

УДК 629.463.32-192:532.559.8

*А. О. ШИМАНОВСКИЙ, А. В. ПУТЯТО, О. И. ЯКУБОВИЧ*

*Белорусский государственный университет транспорта, Гомель*

## **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕМПФИРОВАНИЯ КОЛЕБАНИЙ ЖИДКОСТИ В РЕЗЕРВУАРАХ ЦИСТЕРН**

Приведены результаты анализа перетекания жидкого груза в транспортном резервуаре с перфорированной перегородкой при различных уровнях заполнения емкости. Предложен метод, позволяющий комплексно оценить эффективность демпфирования колебаний при различных схемах размещения сплошных и перфорированных перегородок.

Одним из способов улучшения динамических качеств цистерн является установка демпфирующих перегородок [1]. В работе [2] исследуется влияние расположения сплошной поперечной перегородки на тормозной путь автомобиля. В диссертации [3] выполнен анализ связанных колебаний подвижных перфорированных перегородок и жидкости внутри резервуара пожарной цистерны. Однако в названных работах отсутствуют методики, позволяющие осуществить комплексную оценку эффективности того или иного вида перегородок, а также оптимизировать их конструкцию.

В представленной работе описаны результаты исследований по анализу перетекания жидкости в резервуарах цистерн, а также предложен метод, позволяющий оценить эффективность демпфирования колебаний, основанный на энергетическом подходе.

Реализация стандартной  $k$ - $\varepsilon$  модели турбулентности предполагает вычисление кинетической энергии каждого конечного элемента жидкости на каждом шаге по времени. Суммированием этих энергий можно получить кинетическую энергию системы в целом. Наличие диссипации приводит к уменьшению кинетической энергии. Для режимов движения цистерн, при которых влияние жидкости на движение цистерны максимально, наиболее существенным показателем, характеризующим демпфирование колебаний жидкости, является уменьшение суммарной кинетической энергии жидкости (диссипация энергии) за время одного колебания. Именно в этот период развиваются явления, которые могут стать причиной больших динамических нагрузок на элементы конструкции либо опрокидывания цистерны.

Нами выполнены расчеты, при которых определялась зависимость диссипации энергии от времени для различных уровней заполнения цистерн при изменении диаметра отверстия, находящегося в центре перегородки, размещенной посередине резервуара цистерны. Соответствующие графики показа-

ны на рисунках 1–6. Из приведенных графиков видно, что расстояния между кривыми, соответствующими перегородкам разного размера, изменяются с течением времени, что обусловлено особенностями поля скоростей течения жидкости для каждого рассмотренного случая. Причем не всегда диссипация энергии наибольшая при самом большом размере перегородки. Подробный анализ кривых диссипации дает возможность оптимизации конструкции демпфирующих устройств.

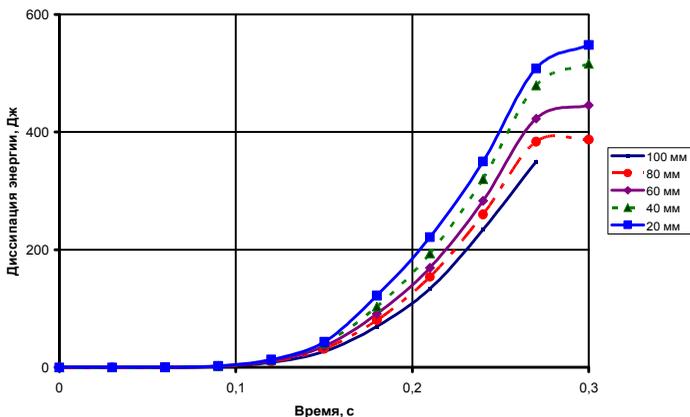


Рисунок 1 – Зависимость диссипации энергии от времени для заполнения цистерны жидкостью на 90 %. Число возле линии на легенде соответствует размеру отверстия в перегородке

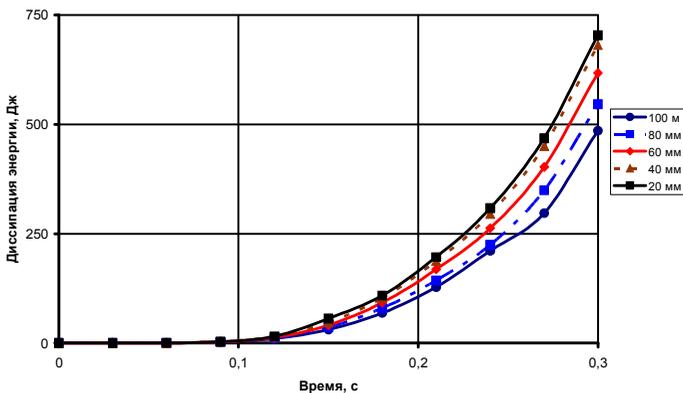


Рисунок 2 – Зависимость диссипации энергии от времени для заполнения цистерны жидкостью на 80 %. Число возле линии на легенде соответствует размеру отверстия в перегородке

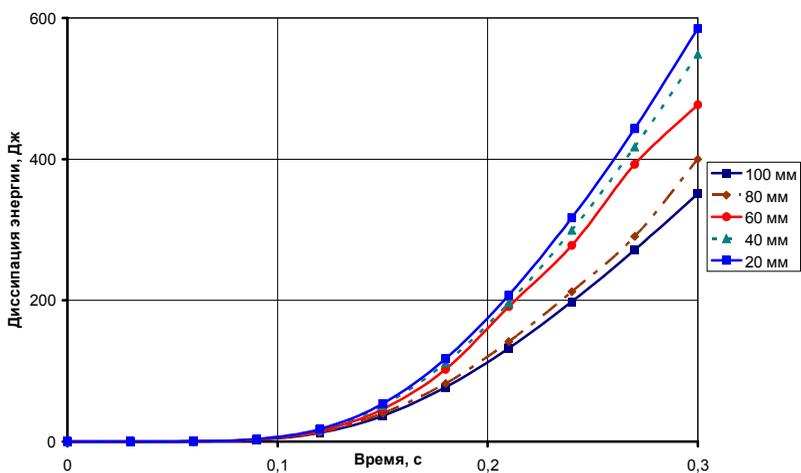


Рисунок 3 – Зависимость диссипации энергии от времени для заполнения цистерны жидкостью на 70 %. Число возле линии на легенде соответствует размеру отверстия в перегородке

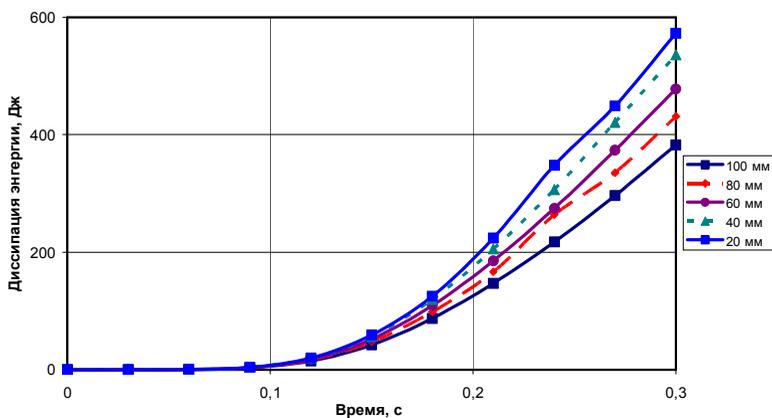


Рисунок 4 – Зависимость диссипации энергии от времени для заполнения цистерны жидкостью на 60 %. Число возле линии на легенде соответствует размеру отверстия в перегородке

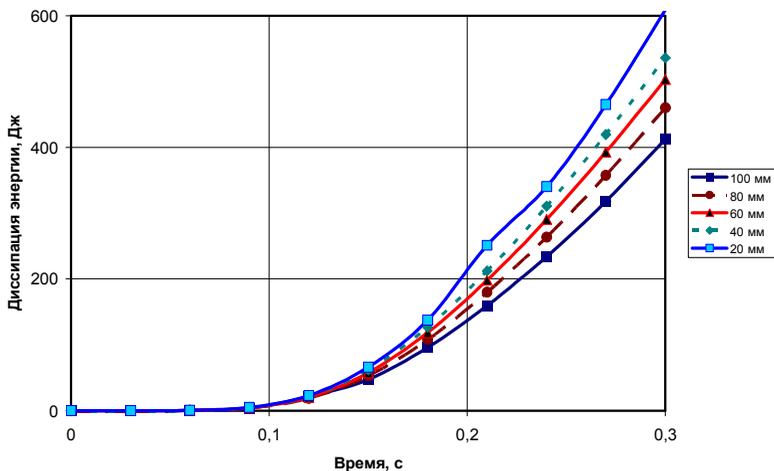


Рисунок 5 – Зависимость диссипации энергии от времени для заполнения цистерны жидкостью на 50 %. Число возле линии на легенде соответствует размеру отверстия в перегородке

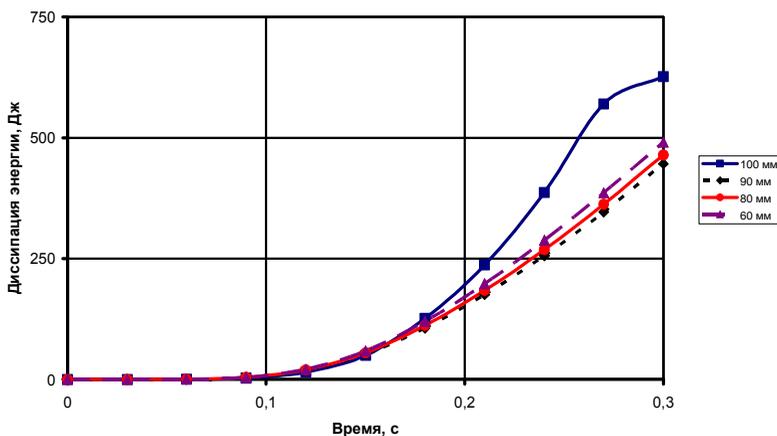


Рисунок 6 – Зависимость диссипации энергии от времени для заполнения цистерны жидкостью на 40 %. Число возле линии на легенде соответствует размеру отверстия в перегородке

Выполненный анализ показал, что в качестве критерия эффективности демпфирования колебаний жидкости в резервуарах цистерн должна использоваться диссипация энергии за один цикл колебаний. Чем больше абсолютная

величина этой энергии, тем эффективнее работают демпфирующие устройства и соответственно тем лучше динамические качества цистерны.

С помощью описанной методики выполнено компьютерное моделирование перетекания жидкости в цистерне при ее торможении с учетом установки поперечной перфорированной перегородки. Схема ее установки приведена на рисунке 7.

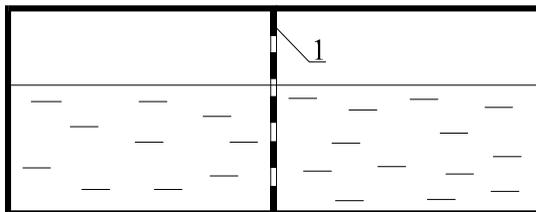


Рисунок 7 – Схема расположения перегородки в резервуаре

Выполнены расчеты зависимости диссипации энергии в функции от размера отверстий перфорации перегородок. Их результаты показали, что существует некоторое значение диаметра перфорации, при котором диссипация энергии за первый цикл колебаний жидкости в резервуаре максимальна. На рисунке 8 приведен график зависимости потерь кинетической энергии при прохождении через перегородки от диаметра перфорации для емкости, имеющей размеры  $2 \times 5$  м.

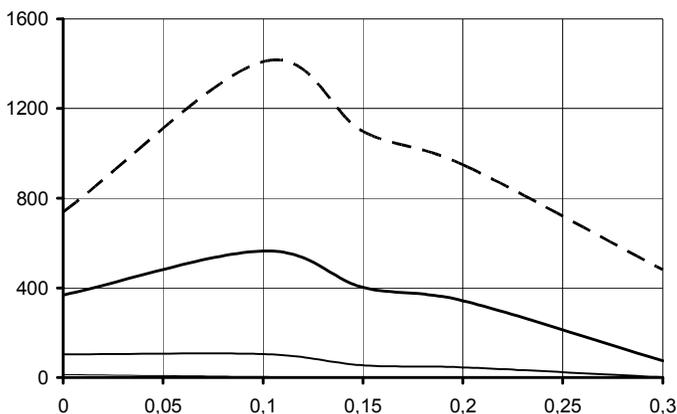


Рисунок 8 – Зависимость диссипации энергии жидкости в функции от диаметра отверстий перфорации

Из приведенного графика видно, что для рассматриваемого случая максимальное демпфирование колебаний жидкости имеет место в случае, если отверстия перфорации имеют диаметр 11 мм, и в общей сложности диаметр отверстий составляет 60 % от площади перегородки. В этом случае влияние жидкости на динамику цистерны будет наименее существенным по сравнению с иными вариантами перегородок.

Подобный анализ может быть выполнен для резервуаров различной формы при различных схемах установки перегородок и с учетом различных вариантов перфорирования. Кроме того могут рассматриваться различные схемы движения резервуаров, соответствующие особенностям эксплуатации железнодорожных и автомобильных цистерн.

Таким образом, в результате исследований установлено, что основным критерием эффективности гашения колебаний жидкости должна быть потеря кинетической энергии на диссипацию. С использованием этого критерия может быть выполнена оптимизация установки перегородок в резервуарах цистерн.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Высоцкий, М. С.** Динамика автомобильных и железнодорожных цистерн / М. С. Высоцкий, Ю. М. Плескачевский, А. О. Шимановский; Обьедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси. – Минск : Белавтотракторостроение, 2006. – 320 с. – ISBN 985-6637-06-6.

2 **Wang, Z.** Influence of partition location on directional stability performance of a partially-filled tank truck / Z.Wang, S.Rakheja, S.Cunzhen // Journal of Commercial Vehicles, Transactions of SAE, Section 2. – 1995. – P. 592–601.

3 **Макеев, А. В.** Повышение устойчивости движения автоцистерн путем демпфирования колебаний жидкости : автореф. дис. ... канд. техн. наук. / Моск. автомобильно-дорожный ин-т. – М., 1989. – 19 с.

*SHIMANOVSKY A. O., PUTIATO A. V., JAKUBOVICH O. I.*

#### THE ANALYSIS OF DAMPING EFFICIENCY FOR LIQUID SLOSHING IN TANKS

The analysis results of liquid load flow in transport tank with a perforated baffle for different tank filling levels have been shown. The method that allows the complex evaluation of sloshing damping efficiency for different placements of solid and perforated baffles has been suggested.

Получено 15.12.2008