

8. Ягельский, М.Ю. Обоснование параметров соломоизмельчителя-разбрасывателя зерноуборочного комбайна : дис. ... канд. техн. наук/ М.Ю. Ягельский. – Орел, 2018. – 272 с.

9. Устройство для разгрузки сыпучих материалов из бункера/ К.В. Гайдуков, Е.Ю. Шемякина В.В. Терентьев, А.В. Шемякин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2008. – № 7. – С. 47-47.

10. Романова, Л.В. Инновации в АПК в условиях цифровизации/ Л.В. Романова, О.Н. Фочкина // Сб.: Современные цифровые технологии в агропромышленном комплексе : Материалы Международной научной конференции. – 2020. – С. 241-244.

11. Виноградов, Д.В. Экология агроэкосистем/ Д.В. Виноградов, А.В. Ильинский, Д.В. Данчеев. – Рязань, 2020. – 256 с.

УДК 629.365:658.345

*Кошля Г.И.,
Тимошенко В.Я., к.т.н.
УО БГАТУ, г. Минск, РБ*

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕВОЗКИ ЖИДКИХ ГРУЗОВ АВТОЦИСТЕРНАМИ

Для гашения инерционных сил в цистернах устанавливаются поперечные перегородки. Однако они не всегда спасают их от повреждений и аварий. Имеют место случаи, когда сварочные соединения котлов цистерн с внутренними перегородками зачастую не выдерживают возникающих больших сил инерции при резком изменении скорости или повороте транспортного средства и приводят к разрыву тела котлов.

Для обеспечения безопасности перевозок жидких грузов необходимо совершенствовать конструкции цистерн. Так как причиной аварий чаще всего является возникновение сил инерции, то логично предложить изменять конструкцию цистерн, таким образом, чтобы перенести эти силы с собственно цистерны (котла) на платформу.

Нами предложены конструкции цистерн, в которых вызываемые перемещением центра тяжести жидкости инерционные силы воспринимаются платформой, на которой закреплена цистерна [9]. Суть варианта предложения состоит в том, что передача инерционных сил на платформу обеспечивается через торсион (рисунок 1).

Передача этих усилий осуществляется следующим образом. Силы инерции, возникающие при трогании с места или торможении транспортного средства перевозящего жидкий груз, залитый через горловину 5 и находящийся в объеме между цилиндрической поверхностью 1, передней 2 и задней 3 стенками, действуют на поперечные перегородки 4, жестко соединенные с продольным валом 6, вызывая при этом его перемещение в направлении действия сил. Торсионы 10, верхние концы которых шарнирно соединены

с концами 7 и 8 продольного вала 6 и жестко – с платформой 12 будут воспринимать силы инерции центра тяжести жидкости и передавать их на платформу, обеспечивая тем самым эффективное их гашение, исключая разрушение стенок цилиндрической поверхности котла 1 и обеспечивая безопасность перевозок.

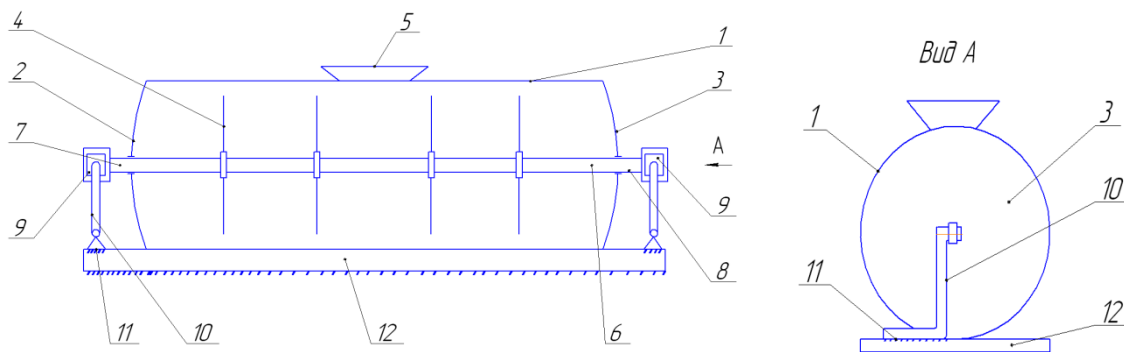


Рисунок 1 – Цистерна для перевозки жидких грузов:

1 – цилиндрическая оболочка (котёл), 2 – передняя стенка, 3 – задняя стенка, 4 – поперечные перегородки, 5 – заливная горловина, 6 – продольный стержень, 7 – передний конец стержня, 8 – задний конец стержня, 9 – шарнирное соединение верхнего конца переднего торсиона с передним концом продольного вала, 10 – торсионы, 11 – жесткое соединение нижних концов торсионов с платформой транспортного средства, 12 – платформа

Теоретические основы определения тяжести тел (однородных и неоднородных) изложены в труде С. М. Тарга [1], в котором было определено, что центр тяжести однородного тела может быть определено, как «центр тяжести соответствующего объема, площади или линии» [1, с. 90]. В качестве способов определения координат центров тяжести тел С. М. Тарг выделяет следующие [1, с. 90-93]:

1) *симметрия*: в случае, если однородное тело, поиск центра тяжести которого осуществляется, имеет плоскость (ось, центр) симметрии, то центр тяжести данного тела будет находиться в плоскости (на оси, в центре) симметрии;

2) *разбиение*: в случае, если тело, поиск центра тяжести которого осуществляется, может быть разбито на конечное число частей, для каждой из которых положение центра тяжести известно, то координаты центра тяжести всего тела могут быть вычислены в соответствии с формулами (1)-(3) [1, с. 89–90]:

$$x_c = \frac{1}{P} \sum p_k x_k, \quad y_c = \frac{1}{P} \sum p_k y_k, \quad z_c = \frac{1}{P} \sum p_k z_k, \quad (1)$$

где P – вес всего однородного тела;

p_k – величина сил тяжести, действующих его части;

x_k, y_k, z_k – координаты точек приложения сил тяжести, действующих на части однородного тела;

$$x_c = \frac{1}{V} \sum v_k x_k, \quad y_c = \frac{1}{V} \sum v_k y_k, \quad z_c = \frac{1}{V} \sum v_k z_k, \quad (2)$$

где V – объём всего тела;
 v_k – объём его частей.

$$x_c = \frac{1}{S} \sum s_k x_k, \quad y_c = \frac{1}{S} \sum s_k y_k, \quad z_c = \frac{1}{S} \sum s_k z_k, \quad (3)$$

где S – площадь всего тела;
 s_k – площадь его частей.

При этом в рамках метода разбиения число слагаемых в каждой из сумм будет равно числу частей, на которые разбито тело;

3) *интегрирование*. В случае, если тело не может быть разбито на конечное число частей, положения центров тяжести которых будут известны, то тело может быть разбито сначала на произвольные малые объёмы, для которых формулы (2) будут принимать следующий вид (4):

$$x_c = \frac{1}{V} \sum \Delta v_k x_k, \quad y_c = \frac{1}{V} \sum \Delta v_k y_k, \quad z_c = \frac{1}{V} \sum \Delta v_k z_k, \quad (4)$$

где Δv_k – произвольный малый объём однородного тела;

x_k, y_k, z_k – координаты некоторой точки, которая лежит внутри объёма

Δv_k .

В полученном равенстве (4) осуществляется переход к пределу, в рамках которого будет стремиться к нулю (т. е. будет осуществлено стягивание малых объёмов в точки). В таком случае стоящие в равенствах суммы будут обращены в интегралы, распространённые на весь объём тела. Таким образом, формула (4) будет дана в пределе в соответствии с формулой (5):

$$x_c = \frac{1}{V} \int_{(V)} x dv, \quad y_c = \frac{1}{V} \int_{(V)} y dv, \quad z_c = \frac{1}{V} \int_{(V)} z dv, \quad (5)$$

где Δv_k – произвольный малый объём однородного тела;

x_k, y_k, z_k – координаты некоторой точки, которая лежит внутри объёма

Δv_k .

4. *Экспериментальный способ*. В случае определения центра тяжести неоднородных тел сложной конфигурации, это может быть осуществлено экспериментальным путем.

В качестве особенностей транспортных средств, осуществляющих перевозку жидкого груза, может быть выделено перемещение перевозимой жидкости внутри котла цистерны. Ввиду того, что большая часть веса жидкого груза расположена высоко над дорогой, другой особенностью данных транспортных средств является высокое расположение центра тяжести транспортируемого жидкого груза [2]. Так, транспортное средство, на котором осуществляется перевозка жидкого груза, с большей вероятностью подвержено опрокидыванию, чем автомобили и вагоны, осуществляющие перевозку твердых грузов [3, 4, 5]. Координаты центра тяжести жидкости, наряду с такими факторами, как геометрия транспортного резервуара, уровень его

загрузки жидким грузом и свойствами динамического взаимодействия жидкости с конструкцией цистерны, оказывает наибольшее влияние на управляемость автоцистерны и пределы ее устойчивости. В состав координат центра тяжести жидкого груза котла цистерны входит высота центра тяжести, а также поперечное и продольное его смещение в различных ситуациях, например, при движении транспортного средства с жидким грузом по кривой траектории, его торможения, осуществления различных маневров, связанных, в частности, со сменой полосы движения и т. п. [6]. В связи с этим в процессе моделирования колебаний жидкости внутри резервуаров цистерн важной задачей является определение координат центра тяжести жидкости, перемещающейся внутри котла, при различных условиях.

Из формулы (6) коэффициента поперечной устойчивости цистерны против опрокидывания, представленной в работе Б. Л. Кулаковского [7] вытекает, что поперечная устойчивость автоцистерны против опрокидывания зависит от величины смещения центра тяжести перевозимого жидкого груза в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

$$\eta_{\beta\psi}^{\zeta} = \frac{G_a \frac{B}{2} (C_{\psi} - G_K h_{\psi}) - G_{\Gamma} y C_{\psi}}{G_a h_a (C_{\psi} - G_K h_{\psi}) + G_K^2 h_{\psi}^2 + G_{\Gamma} z C_{\psi}}, \quad (6)$$

где G_a – общая сила веса автомобиля (Н);

C_{ψ} – суммарная угловая жесткость подвески автомобиля (кг·м/рад);

B – колея автомобиля (м);

G_K – сила веса подрессоренной массы (кузова) автомобиля (Н);

h_{ψ} – плечо крена кузова (м);

G_{Γ} – сила веса жидкого груза (м);

y и z – смещения центра тяжести жидкого груза в горизонтальном и вертикальном направлениях соответственно.

Анализируя представленную в статье [66] формулу:

$$p = p_1 + \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right), \quad (7)$$

где p_1 – давление в свободном от жидкости пространстве;

R_1 и R_2 – радиусы кривизны свободной поверхности;

σ – коэффициент поверхностного натяжения;

Может быть сделан вывод о том, что между увеличением смещения центра тяжести жидкого груза и устойчивостью автоцистерны, перевозящей его, существует обратная зависимость. Поиск координат смещения центра тяжести перевозимой в цистерне жидкости непосредственно зависит от формы полости анализируемого резервуара. Так, в работе [8] осуществлено моделирование поперечной устойчивости против опрокидывания автоцистерн, полость которых имеет эллиптическую форму и различную степень заполнения, предварительно выполнив определение для смещения центра тяжести жидкости в цистерне, имеющую цилиндрическую форму. Таким

образом, был сделан вывод о том, что смещения центра тяжести перевозимого жидкого груза в горизонтальной и вертикальной плоскостях существенным образом влияет на поперечную устойчивость автоцистерны.

Библиографический список

1. Тарг, С.М. Краткий курс теоретической механики/ С.М. Тарг. – М. : Высш. шк., 1986. – 416 с.
2. Агабабян, Ю.Н. Положение центра масс пожарного автомобиля/ Ю.Н. Агабабян // Повышение эффективности автотранспортных средств. – 1982. – С. 115-119.
3. Strandberg, L. Lateral Stability of Road Tankers. Main report. Volume 1/ L. Strandberg. – Linköping : National Road & Traffic Research Institute, 1978. – 73 p.
4. Безбородько, М.Д. Поперечная устойчивость пожарных автоцистерн/ М.Д. Безбородько, В.В. Роевко // Пожарная техника и тушение пожаров. – М. : ВНИИПО, 1982. – С. 126-128.
5. Шимановский, А.О. Конструктивные решения, обеспечивающие безопасность движения цистерн/ А.О. Шимановский // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2009. – С. 44-59.
6. Высоцкий, М.С. Обеспечение безопасности движения автоцистерн на основе оптимизации конструкции кузова/ М.С. Высоцкий, Ю.М. Плескачевский, А.О. Шимановский // Механика машин, механизмов и материалов. – 2012. – № 3 (20) –4 (21) – С. 142-148.
7. Кулаковский, Б.Л. Эксплуатационные свойства пожарных автоцистерн/ Б.Л. Кулаковский. – Минск : Минсктиппроект, 2006. – 210 с.
8. Кулаковский, Б.Л. Смещения центра тяжести жидкого груза и перемещение оболочек при проектировании эллиптических емкостей пожарных автомобилей/ Б.Л. Кулаковский, Т. М. Мартыненко, В.В. Лахвич // Теоретическая и прикладная механика. –2016. – № 31. – С. 204-213.
9. Пат. Республика Беларусь. Цистерна/ В.Я Тимошенко, А.О. Шимановский, А.В. Новиков, Г.И. Кошля. – Опубл. 2012.06.30.
10. Терентьев, В.В. Безопасность автомобильных перевозок: проблемы и решения/ В.В. Терентьев // Надежность и качество сложных систем. – 2017. – № 2 (18). – С. 90-94.
11. Терентьев, В.В. Безопасность автомобильных перевозок: проблемы и решения/ В.В. Терентьев // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2017. – Т. 1 – С. 133-135.