

ДЕМПФИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ ЖИДКОСТИ В ЦИСТЕРНЕ ПРИМЕНЕНИЕМ ПОДВИЖНЫХ ПЕРЕГОРОДОК С УПРУГИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

В.Я. Тимошенко,

доцент каф. эксплуатации машинно-тракторного парка БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

П.Н. Логвинович,

доцент каф. физики БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

Г.И. Кошля,

ассистент каф. эксплуатации машинно-тракторного парка БГАТУ

В статье рассмотрены вопросы безопасности перевозки жидкостей в цистернах и пути совершенствования их конструкций.

Ключевые слова: цистерна, транспортное средство, перевозка жидких грузов.

The article deals with the safety of transportation of liquids in tanks and ways to improve their designs.

Keywords: tank, vehicle, transportation of liquid cargo.

Введение

В сельском хозяйстве для перевозки молока, химических удобрений, нефтепродуктов и других жидкостей используются автоцистерны. Для выполнения технологических операций по внесению жидких удобрений и обработке сельскохозяйственных культур используются прицепные емкости. Особенность использования последних состоит в том, что при их полном первоначальном заполнении они опорожняются постепенно, что приводит к увеличению амплитуды и частоты колебаний жидкости и в конечном счете к увеличению вероятности их опрокидывания, особенно при работе на склонах.

При перевозке жидких грузов имеют место аварии, приводящие не только к экономическим потерям, но и человеческим жертвам [1]. Случаются они вследствие несовершенства конструкций цистерн, в которых отсутствуют эффективные средства гашения инерционных сил жидкости, возникающих при торможении, трогании с места и поворотах транспортных средств.

Целью настоящей работы является анализ конструкций цистерн и обоснование их конструкции, обеспечивающей безопасность перевозки жидкостей.

Основная часть

Жидкости при нагревании значительно расширяются, поэтому при загрузке их в резервуар оставляется свободное пространство, что позволяет избежать разрывов оболочек их котлов. Так как различные жидкости расширяются по-разному, то уровень заполнения цистерн зависит от вида перевозимой жидкости [1]. При транспортировке частично заполненной цистерны возникают колебания жидкости, что приводит к существенному снижению продольной и

поперечной устойчивости и управляемости транспортного средства. Влияние перемещения жидкости в цистерне на динамику транспортного средства существенно растет при увеличении веса транспортного средства и его размеров [2].

Встречающиеся при эксплуатации цистерн случаи аварий приводят к значительному ущербу для окружающей среды, связанному с утечкой перевозимых токсичных грузов.

Цистерны без устройств для гашения колебаний жидкости отличаются большими перемещениями центра масс груза в резервуаре. Это приводит к значительным продольным гидродинамическим нагрузкам, действующим на днища. С целью снижения этих нагрузок внутри цистерн устанавливаются перегородки, как проницаемые, так и непроницаемые [2]. Однако возникающие в результате колебаний жидкости инерционные силы бывают настолько значительными, что имели место разрывы котлов цистерны в местах крепления к ним перегородок.

Представленные обзорные исследования показывают необходимость изучения механизма колебаний жидкости в цистерне и обоснования конструкции устройства для их демпфирования и его параметров.

Авторами публикации предложены новые технические решения, которые позволяют существенно снизить влияние колеблющейся жидкости, как на устойчивость движения цистерн, так и на нагруженность их резервуаров.

Белорусский государственный аграрный технический университет является обладателем патента на изобретение [3], в котором предложено демпфировать колебания жидкости, возникающих при переходных режимах движения цистерн, путем использования специального устройства, устанавливаемого в резервуаре цистерны (рис. 1).

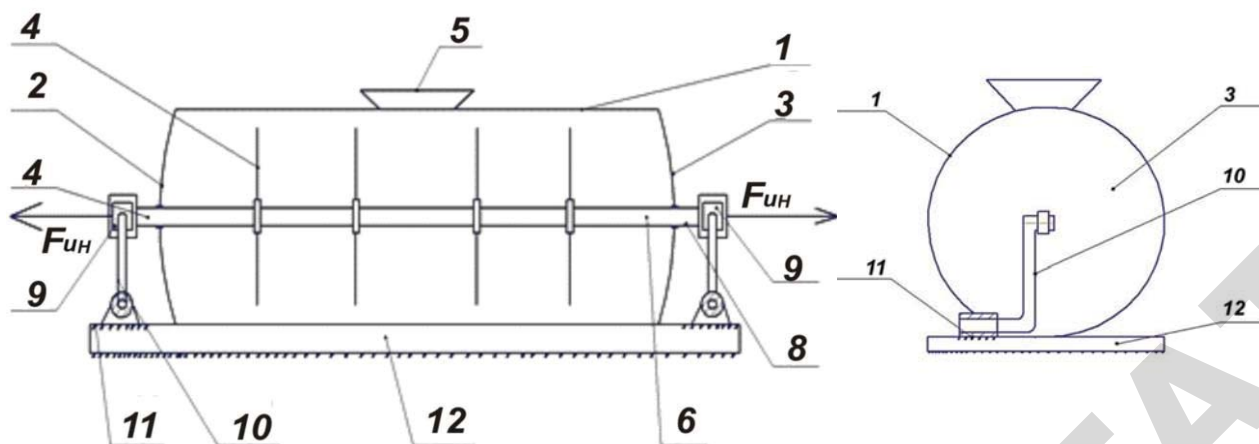


Рис. 1. Цистерна для перевозки жидких грузов: 1 – котел; 2 – переднее днище; 3 – заднее днище; 4 – поперечные перегородки; 5 – заливная горловина; 6 – продольный стержень; 7 – передний конец стержня; 8 – задний конец стержня; 9 – шарнирное соединение верхнего конца переднего торсиона с передним концом продольного вала; 10 – торсионы; 11 – жесткое соединение нижних концов торсионов с платформой транспортного средства; 12 – платформа

Суть предложения состоит в установке внутри цистерны подвижных перегородок, связанных между собой единым стержнем, выходящим наружу и передающим возникающие силы инерции на платформу через упругие элементы (торсионы).

Устройство работает следующим образом. Возникающие силы инерции $F_{ин}$ жидкости, залитой через горловину 5 и находящейся в котле 1, между передним 2 и задним 3 днищами, действуют на поперечные перегородки 4, жестко соединенные с продольным стержнем 6, вызывая при этом его перемещение в направлении действия сил.

Торсионы 10, верхние концы которых шарнирно соединены с концами 7 и 8 продольного стержня 6 и жестко – с платформой 12, будут воспринимать силу инерции $F_{ин}$ центра масс жидкости и передавать ее на платформу, обеспечивая тем самым эффективное ее гашение (рис. 2).

В поперечных сечениях вертикальной части тор-

сиона возникает изгибающий момент, который передается на закрепленную с платформой горизонтальную часть торсиона и создает внешний крутящий момент $M_{кр}$

$$M_{кр} = F \cdot h \text{ [Н} \cdot \text{м]},$$

где h – длина вертикальной части торсиона.

Поскольку касательные напряжения от сдвига примерно на порядок меньше касательных напряжений от кручения [4], то вертикальную часть стержня считаем абсолютно жесткой, что позволяет пренебречь деформацией изгиба.

В поперечных сечениях горизонтальной части торсиона возникает внутренний крутящий момент

$$M_{т} = -C\varphi, \quad (1)$$

где $C = \frac{GI_p}{l}$ – модуль кручения, Н·м/рад;

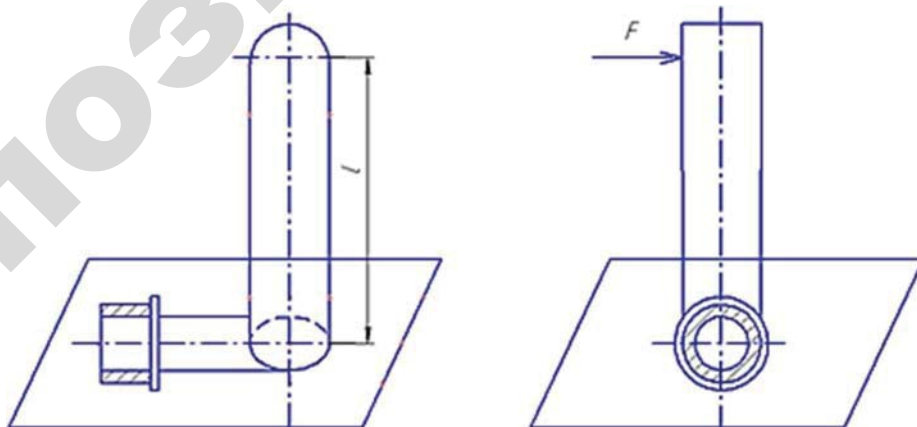


Рис. 2. Торсион (поз. 10, рис. 1), воспринимающий силу инерции центра масс перевозимой жидкости

l – длина стержня, м;
 G – модуль сдвига, Н/м²;
 $I_p \approx 0,1D^4$ – полярный момент инерции торсиона, м⁴;
 D – диаметр торсиона, м;
 φ – угол закручивания торсиона, рад;
 Когда прекращается действие сил инерции, уравнение движение торсиона будет иметь вид:

$$J\ddot{\varphi} = -C\varphi - K\dot{\varphi}, \quad (2)$$

где $-K\dot{\varphi} = M_d$ – момент демпфирования, обусловленный вязким трением в материале торсиона и в жидкости цистерны с перегородками;

K – удельный демпфирующий момент, кг·м²/с;
 J – момент инерции системы жидкость – перегородки, кг·м²;

Разделим выражение (2) на J

$$\ddot{\varphi} + \frac{K}{J}\dot{\varphi} + \frac{C}{J}\varphi = 0 \quad (3)$$

$$\ddot{\varphi} + 2\beta\dot{\varphi} + \omega_0^2\varphi = 0, \quad (4)$$

где $\beta = \frac{K}{2J}$ – коэффициент демпфирования;

$\omega_0 = \sqrt{\frac{C}{J}}$ – частота собственных колебаний системы торсион – жидкость с перегородками.

Уравнение (4) является дифференциальным уравнением затухающих колебаний. Его решение зависит от соотношения между частотой собственных колебаний системы, которая определяется значениями модуля кручения торсиона и момента инерции жидкости с перегородками, и коэффициента демпфирования, который определяется вязкими свойствами материала торсиона и, в основном, конструкцией перегородок и вязкими свойствами жидкости.

При $\omega_0 > \beta$ происходят затухающие колебания системы, при этом колебания прекращаются тем быстрее, чем больше коэффициент демпфирования.

При $\omega_0 > \beta$ происходит аperiodический процесс асимптотического возвращения системы в состояние покоя. Для такого движения необходимо, чтобы $K \geq 2\sqrt{CJ}$.

Таким образом, зная инерционные и вязкостные свойства перевозимой жидкости, предложенную конструкцию можно модифицировать в зависимости от геометрических характеристик цистерны и видов перевозимых грузов.

В предложенной конструкции цистерны значительно увеличивается коэффициент демпфирования и создается момент демпфирования, направленный против момента от сил инерции, пропорциональный скорости движения перегородок, т.е. жидкости в цистерне, т.к. момент демпфирования пропорционален скорости закручивания торсиона $M_d = -K\dot{\varphi}$.

Предложенная конструкция позволяет преобразовать кинетическую энергию транспортируемого жидкого груза в иные виды энергии, и тем самым эффективно гасит инерционные силы от колебания жидкостей по сравнению с существующими, и, в конечном счете, улучшить устойчивость и управляемость автомобильных цистерн, от которых зависит безопасность перевозок.

Заключение

1. Применение цистерн с устройством передачи инерционных сил на раму (платформу) позволит избежать аварий, часто встречающихся при использовании традиционных цистерн.
2. Предложенная конструкция цистерны за счет наличия подвижных перегородок с упругими элементами позволяет значительно снизить колебания жидкости и их воздействие на днища и котел цистерны.
3. Приведенные аналитические выражения могут использоваться для определения параметров устройства для демпфирования колебаний перевозимой жидкости.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Островский, А.М. Пути совершенствования транспортирования опасных грузов в условиях интенсификации перевозочного процесса: дис. д-ра техн. наук: 05.22.08 / А. М. Островский; Новосибирский институт инженеров железнодорожного транспорта. – Новосибирск, 1988. – 421 л.
2. Высоцкий, М. С. Динамика автомобильных и железнодорожных цистерн / М. С. Высоцкий, Ю. М. Плескачевский, А. О. Шимановский. – Мн.: Белавто-тракторостроение, 2006. – 320 с.
3. Цистерна: патент 8273 Респ. Беларусь, МПК7 В 65D 88/12, В60 Р 3/22 / В.Я Тимошенко, А.О. Шимановский, А.В. Новиков, Г.И. Кошля; заяв. Белорусский государственный аграрный технический ун-т. – № и 20110870; заявл. 2011.11.08; опубл. 2012.06.30.
4. Савкин, В.Н. Основы расчетов на прочность и жесткость типовых элементов транспортных средств / В.Н. Савкин, В.И. Водопьянов, О.В. Кондратьев. – Волгоград: ВолгГТУ, 2014. – С. 119.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 27.12.2017