

УДК 629.463.32

Мусаев Жанат Султанбекович – к.т.н., доцент (Алматы, КазАТК)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ УРАВНЕНИЙ ДВИЖЕНИЯ КОТЛА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ЦИСТЕРНЫ

Как известно, при выборе расчетной схемы цистерны необходимо учитывать особенности как конструкции, так и транспортируемого груза. При этом математическая модель должна наиболее полно соответствовать реальной системе и вместе с тем быть достаточно простой и удобной для практической реализации с использованием ЭВМ. Поэтому при построении математической модели цистерны наиболее приемлемыми являются методы, позволяющие перейти от системы тело-жидкость к дискретной механической системе с конечным числом степеней свободы [1].

С учетом конструктивных особенностей вагонов-цистерн введем следующие допущения: рассмотрим котел цистерны, раму и другие элементы конструкции как: абсолютно жесткие тела, а груз - как однородную идеальную и несжимаемую жидкость; примем во внимание деформируемость упругих элементов рессорного подвешивания, поглощающих аппаратов, а также элементов крепления котла к раме (при оценке их нагруженности); положим, что цистерна движется по жесткому горизонтальному или наклонному в вертикальной продольной плоскости участку пути.

Представим котел цистерны в виде горизонтально расположенной цилиндрической емкости, частично заполненной жидкостью. Будем считать перемещения и скорости всех частиц жидкости и стенок полости малыми, т. е. в математическом описании движения жидкости можно пренебречь членами второго и более высокого порядка малости по сравнению с линейными. Кроме того, считаем, что ускорения всех частиц жидкости малы по сравнению с ускорением свободного падения тел, а начальное движение жидкости безвихревое.

Определение коэффициентов уравнений движения котла цистерны, частично заполненного жидким грузом, представляет собой самостоятельную задачу, решение которой существенным образом зависит от вида полости и характера заполнения ее жидкостью. В случае, когда жидкость заполняет полость таким образом, что нарушается симметрия системы тело - жидкость, решение задачи сопряжено со значительными трудностями. Как известно, свободная поверхность жидкости всегда располагается перпендикулярно к силе, действующей на частицы жидкости. Рассмотрим алгоритм и формулы для определения гидродинамических коэффициентов уравнений движения котла, частично заполненного жидкостью, в случаях, когда он расположен горизонтально (рисунок 1, а) и при его наклонах в вертикальной продольной плоскости под углом  $\beta$  к горизонтальной плоскости (рисунок 1, б, в).

На рисунке 1  $S_1, S_2, S_3$  - смоченные поверхности соответственно левого днища, цилиндрической части, правого днища;  $h_1$  - уровень заполнения жидкости в горизонтально расположенном котле, отсчитываемый от его срединной поверхности ( $0 > h_1 < R$ );  $R$  - радиус котла;  $h_2, h_3$  - вертикальные перемещения свободной поверхности жидкости при повороте котла на угол  $\beta$  соответственно на левом и правом днищах;  $Oxyz$  - абсолютная система координат, расположенная в центре геометрической симметрии котла;  $O_1x_1y_1z_1$  - подвижная система координат, жестко связанная с котлом;  $\Delta_1$  - расстояние от плоскости  $O_1z_1y_1$  до линии пересечения плоскостей свободных поверхностей жидкости в горизонтально расположенном и повернутом на угол  $\beta$  котлах;  $O_2x_2y_2z_2$  - система координат с осями, параллельными осям системы  $O_1x_1y_1z_1$  (точка  $O_2$  имеет координаты  $z =$

$h_1; y = 0; z = \Delta_1$ );  $\Delta_2$  - параметр, определяющий точку пересечения плоскости свободной поверхности жидкости с верхней образующей котла;  $l$  - длина эквивалентного по объему котла цилиндра.

При рассматриваемых уровнях заполнения пересечение плоскости свободной поверхности жидкости с днищами цилиндра будет происходить при углах наклона  $0 < \beta \leq \beta_2 (\beta_2 \leq \pi/4)$ .

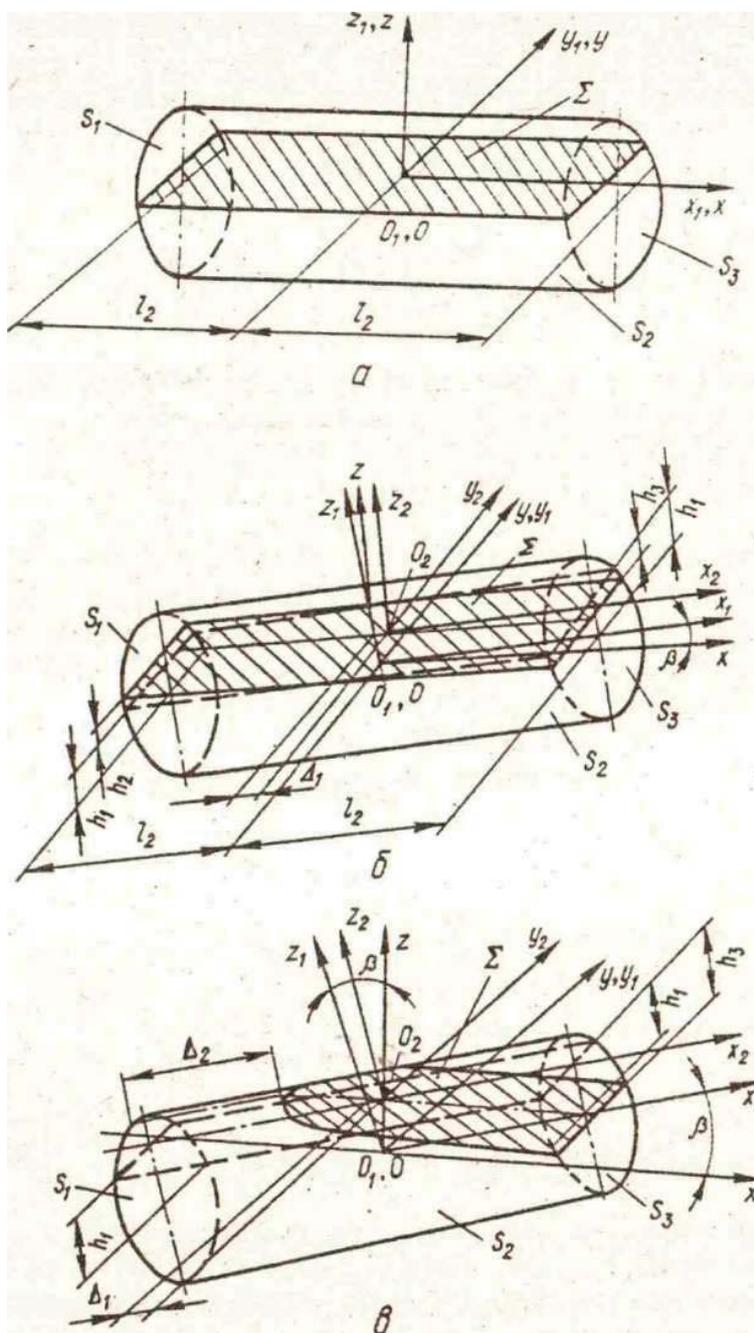


Рисунок 1 – Схема к определению гидродинамических коэффициентов уравнений движения котла, частично заполненного жидкостью

Параметры, характеризующие положение свободной поверхности, целесообразно определять, рассматривая два случая [2]:

1)  $0 < \beta \leq \beta_1$  (рис. 1, б), где  $\beta_1$  - угол наклона котла, при котором плоскость свободной поверхности жидкости проходит через точку пересечения левого днища и верхней образующей. Параметры  $h_2$  и  $h_3$  изменяются при этом в диапазонах  $0 < h_2 \leq h_2^* = R - h_1$ ,  $0 < h_3 \leq h_3^*$  и могут быть найдены из решения следующей системы уравнений:

$$\begin{aligned} h_2 + h_3 &= l \operatorname{tg} \beta; \\ \int_0^{h_2} (h_2 - z_2) f(z_2) dz_2 &= \int_{h_3}^0 (h_3 + z_2) f(z_2) dz_2 \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь  $h_2^*$  и  $h_3^*$  - вертикальное смещение свободной поверхности жидкости на левом и правом днищах при  $\beta = \beta_1$ ;  $f(z_2) = \sqrt{R^2 - (z_2 - h_1)^2}$ .

Величина  $\Delta_1$  определяется из выражения

$$\Delta_1 = h_2 \frac{1}{\operatorname{tg} \beta} - \frac{l}{2}. \quad (2)$$

2)  $\beta_1 < \beta \leq \beta_2$  (рис. 1, в); в этом случае  $h_2 = R - h_1$ . Параметры  $\Delta_2$  и  $h_3$  связаны соотношениями ( $\beta^* = \frac{\pi}{4} - \beta$ )

$$h_3 + (R - h_1) = (l - \Delta_2) \operatorname{tg} \beta;$$

$$\int_0^{R-h_1} \{\Delta_2 + [(R - h_1) - z_2] \operatorname{tg} \beta^*\} f(z_2) dz_2 = \int_{-h_3}^0 (h_3 + z_2) \operatorname{tg} \beta^* f(z_2) dz_2; \quad (3)$$

$$\Delta_1 = \frac{R - h_1}{\operatorname{tg} \beta} - \left( \frac{l}{2} - \Delta_2 \right). \quad (4)$$

### Выводы:

Для определения продольной нагруженности цистерны необходимо решать гидродинамическую задачу колебаний жидкости в котле железнодорожных цистерн наливных поездов, в связи с чем в статье проведен анализ алгоритма и аналитических выражений для определения гидродинамических коэффициентов уравнений движения котла, частично заполненного жидкостью, в случаях, когда он расположен горизонтально и при его наклонах в вертикальной продольной плоскости под углом к горизонтальной плоскости. В статье показано, что при заданном угле наклона  $\beta$  и уровне заполнения  $h_1$  используя выражения (1) – (4), определяют все параметры, характеризующие положение свободной поверхности жидкости в рассматриваемом наклонном цилиндре.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Высоцкий М. И., Плескачевский Ю. М., Шимановский А. О. Динамика автомобильных и железнодорожных цистерн. Минск, Беавтотракторостроение, 2006, 320 с.
2. Сенько В. И., Пулято А. В., Шимановский А. О. Прочность кузова железнодорожной цистерны с учетом перемещения перевозимого жидкого груза. Гомель, УО «БелГУТ», 2006, 210 с.