

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ СТАТИЧЕСКОЙ ПОПЕРЕЧНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ КОЛЕСНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Бояркин С.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Блянкинштейн И.М.

Сибирский федеральный университет

Устойчивостью автомобиля называют его свойство сохранять направление движения, противостоять опрокидыванию и поперечному скольжению. Различают продольную и поперечную устойчивость. Более вероятна и опасна потеря поперечной устойчивости. Поперечная устойчивость транспортных средств и самоходных машин является одним из важнейших показателей безопасности, оценке этого свойства придается большое значение.

Аспекты оценки поперечной устойчивости различных транспортных средств отражены в трудах отечественных ученых В.А.Павлова (21 НИИ МИНОБОРОНЫ), Е.П.Плавельского (ОАО «ЦНИИП СДМ»), Э.Н.Никульникова (НИЦИАМТ), А.Е.Плавельского (АНО «ТрансСДГМтест»), Л.Л.Гинцбурга, Б.В. Кисуленко (ФГУП НАМИ и многих других).

Согласно ГОСТ Р 52302-2004 «Автотранспортные средства. Управляемость и устойчивость» нормированными параметрами, характеризующими поперечную статическую устойчивость автомобиля, прицепа или седельного автопоезда, в настоящее время являются:

- угол статической устойчивости $\alpha_{c,y}$ - угол наклона опорной поверхности опрокидывающей платформы относительно горизонтальной плоскости, при котором произошел отрыв всех колес одной стороны одиночного АТС или всех колес одной стороны одного из звеньев седельного автопоезда от опорной поверхности;

- угол крена подрессоренных масс φ - угол между опорной поверхностью опрокидывающей платформы и поперечной осью подрессоренных масс (осью Y в системе координат по [1]), проходящей через центр масс АТС, полученный в результате наклона АТС на опрокидывающей платформе.

Величина угла $\alpha_{c,y}$ статической устойчивости АТС против опрокидывания, полученная в результате испытаний, должна быть не менее нормативного значения $\alpha_{н}$, зависящего от коэффициента q_s поперечной устойчивости АТС.

Коэффициент поперечной устойчивости q_s определяют по формуле

$$q_s = \frac{0,5b}{h}, \quad (1)$$

где b - колея колес, приведенная к поперечному сечению АТС в плоскости, проходящей через его центр масс, мм;

h - высота центра масс над опорной поверхностью, мм.

Величину колеи колес полуприцепа вычисляют как среднее между серединами наружных колес задней оси (тележки) тягача и серединами наружных колес оси (тележки) полуприцепа.

Высоту центра масс определяют по формуле

$$h = \frac{0,5b - h_{к.л} \cdot \operatorname{tg} \alpha_{с.у} - \Delta}{\operatorname{tg} \alpha \cdot \cos \varphi + \sin \varphi} + h_{к.л}, \quad (2)$$

где $h_{к.л}$ - высота оси крена над опорной поверхностью в поперечном сечении, проходящем через центр масс, мм;

D - боковое смещение центра масс, определяемое по результатам измерений боковой деформации шин, мм.

При отсутствии точных данных величина $h_{к.л}$ может быть принята равной статическому радиусу колеса АТС.

При определении соответствия величины угла $\alpha_{с.у}$ нормативным значениям α_n АТС всех категорий в зависимости от коэффициента поперечной устойчивости (большого или меньшего единицы) разделены на две группы, каждой из которых соответствует своя зависимость $\alpha_n = f(q_s)$:

$$\alpha_n = (-2,4 + 42,4q_s)^\circ \quad \text{при } 0,55 \leq q_s \leq 1,0, \quad (3)$$

$$\alpha_n = (15 + 25 q_s)^\circ \quad \text{при } q_s > 1,0, \quad (4)$$

$$\alpha_n \geq 21^\circ \quad \text{при } q_s < 0,55.$$

Угол крена φ поддресоренных масс определяют при угле наклона платформы, при котором происходит отрыв всех колес одной стороны одиночного АТС или всех колес одного из звеньев автопоезда от опорной поверхности. Максимальное допустимое значение угла крена φ поддресоренных масс в центре масс АТС, полученное в результате испытаний, не должно превышать предельных значений φ_n , заданных в зависимости от коэффициента поперечной устойчивости q_s .

При этом АТС всех категорий разделены на две группы, каждой из которых соответствует своя зависимость $\varphi_n = f(q_s)$:

$$\text{- при } q_s \leq 1,0 \quad \varphi_n = (10,8 - 4,3q_s)^\circ;$$

$$\text{- при } q_s > 1,0 \quad \varphi_n = 6,5^\circ. \quad (5)$$

Критерием соответствия нормативным требованиям данного стандарта является условие

$$\varphi \leq \varphi_n, \quad (6)$$

где φ_n - предельно допустимое значение угла крена.

График зависимостей (5) и (6) представлен на рисунке 1

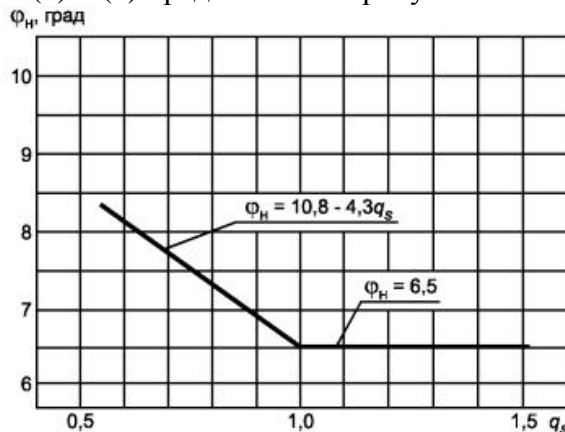


Рисунок 1 - Зависимость угла крена φ_n поддресоренных масс АТС от коэффициента поперечной устойчивости q_s

Как известно α_{cy} поперечной статической устойчивости и угол φ_{cy} бокового крена, определяемые на стенде в момент начала бокового опрокидывания АТС. Но эксперимент – дело дорогостоящее. По этой и ряду других причин специалисты (21 НИИ МИНОБОРОНЫ) разработали расчетно – экспериментальный метод определения α_{cy} и φ_{cy} . Согласно этому методу расчетная методика определения поперечной устойчивости базируется на схеме бокового опрокидывания АТС, приведенной на рисунке 2.

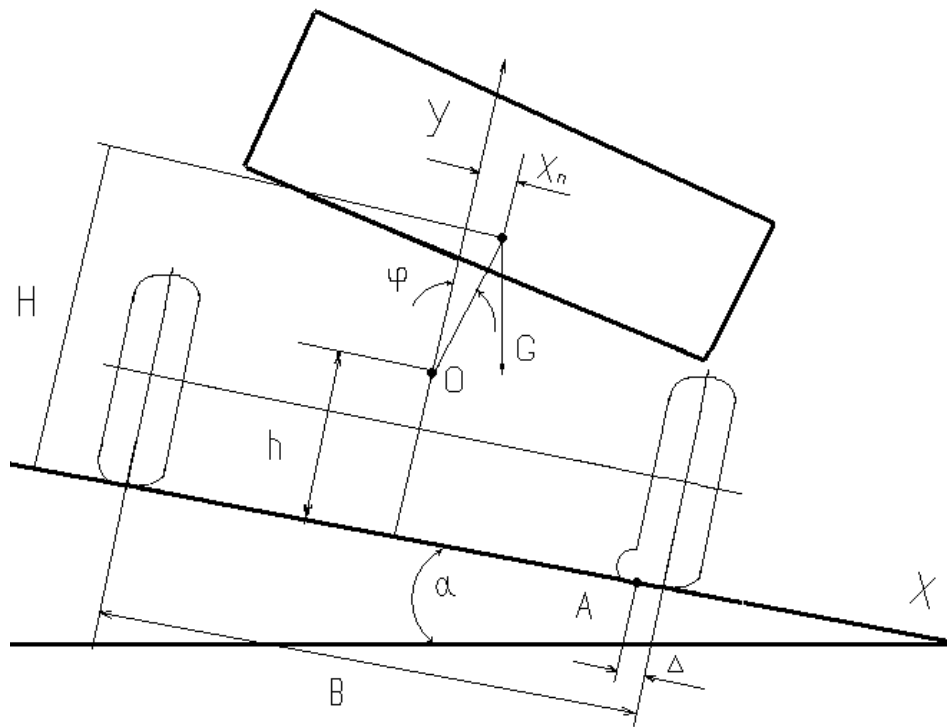


Рисунок 2. Расчетная схема бокового опрокидывания АТС, рекомендуемая ГОСТ Р 52302 - 2004

Как видно из рисунка, расчетная схема содержит два допущения. Во-первых, в ней принято, что при боковом наклоне платформы стенда поворот на угол φ относительно центра крена O , жестко связанного с осью колеса и платформой, совершает только подрессоренная масса АТС; во-вторых, считается, что центр масс всего АТС, расположенный на высоте H , перемещается при крене вместе с подрессоренной массой. При таких допущениях угол α_{yc} поперечной статической устойчивости легко определяется через его тангенс

$$\operatorname{tg}\alpha_{cy} = (B/2 - (H - h) \varphi_{cy} - \Delta)/H \quad (7)$$

Высота H центра масс АТС при статическом опрокидывании на стенде.

$$H = (B/2 - \Delta + h\varphi_{cy})/\operatorname{tg}\alpha + \varphi_{cy} \quad (8)$$

При этом непосредственно измеряют величины углов бокового наклона платформы стенда (α) и бокового крена подрессоренной массы (φ), а также высоту h центра крена, деформацию Δ шин и (при необходимости) колею B .

Как видно из этих формул, в них, по сути входят лишь два известных параметра – колея B и высота H центра масс АТС. Поэтому основная методическая трудность применения данных формул заключается в том, чтобы выявить способ расчетного определения параметров: φ_{cy} , Δ – боковая деформация шины в момент потери устойчивости АТС; h – высота центра крена.

Для решение задачи используется уравнение крена, составленное по рисунку 2.

$$G[(H - h)\sin\alpha + X_{п}\cos\alpha] = C_y\varphi \quad (9)$$

где $G = m_a g$ – сила веса АТС; α – угол бокового наклона платформы стенда; $X_{п}$ – перемещение центра масс при крене; C_y – угловая жесткость подвески (отношение момента, вызывающего крен, к углу крена); φ – угол бокового крена подрессоренной массы. При этом, согласно тому же рисунку 2, поперечное перемещение $X_{п}$ центра масс при крене.

$$X_{п} = (H - h)\varphi \quad (10)$$

Решая совместно уравнения (9) и (10) относительно C_y и разделив полученный результат на силу G , для момента опрокидывания АТС получают формулу для расчета приведенной (удельной) угловой жесткости АТС, характеризующей сопротивление последнего боковому крену в момент потери устойчивости.

$$C_{пу} = (H - h)(\sin\alpha_{cy} + \varphi_{cy} \cos\alpha_{cy}) / \varphi_{cy} \quad (11)$$

Для получения формулы расчета критического угла крена с помощью приведенной угловой жесткости Павлов В.А. решает совместно уравнения (8) и (11) относительно φ_{cy} . В итоге получает алгебраическое уравнение четвертой степени, которое далее предлагает решать методом последовательных приближений.

$$\varphi_{cy}^4 - (2(B/2 - \Delta)/(H - h))\varphi_{cy}^3 + [(H^2 + (B/2 - \Delta)^2)/(H - h)^2 - h^2/C_{пу}^2]\varphi_{cy}^2 + (2(B/2 - \Delta)/\varphi_{пу}^2) \varphi_{cy} + (B/2 - \Delta)/\varphi_{пу}^2 = \varphi_{cy}^4 + \alpha\varphi_{cy}^3 + \beta\varphi_{cy}^2 + c\varphi_{cy} + d = 0 \quad (12)$$

Как видно из приведенных теоретических выкладок, аналитического решения в чистом виде не существует. Чтобы найти приведенную поперечную угловую жесткость АТС « $C_{пу}$ », необходимо иметь углы α_{cy} и φ_{cy} , которые можно определить экспериментально на стенде (платформе опрокидывания). А чтобы найти аналитически углы α_{cy} и φ_{cy} необходимо знать значения параметров $C_{пу}$, Δ , h .

В результате анализа расчетной методики определения угла поперечной статической устойчивости α_{cy} и угла крена подрессоренной массы φ_{cy} , можно сделать вывод что, расчетная методика оценки рассматриваемых свойств с высокой достоверностью может быть применена лишь для расчета близких по характеристикам к исследуемому транспортному средству аналогам, для которых имеются все параметры, определенные по результатам испытаний на платформе опрокидывания. Для вновь созданных АТС, для которых нет данных испытаний и нет данных по аналогам, единственный верный способ оценки параметров поперечной устойчивости – испытания на платформе опрокидывания.

Проведенный анализ подтверждает известную истину – расчетные методики оценки рассматриваемых свойств зачастую теряют свои преимущества ввиду отсутствия достоверных исходных данных об исследуемом объекте.