

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАВНОМЕРНОГО ДВИЖЕНИЯ АВТОЦИСТЕРНЫ БЕЗ ПЕРЕГОРОДОК С ЧАСТИЧНЫМ ЗАПОЛНЕНИЕМ

Разработана модель устойчивости автоцистерны, частично заполненной жидкостью, при движении на криволинейном участке дороги. Определены зависимости коэффициентов устойчивости автомобиля от объема жидкости и положения центра масс жидкости в цистерне.

Ключевые слова: автоцистерна, устойчивость, центр масс, сила инерции, криволинейное движение.

Для автомобильных перевозок достаточно часто характерна такая наполняемость автоцистерн, при которой в процессе движения центр масс перевозимой жидкости не располагается в плоскости симметрии автоцистерны. В результате этого увеличивается вероятность потери устойчивости, что наиболее вероятно при движении автомобиля на криволинейном участке дороги.

Под устойчивостью здесь следует понимать отсутствие самопроизвольного опрокидывания автомобиля под действием внешних сил в процессе движения. Опрокидывание автомобиля создает угрозу безопасности движения и сохранности транспортных сооружений.

Требования для цистерн, предназначенных для перевозки нефтепродуктов регламентируются ГОСТ Р 50913-96 «Автомобильные транспортные средства для транспортирования и заправки нефтепродуктов. Типы, параметры и общие технические требования». В соответствии с данными требованиями степень заполнения цистерны должна быть не более 95% объема.

Перевозка цистернами другой жидкой продукции (вода, молоко и т.д.) регламентируется ГОСТ 9218-86 «Цистерны для пищевых жидкостей, устанавливаемые на автотранспортные средства. Общие технические условия», в котором не сказано о норме заполнения объема цистерной.

Вследствие вышесказанного перевозчик может перевозить частично заполненную цистерну, руководствуясь принципами логистики и минимизации пробега для транспортировки жидкой продукции.

Существующие расчеты поперечной устойчивости против опрокидывания автомобилей-цистерн производят при полном заполнении

цистерн. Для учета снижения поперечной устойчивости автомобиля при перемещении и динамических ударах жидкости в случае частичного заполнения цистерны допустимый коэффициент поперечной устойчивости увеличивают на 20% [1,2]. Однако, не сказано о каком конкретно уровне заполнения цистерны идет речь. Действующие на цистерны, заполненные на 80% и на 20%, силы будут иметь разные моменты относительно, например, центра масс, ввиду различных положений центров тяжести жидкости в цистерне.

Поэтому устойчивость автоцистерны с жидкостью на криволинейном участке дороги представляет собой актуальную задачу автомобильного транспорта. Особый интерес представляет движение автоцистерны заполненной жидкостью не полностью.

Расчет устойчивости автоцистерны в статике, как правило, производится также как и определение устойчивости любого другого автомобиля. Для этого используется коэффициент поперечной устойчивости против опрокидывания η_o , который равен тангенсу предельного угла наклона [3]:

$$\eta_o = \operatorname{tga} = \frac{B}{2Z_o},$$

где α – угол опрокидывания, град.; B – ширина колеи, м; Z_o – высота центра тяжести автоцистерны, м.

Условием устойчивости при воздействии бокового давления является равенство возмущающего и стабилизирующего моментов, из которого определяется давление на боковую поверхность. Допустимым считается условие, когда автоцистерна сохраняет устойчивость при давлении на боковую поверхность не превышающем 0,03 МПа.

Анализ существующих работ по данной проблеме показал, что в них не учитывается действие на автомобиль силы со стороны жидкости при повороте автомобиля и сил, действующих со стороны воздушных масс, а так не учтены углы наклона кузова автомобиля, возникающие вследствие деформации рессор.

Таким образом, целью исследования являлась разработка динамической модели движения автоцистерны без перегородок на криволинейном участке дороги. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1) разработка методики определения зависимостей между коэффициентами устойчивости автоцистерны и координатами центра масс частично заполненной цистерны;

2) оценка влияния степени заполнения цистерны жидкостью на устойчивость движения автоцистерны на криволинейном участке дороги.

Рассмотрим автоцистерну, частично заполненную жидкостью,двигающуюся по криволинейному наклонному участку дороги (рисунок 1). Совокупность автоцистерны и жидкости представляет собой механическую систему, для исследования движения которой будем применять принцип Даламбера. В связи с этим наряду с действующими на систему внешними силами необходимо приложить фиктивные силы инерции. Силы, действующие на рассматриваемую механическую систему в

предлагаемой динамической модели, показаны на рисунке 1.

На рисунке 1 использованы следующие обозначения:

C_1, C_2 – центры масс пустой автоцистерны с координатами $(0; z_1)$ и наливной жидкости $(y_2; z_2)$; G_1, G_2 – силы тяжести пустой автоцистерны и наливной жидкости; F_1^u, F_2^u – силы инерции пустой автоцистерны и наливной жидкости; N_A, N_B – нормальные реакции дороги в точках A и B контакта внешнего (относительно центра кривизны поворота) и внутреннего колес, соответственно; F_{mpA}, F_{mpB} – силы трения поперечного скольжения колес в точках A и B (могут быть направлены в противоположную сторону; направление сил трения зависит от количественного соотношения сил инерции и сил тяжести); F_w – аэродинамическая сила сопротивления воздуха; η – угол наклона рамы грузового автомобиля, возникающего вследствие усадки пружин из-за возвышения внешнего колеса; θ – угол наклона участка дороги к горизонту; d – центральное расстояние от дорожного полотна до рамы автомобиля, a и b – размеры полуосей эллипса поперечного сечения автоцистерны.

Возникновение аэродинамической силы сопротивления воздуха обусловлено движением автоцистерны с некоторой относительной скоростью в окружающей воздушной среде. Среди всех сил, составляющих сопротивление

движению автомобиля, эта представляет наибольший интерес в свете всевозрастающих скоростей передвижения транспортных средств. Дело все в том, что уже при скорости движения 50–60 км/час она превышает любую другую силу сопротивления движению автомобиля, а в районе 100–120 км/час превосходит всех их вместе взятых [2].

На устойчивость грузового автомобиля в повороте максимальное влияние оказывает сила аэродинамического сопротивления, действующая в плоскости, перпендикулярной поперечной оси транспортного средства (профильной плоскости).

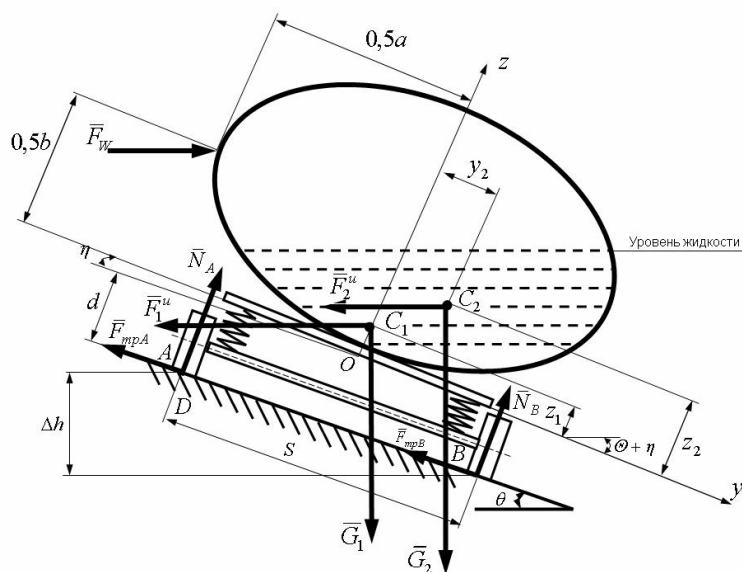


Рисунок 1. Расчетная схема цистерны

При дальнейшем рассмотрении следует внести ясность в различиях и сходстве силы аэродинамического сопротивления и силы, действующей со стороны воздушных масс (сила ветра). Силы аэродинамического сопротивления связаны с движением автомобиля относительно неподвижных воздушных масс, сила ветра определяется наоборот, как сила, действующая со стороны движущихся воздушных масс относительно неподвижного автомобиля.

Таким образом, в первом приближении, можно считать эти силы одинаковыми и все зависимости связанные с силами аэродинамического сопротивления перенести на силу ветра.

Рассмотрим предельный случай, когда сила ветра, действующая со стороны воздушных масс, направлена параллельно горизонтальному профилю дорожного полотна, распределена по боковой поверхности грузового автомобиля и имеет равнодействующую, показанную на рисунке 1.

Вероятность опрокидывания автомобиля через точку B на порядок больше, поэтому рас-

смотрим определения коэффициента устойчивости относительно точки B .

Критерием, связывающим показатели устойчивости автомобиля с его геометрическими параметрами и условиями сцепления колес с поверхностью дороги, является коэффициент устойчивости, равный отношению стабилизирующего момента M_{stab} к возмущающему моменту $M_{возм}$

$$\mu_B = \frac{M_{cm(B)}}{M_{возм(B)}},$$

где μ_B – коэффициент устойчивости автомобиля относительно точки контакта B ; $M_{cm(B)}$ – стабилизирующий момент всех сил относительно точки B , $H \cdot m$; $M_{возм(B)}$ – возмущающий момент всех сил относительно точки B , $H \cdot m$.

Стабилизирующий и возмущающий моменты определим по методике, предложенной в работе [4].

Стабилизирующий момент относительно точки контакта с дорогой наружного колеса B будут создавать составляющие сил \bar{G}_1 и \bar{G}_2 по оси z и силы \bar{F}_1^u и \bar{F}_2^u :

$$M_{cm(B)} = [G_2 \cos(\theta + \eta) + F_2^u \sin(\theta + \eta)] \{0,5S \cos \eta - y_2\} + F_2^u \cos(\theta + \eta) [d - d \sin \eta + z_2] + [G_1 \cos(\theta + \eta) + F_1^u \sin(\theta + \eta)] \cdot 0,5S \cos \eta + F_1^u \cos(\theta + \eta) [d - d \sin \eta + z_1]$$

Возмущающий момент относительно точки B будут создавать составляющие сил \bar{G}_1 и \bar{G}_2 по оси y и сила F_w . Следовательно:

$$M_{возм(B)} = [G_2 \sin(\theta + \eta)] (d - d \sin \eta + z_2) + [G_1 \sin(\theta + \eta)] \cdot [d - d \sin \eta + z_1] + F_w \cdot \left[\frac{0,5b}{\cos(\theta + \eta)} + d \cos \theta + S \sin \theta \right].$$

Для определения координат центра тяжести цистерны и коэффициента устойчивости, в зависимости от объема жидкости, разработана прикладная программа [5].

В качестве исходных данных в программе задаются: масса и основные размеры пустой автоцистерны, объем и плотность заливаемой жидкости, размеры полуосей эллипса цистерны, максимальный угол наклона участка дороги к горизонту.

Для определения координат центра тяжести жидкости в цистерне используется функция, которая позволяет рассмотреть все варианты

заполнения цистерны жидкостью. В программе учитывается не только уровень заполнения цистерны жидкостью, но и угол наклона участка дороги к горизонту.

Площадь сечения, образуемая жидкостью в автоцистерне, определяется с помощью функции:

$$F_{z1} = \int_{-b-a_1}^{z_1} \int_{-b-a_1}^{a_1} dydz,$$

где $a_1 = a \sqrt{1 - \frac{z^2}{b^2}}$.

Секториальный момент инерции поперечного сечения, образуемого жидкостью в автоцистерне, определяется с помощью функции:

$$S_{z1} = \int_{-b-a_1}^{z_1} \int_{-b-a_1}^{a_1} z dydz.$$

Графическое изображение уровня жидкости в цистерне представлено на рисунке 2.

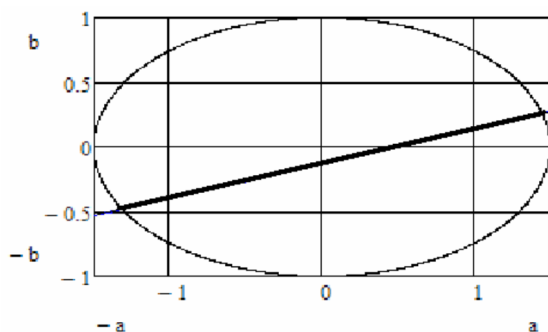


Рисунок 2. Графическое изображение уровня жидкости в цистерне

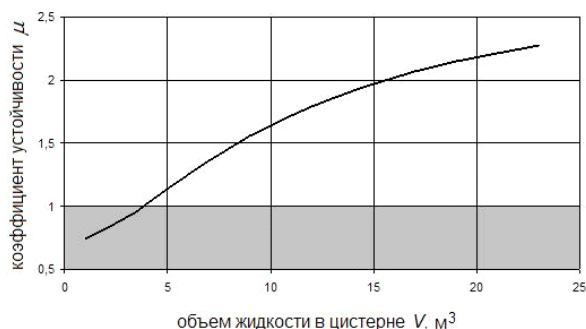


Рисунок 3. Зависимость коэффициента устойчивости автоцистерны НЕФАЗ-66065-10 от объема жидкости в цистерне

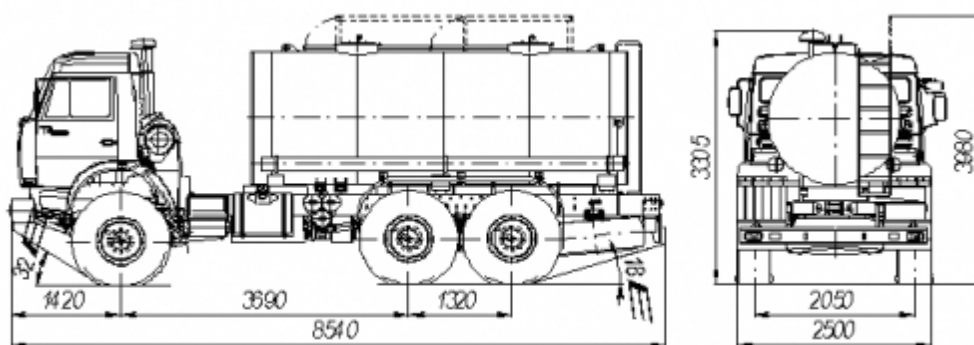


Рисунок 4. Автоцистерна НЕФАЗ-66065-10

В качестве примера произведен расчет устойчивости автоцистерны НЕФАЗ-66065-10.

На рисунке 3 представлена полученная зависимость коэффициента устойчивости μ , определенного относительно точки B , в зависимости от объема жидкости в цистерне НЕФАЗ-66065-10 изображенной на рисунке 4.

Часть кривой, находящаяся в темной области на рисунке 4 соответствует неустойчивости автоцистерны на 207 километре трассы Оренбург – Орск – Шильда – граница Челябинской области (поворот на город Медногорск). Расчеты произведены при движении автоцистер-

ны по сырой дороге в весенний период (коэффициент трения скольжения равен 0,5) со скоростью 40 км/ч, разрешенной на этом участке трассы.

Таким образом, при планировании движения автоцистерны с частичным заполнением предлагается сотрудникам производственно-технических служб и отделов предприятий производить расчет устойчивости автоцистерн в зависимости от степени их заполнения и предлагать ограничения скоростного режима на опасных криволинейных участках выбранного маршрута.

02.08.2013

Список литературы:

- 1 Коваленко В. Г. Системы обеспечения нефтепродуктами / В. Г. Коваленко, Ф. М. Кантор, С. Р. Хабаров. – М.: Недра, 1982. – 237 с.
- 2 Евграфов А.Н., Высоцкий М.С. Аэродинамика магистральных автопоездов / А.Н. Евграфов, М.С. Высоцкий. – Мн.: Наука и техника, 1988. – 255с.
- 3 ГОСТ Р 52302-2004. Автотранспортные средства. Управляемость и устойчивость. Технические требования. Методы испытаний. – Введ. 2004-30-12. – М.: Изд-во стандартов, 2005. – 27 с.
- 4 Власов, Ю. Л. Влияние расположения груза в кузове грузового автомобиля на устойчивость автомобиля в поворотах / Ю. Л. Власов, Н. А. Морозов, И. А. Бочаров, А. А. Гаврилов // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2011. – №4(123) – С.152-155.
- 5 Власов Ю.Л. Расчет инерциальных характеристик автоцистерны с частичным заполнением [Электронный ресурс] / Ю.Л. Власов, А.А. Гаврилов. – Прикладная программа (0,36 Мб). Зарегистрирована в УФАП ОГУ №833 от 20 июня 2013 г. – Оренбург: ОГУ, 2013.

Сведения об авторах:

Власов Юрий Леонидович, доцент кафедры теоретической механики
Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук, e-mail: ulvlasov@mail.ru
Морозов Николай Анатольевич, доцент кафедры теоретической механики Оренбургского
государственного университета, кандидат технических наук, e-mail: moroz.off.nick@yandex.ru
Гаврилов Александр Александрович, ассистент кафедры теоретической механики
Оренбургского государственного университета
460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, ауд. 4505, тел (3532) 372563, e-mail: pialex@bk.ru

UDC 629.015; 531.391.5

Vlasov Y.L., Morozov N.A., Gavrilov A.A.

DYNAMIC MODEL OF UNIFORM TRAFFIC TANKERS WITHOUT CROSS SEPTA WITH A PARTIALLY FILLED

A model of sustainability tank partially filled with water in the curved section of the road. The dependences of the coefficients of stability of the car on the volume of fluid and coordinates of the center of mass of liquid in the tank.

Keywords: tank, stability, center of mass, inertia, curvilinear motion.

Bibliography:

- 1 Kovalenko, V. G. Системы обеспечения нефтепродуктами / V. G. Kovalenko, Kantor F.M. , Habarov S. R. – М.: Nedra, 1982. – 237 p.
- 2 Efgrafov, A.N. Aerodynamics main road trains / A. N. Efgrafov, M.S. Vysotsky. – Mn.: Science and technology, 1988. – 255 p.
- 3 GOST R 52302-2004. Motor vehicles. Handling and stability. Technical requirements. Test methods. –2004-30-12. –М., 2005. – 27 p.
- 4 Vlasov, Y.L. Influence of the arrangement of the cargo the car on ctability of the car in turns / Y.L. Vlasov, N.A. Morozov, I.A. Bocharov, A.A. Gavrilov // Vestnik OSU. – 2011. -№4(123) – P.152-155.
- 5 Vlasov, Y.L. The calculation of the inertial characteristics of the tank partially filled [Electronic resource] / Y.L. Vlasov, A.A. Gavrilov. – Application (0,36 Mb). – Orenburg: OSU, 2013.