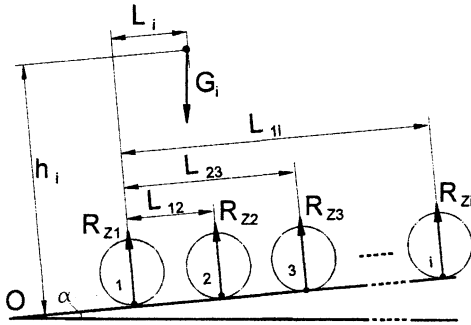


Рис 2. Транспортное средство на наклонной плоскости.

Найдем сумму проекций всех сил на нормальную к поверхности дороги ось и сумму моментов относительно т.1, при этом обозначим

$$G_1 + G_2 + \dots + G_i = G_a - \text{вес транспортного средства} \quad (2)$$

$$G_1 l_1 \cos \alpha + G_1 h_1 \sin \alpha + G_2 l_2 \cos \alpha + G_2 h_2 \sin \alpha + \dots + G_i l_i \cos \alpha + G_i h_i \sin \alpha = \sum_{i=1}^m (G_i l_i \cos \alpha + G_i h_i \sin \alpha) = A \quad (3)$$

Тогда

$$\sum F_x = 0; \quad R_{z1} + R_{z2} + \dots + R_{z1} = G_a \cos \alpha \quad (4)$$

$$\sum M_1 = 0; \quad R_{z2} l_{12} + R_{z3} l_{13} + \dots + R_{zi} l_{1i} = A \quad (5)$$

Учитывая, что $R_{zi} = C_i Z_i$, исходя из (1) и (4) можно записать:

$$C_1 Z_1 + (Z_1 + l_{12} \text{tg}(\theta)) C_2 + (Z_1 + l_{13} \text{tg}(\theta)) C_3 + \dots + (Z_1 + l_{1i} \text{tg}(\theta)) C_{2i} = G_a \cos(\alpha) \quad (6)$$

Или, раскрывая скобки и группируя, получим:

$$C_1 Z_1 + C_2 Z_1 + C_3 Z_1 + C_i Z_1 + C_2 l_{12} \text{tg}(\theta) + C_3 l_{13} \text{tg}(\theta) + \dots + C_i l_{1i} \text{tg}(\theta) = Z_1 \sum_{i=1}^n C_i + \text{tg}(\theta) \left(\sum_{i=2}^n C_i l_{1i} \right) = G_a \cos \alpha \quad (7)$$

Из (7)

$$\begin{aligned}
& C_2 Z_2 l_{12} + C_3 Z_1 l_{13} + \dots + C_i Z_i l_{1i} = C_2 (Z_1 + l_{12} \operatorname{tg}(\Theta)) l_{12} + \\
& + C_3 (Z_1 + l_{13} \operatorname{tg}(\Theta)) l_{13} + \dots + C_i (Z_1 + l_{1i} \operatorname{tg}(\Theta)) l_{1i} = \\
& = C_2 Z_1 l_{12} + C_2 l_{12}^2 \operatorname{tg}(\Theta) + C_3 Z_1 l_{13} + C_3 l_{13}^2 \operatorname{tg}(\Theta) + \dots + C_i Z_i l_{1i} + \\
& + C_i l_{1i}^2 \operatorname{tg}(\Theta) = Z_1 (C_2 l_{12} + C_3 l_{13} + \dots + C_i l_{1i}) + \operatorname{tg}(\Theta) \times \\
& \times (C_2 l_{12}^2 + C_3 l_{13}^2 + \dots + C_i l_{1i}^2) = Z_1 \sum_{i=2}^n C_i l_{1i} + \operatorname{tg}(\Theta) \sum_{i=2}^n (C_i l_{1i}^2) = A
\end{aligned} \tag{8}$$

Откуда

$$Z_1 = \frac{A - \operatorname{tg}(\Theta) \sum_{i=2}^n (C_i l_{1i}^2)}{\sum_{i=2}^n C_i l_{1i}} \tag{9}$$

$$\text{Из (7) } Z_1 = \frac{G_a \cos \alpha - \operatorname{tg}(\Theta) \left(\sum_{i=2}^n C_i l_{1i} \right)}{\sum_{i=1}^n C_i} = E \tag{10}$$

Приравнявая выражения (9) и (10), получим

$$\frac{A - \operatorname{tg}(\Theta) \sum_{i=2}^n (C_i l_{1i}^2)}{\sum_{i=2}^n C_i l_{1i}} = \frac{G_a \cos \alpha - \operatorname{tg}(\Theta) \left(\sum_{i=2}^n C_i l_{1i} \right)}{\sum_{i=1}^n C_i} \tag{11}$$

Преобразовывая полученные равенства, получим

$$\operatorname{tg}(\Theta) = \frac{G_a \cos \alpha \sum_{i=2}^n C_i l_{1i} - A \sum_{i=1}^n C_i}{\left(\sum_{i=2}^n C_i l_{1i} \right)^2 - \sum_{i=1}^n C_i \sum_{i=2}^n (C_i l_{1i}^2)} = B \tag{12}$$

Подставляя выражения (10) и (12) в (1), получим

$$R_{zi} = Z_i C_i = C_i (E + l_{1i} B), \tag{13}$$

где C_i - суммарная жёсткость подвески i -го моста,
 l_{1i} - расстояние от передней оси до расчетной i -й оси,
 E и B - постоянные, рассчитанные по формулам (10) и (11).

Подставляя данные в формулу (13), можно определить реакции со стороны дороги на каждой оси.

Данный метод расчета позволяет быстро находить дорожные реакции при компоновке транспортного средства с целью определения наиболее оптимальных геометрических и массовых характеристик агрегатов, влияющих на статическое распределение нагрузок на оси, а также нагруженности трансмиссии при расчётах на этапе проектирования.

Рассмотрим транспортное средство в поперечной плоскости, стоящее на наклонной площадке с углом поперечного уклона β (рис. 3).

Если обозначить через:

- R_{zl} и R_{zp} реакции со стороны дороги на левую и правую стороны,
- h_1 - высоту расположения центра масс агрегатов,
- B - колею,
- B_1 - расстояние до I -й массы в поперечной плоскости, то уравнения равновесия:

$$\sum M_1 = 0 \quad \sum_{i=1}^n (G_i \cos(\alpha) l_{1i} + G_i \sin(\alpha) h_i) = R_{zp} L \tag{14}$$

$$\sum M_2 = 0 \quad \sum_{i=1}^n (G_i \cos(\alpha)(L - l_{1i}) - G_i \sin(\alpha) h_i) = R_{z1} L \quad (15)$$

$$\sum Fx = 0 \quad \sum_{i=1}^n G_i \cos(\alpha) = R_{zp} + R_{z1} \quad (16)$$

Учитывая, что распределение нагрузки по бортам складывается из нагрузок на мосты, можно записать:

$$R_{z1} = \sum_{i=1}^n R_{z1i} \quad (17)$$

$$R_{zp} = \sum_{i=1}^n R_{zpi} \quad (18)$$

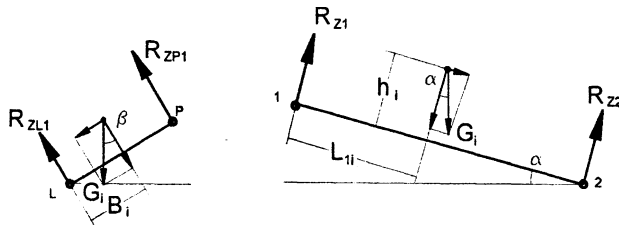


Рис 3. Транспортное средство на наклонной плоскости.

Если принять коэффициент перераспределения нагрузки по бортам, равным

$\Delta = \frac{R_{z1}}{R_{zp}}$, то для I-го моста можно записать:

$$R_{z1i} + R_{zpi} = R_{z1i} + \Delta R_{z1i} = R_{z1i} (1 + \Delta) = R_{zpi} \quad (19)$$

Тогда для правой стороны каждой оси можно найти соответствующую реакцию со стороны дороги

$$R_{zpi} = R_{zi} - R_{z1i} \quad (20)$$

Приведенные рассуждения можно распространить на любое транспортное средство, стоящее на наклонной поверхности с углами продольного (α) и поперечного (β) наклона.

Определение нагрузки на дорожку от массы пассажиров

Если на этапе проектирования принята компоновочная схема автобуса, то данный метод расчёта можно применить для расчёта перераспределения масс по колёсам автобуса от загрузки пассажирами.

Для изучения влияния массы пассажиров на вертикальные нагрузки от дороги будем исходить из максимальной вместимости автобуса (скажем, 2-х осного). Будем считать при этом, что каждый пассажир занимает площадь салона $S_p = \frac{S_{asm}}{n_p}$, где S_{asm} -

площадь салона автобуса для стоящих пассажиров (не учитывается площадь между сиденьями, поручнями, где также могут находиться пассажиры при номинальной загрузке и в часы “пик”, n_p - максимально возможное число пассажиров в данном расчёте.

Будем считать, что занимаемая площадь каждого пассажира – квадрат со стороной $K = \sqrt{S_p}$

Значения расчётных перераспределений масс приведены на рис.4. Видно значительное перераспределение нагрузок при номинальной заполненности салона автобуса.

Геометрические характеристики салона автобуса Таблица

Параметр	Значение и единица измерения
Площадь салона	$S=12306560\text{мм}^2$
Периметр салона	$P=29124,79\text{мм}$
Число сидений	$N_c=23$
Максимальное число пассажиров	$N_p=123$
Площадь, приходящаяся на одного пассажира	$S_p=123065\text{мм}^2$
Сторона квадрата	$K=350,81\text{мм}$

В таблице приводятся данные для расчета геометрических характеристик в формуле (13).

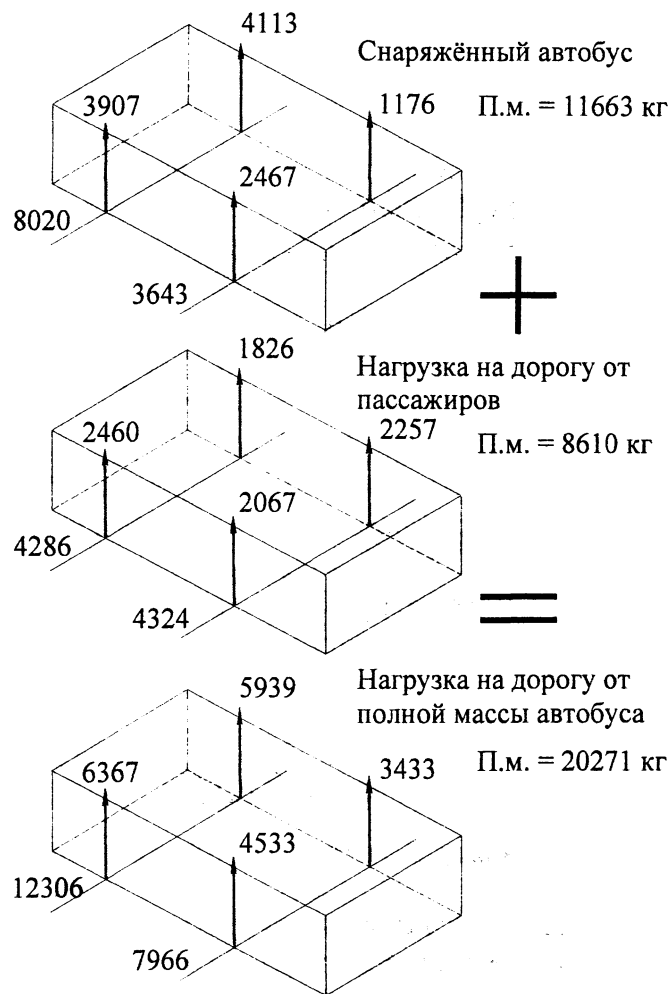


Рис. 4 Перераспределение вертикальных усилий на колеса от загрузки салона автобуса пассажирами.