

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ОПРОКИДЫВАНИЮ БОЛЬШЕГРУЗНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА ПРИ КРИВОЛИНЕЙНОМ ДВИЖЕНИИ

М.В. Лисицкая¹, В.И. Анциферова¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова»

Опрокидыванию грузовика способствует увеличение высоты движителя относительно площади, на которой она опирается, то есть, когда значение угла опрокидывающего контура становится равным максимальному значению, то движение по направлению крена из-за силы тяжести и сил инерции опрокидывание грузовика – неизбежно. Чтобы характеризовать критерий устойчивости грузовика с полуприцепом, то необходимо учесть все его параметры, противодействующие опрокидыванию, а также место нахождения центров масс, по отношению к движителю, что в тоге определяет края статической устойчивости грузовика.

Ключевые слова: большегрузное транспортное средство, тягач, груз, поперечная устойчивость, прямолинейное и криволинейное движение, момент опрокидывания, коэффициент сцепления, реакция опоры, занос.

METHOD FOR DETERMINING TIPPING STABILITY OF A LARGE-LOADED VEHICLE IN CURVED MOVEMENT

M.V. Lisitskaya¹, V.I. Antsiferova¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

The overturning of the vehicle corresponds to such a rise of the propeller above the supporting surface, at which the roll angle of the frame reaches a limiting value and its further movement in the direction of roll under the action of gravity and inertia becomes irreversible. The main criteria for the stability of vehicles (V) against overturning are the characteristics of its geometric parameters and the location of the center of mass, relative to the propeller, which determine the boundaries of its static stability.

Key words: heavy-duty vehicle, tractor, load, lateral stability, straight and curved motion, overturning moment, adhesion coefficient, support reaction, skidding.

Оценка устойчивости грузовика с полуприцепом означает способность системы возвращаться к равновесию вследствие того, что вмешательство внешних факторов будет прекращено, которые нарушали равновесие системы. Когда система не является устойчивой, то есть утратила способность приходить к равновесию, и она может от него отдаляться или колебаться по окружности вблизи него [1, 8].

Устойчивостью называют совокупность свойств колесной машины, характеризующих её способность сохранять заданное направление движения при воздействиях внешней среды, стремящихся отклонить её от этого направления.

Основным показателем устойчивости является коэффициент запаса поперечной устойчивости (КЗПУ). Он определяется как отношение суммарного восстанавливающего момента, создаваемого весом всех частей автомобиля относительно оси опрокидывания, к суммарному опрокидывающему моменту, создаваемому боковыми силами, которые действуют на автомобиль в процессе эксплуатации и стремятся опрокинуть его относительно той же оси опрокидывания:

$$K = \frac{M_B}{M_O} \geq 1,2,$$

где M_B и M_O – суммарные восстанавливающий и опрокидывающий моменты, методика определения которых рассмотрена далее.

При расчете КЗПУ были учтены все нагрузки, действующие на большегрузный автомобильный транспорт (БАТ) в условиях движения: суммарная масса БАТ и перевозимого груза; инерционные нагрузки, обусловленные поперечно-угловыми колебаниями, вызванными воздействием дорожных неровностей и изменением траектории движения; суммарная составляющая ветровых нагрузок, действующая перпендикулярно к боковой поверхности большегрузного автомобильного транспорта.

Оценка устойчивости по критической скорости движения строительных и дорожных машин на повороте с поперечным уклоном дороги [6] позволяет сформулировать вывод о том, что критическая скорость движения машины на

повороте должна быть тем меньше, чем больше угол поперечного уклона и меньше радиус поворота, так как массово-геометрические характеристики машины остаются неизменными.

Исследования динамической устойчивости БАТ при движении на криволинейных участках дорог с малыми радиусами выполнены в два этапа:

- по условию отсутствия бокового опрокидывания;
- по условию отсутствия заноса или сдвига колес при движении на повороте с учетом поперечного уклона дороги.

Расчет КЗПУ был проведен при наиболее неблагоприятном сочетании расчетных нагрузок, когда поперечные силы, действующие на автомобиль или автопоезд-полуприцеп, направлены в сторону опрокидывания. расчетная схема построена для случая движения на криволинейном участке дороги, имеющей уклон в сторону поворота, и при действии боковой ветровой нагрузки, направленной в ту же сторону (рисунок 1) [3].

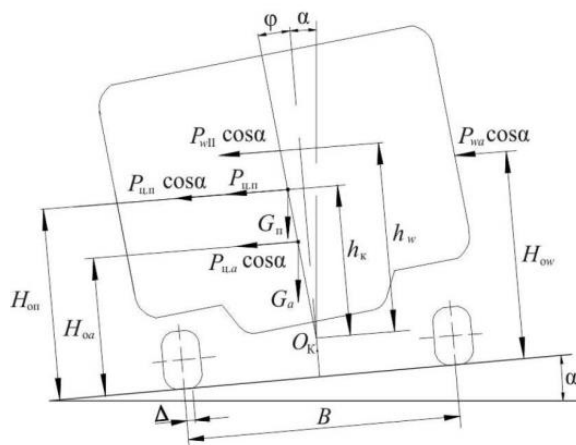


Рисунок 1 – Расчетная схема для определения коэффициента запаса поперечной устойчивости

Угол крена подрессоренной части БАС определен из условия равновесия

$$M_{вп} = M_{оп}.$$

Восстанавливающий момент, создаваемый подвесками БАС,

$$M_{в.н} = C_{\phi} \phi - G_n \cos \alpha h_k \phi = \phi (C_{\phi} - G_n h_k \cos \alpha).$$

Опрокидывающий момент, действующий на подрессоренную часть БАС,

$$M_{о.н} = M_{u.n} + M_{n.n} + M_{wa} \pm M_{Gn}.$$

где $M_{u.n}$ – момент, создаваемый силой инерции $P_{u.n}$, обусловленной ускорениями при поперечно-угловых колебаниях под воздействием неровности дороги.

Угол крена подрессоренной части φ БАС определен из условия равновесия правых частей уравнений (1) и (2) [2]:

$$\varphi = \frac{M_{u.n} + M_{u.a} + M_{wa} \pm M_{Gn}}{C_\varphi - G_n h_K \cos \alpha}.$$

Восстанавливающий момент, создаваемый всей массой БАС G_a , с учетом влияния углов поперечного уклона дороги α и крена φ [4-7] примет значение:

$$M_B = G_a \cos \alpha (0.5B - \Delta) - G_n \cos \alpha h_K \sin \varphi = [G_a (0.5B - \Delta) - G_n h_K \sin \varphi] \cos \alpha.$$

где Δ – смещение плеча силы $G_a \cos \alpha$ за счет боковой деформации шин,

$$\Delta = \frac{P_{u.n} + P_{u.a} \cos \alpha + P_{wa} + G_a \sin \alpha}{\sum_1^n C_{u.\delta}}.$$

Боковая жесткость шины определена через радиальную жесткость зависимостью:

$$C_{u.\delta} = 0,6 C_u; \quad C_u = p_u \pi \sqrt{DB_u}; \quad M_o = M_{u.a} + M_{u.a} + M_{wa} \pm M_{G_a}.$$

где $M_{u.a}$ – момент, создаваемый силой инерции $P_{u.a}$ относительно оси опрокидывания,

$$M_{u.a} = P_{u.n} H_{o.n} = G_n \sigma_z H_{o.n} \frac{1}{g}; \quad M_{u.a} = P_{u.a} H_{o.a} \cos \alpha = \frac{G_a g_a^2 H_{o.a} \cos \alpha}{12.96 g R};$$

$$M_{wa} = P_{wa} H_{ow} \cos \alpha; \quad K = \frac{M_\epsilon}{M_o} = \frac{[G_a (0.5B - \Delta) - G_n h_K \sin \varphi] \cos \alpha}{M_{u.a} + M_{u.a} + M_{wa} \pm M_{G_a}}.$$

Полученные значения моментов M_o и M_ϵ использованы для определения коэффициента запаса поперечной устойчивости БАС:

$$K = \frac{M_\epsilon}{M_o} = \frac{[G_a (0.5B - \Delta) - G_n h_K \sin \varphi] \cos \alpha}{M_{u.a} + M_{u.a} + M_{wa} \pm M_{G_a}}.$$

Из полученного уравнения (4) определена допустимая скорость движения БАС по условию устойчивости к опрокидыванию. Величина момента $M_{u.a}$, создаваемого центробежной силой, определена по формуле (3):

$$g_{a.o} = \sqrt{\frac{12,96gR}{KG_a H_{o.a} \cos \alpha} \{ [G_a(0.5B - \Delta) - G_n h_K \sin \varphi] \cos \alpha - K(M_{n.a} + M_{wa} \pm M_{Ga}) \}}.$$

Коэффициент $K_{y.3}$ определен как отношение удерживающей от заноса силы сцепления колес с дорогой N_{cy} к суммарной сдвигающей силе:

$$K_{y.3} = \frac{N_{cy}}{N_{cd}} \geq [K_{y.3}].$$

При расчете коэффициента $K_{y.3}$ радиус поворота R и угол поперечного уклона дороги принимаются в соответствии с заданными в ТЗ дорожными условиями. Заносу в наибольшей степени подвержены задние колесные ходы автомобилей и полуприцепов [9].

Сдвигающая сила N_{cd} равна сумме составляющих центробежной силы $P_{ca} \cos \alpha$, силы тяжести $G_a \sin \alpha$, силы инерции P_{ua} и силы бокового ветра $P_{wa} \cos \alpha$, приходящихся на задний колесный ход:

$$N_{cd} = \left(\frac{G_a g_a^2 \cos \alpha}{12,96gR} + G_a \sin \alpha + \frac{G_{II} \sigma_z}{g} \right) K_{3.x} + K_{6.3} P_{wa} \cos \alpha$$

Удерживающая от заноса сила сцепления: $N_{cy} = \phi_{cy} G_a \cos \alpha K_{3.x}$ где ϕ_{cy} – коэффициент сцепления шин с дорогой.

Допустимая скорость движения автомобиля на повороте по заносу определяется из равенства сдвигающей силы N_{cd} и удерживающей силы N_{cy} , уменьшенной на коэффициент запаса устойчивости по заносу $K_{y.3}$:

$$g_{a.3} = \sqrt{12,96gR \left(\frac{\phi_{cy}}{K_{y.3}} - \tan \alpha - \frac{G_{II} \sigma_z}{g G_a \cos \alpha} - \frac{K_{6.3} P_{wa}}{K_{3.x} G_a} \right)}$$

Критическая скорость по заносу автомобиля v_{k3} может быть получена, если в уравнении допустимой скорости движения принять значение КЗПУ $K_{y.3} = 1,0$.

Список литературы

1. Аксенов, В.П. Разработка алгоритма и модели функционирования информационной системы для обучения и тестирования водителей / В.П. Аксенов, Т.П. Новикова // Моделирование систем и процессов. – 2018. – Т. 11, № 2. – С. 4-11.
2. Котов, П.А. Конструктивные аспекты вещественных моделей движения по инерции / П.А. Котов // Моделирование систем и процессов. – 2017. – Т. 10, № 2. – С. 13-17.
3. Давиденко, А.Н. Теоретические предпосылки к исследованию поперечной статической устойчивости транспортных средств / А.Н. Давиденко, Н.А. Лапшин // Международный научно-исследовательский журнал. – 2018.– №6. – С. 29-32.
4. Калмыков, Б.Ю. Способ определения скорости автобуса в момент опрокидывания / Б.Ю. Калмыков, А.С. Гармидер // Инженерный вестник Дона. – 2017.– №3. – С. 34.
5. Лавлинский, В.В. Анализ существующих подходов для оценки транспортных логистических компаний со средствами GPS-навигации / В.В. Лавлинский, С.И. Лыков, А.И. Лыков, В.Ю. Обоимова // Моделирование систем и процессов. – 2017. – Т. 10, № 4. – С. 57-63.
6. Лавлинский, В.В. Теоретические основы формирования моделей и методов взаимодействия информационных процессов / В.В. Лавлинский, И.И. Струков // Моделирование систем и процессов. – 2018. – Т. 11, № 2. – С.31-37.
7. Оксюта, О.В. Разработка математической модели оптимального функционирования транспортно-логистического комплекса / О.В. Оксюта, В.А. Коротких // Моделирование систем и процессов. – 2017. – Т. 10, № 3. – С. 55-66.
8. Плиев, С.Х. Расчёт двухосной колесной машины на устойчивость против опрокидывания. / С.Х. Плиев. // Известия горского государственного аграрного университета. – 2015.– №1 – С. 124-127.
9. Сапрыкин, Е.А. Математическое и алгоритмическое описание оптимального размещения продукции по платформе транспортного средства / Е.А. Сапрыкин, М.В. Лисицкая, В.И. Анциферова // Моделирование систем и процессов. – 2020. – Т. 13, № 2. – С. 47-57.