

ЛИТЕРАТУРА

1. R o m p e K. Die Kippgrenze von Doppeldesks. — Omnibussen, — VDI, HEFT 214, 1971, S. 28.
2. S h u r a w l e w S., S p r i n g e r H. Zur Berechnung der Eigenfrequenzen hydro-pneumatisch gefederter Fahrzeuge. — Automobil-Industrie, 1978, №2, S. 54—61.

УДК 629.113—073.445.62

Б.Л.КУЛАКОВСКИЙ, канд.техн.наук (БПИ)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЯЗКОСТИ В МОДЕЛИ АВТОМОБИЛЬНОЙ ЦИСТЕРНЫ

Движение автомобильной цистерны по различным траекториям, а также ускорение и замедление этого движения сопровождаются перемещением жидкости во внутренней полости емкости, ухудшая ее устойчивость. На практике широко применяются автоцистерны для перевозок жидких грузов различной вязкости (битум, дизельное топливо, пенообразователь, жидкие удобрения и т.д.). Физические свойства этих грузов влияют на значение опрокидывающего момента. В связи с этим становится актуальной задача исследования физической сущности поведения жидкости в модели цистерны.

Установлено, что с точки зрения устойчивости по опрокидыванию наиболее неблагоприятные условия движения автоцистерны создаются на траектории "переставка" и при резонансных колебаниях жидкости в сосуде. С целью

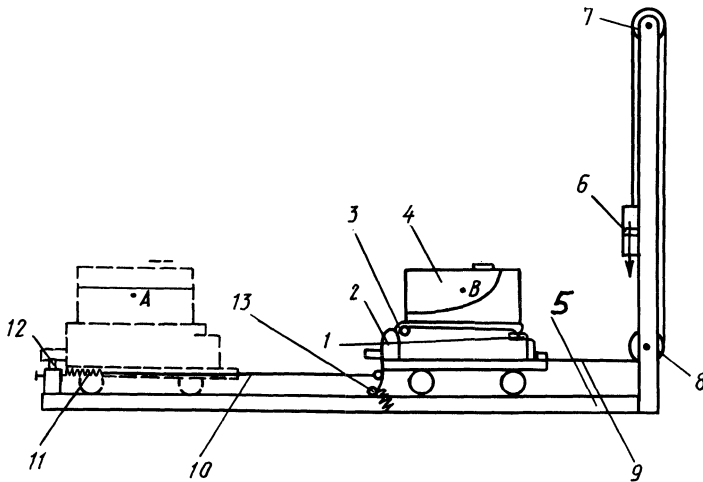


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для исследования поведения жидкости в модели цистерны:

- 1 — тензоэлемент балочный;
- 2 — стойка;
- 3 — шарнир;
- 4 — модель цистерны;
- 5 — направляющие;
- 6 — сменный груз;
- 7, 8 — блоки;
- 9, 10 — тросы;
- 11 — пружина;
- 12 — стопор;
- 13 — фиксатор.

имитации неустановившегося движения в лабораторных условиях были проведены экспериментальные исследования на модели цистерны с жидкостью различной вязкости.

Исследования проводились с помощью экспериментальной установки, показанной на рис. 1. Установка состоит из тележки, на которой закреплены балочный тензодатчик 1, стойка 2 с шарниром 3 и моделью цистерны 4.

Установка перемещается в горизонтальной плоскости по направляющим 5 под действием силы тяжести груза 6, соединенного тросом 9 с тележкой через блоки 7 и 8. В исходном положении центр модели цистерны находится в точке А, а тележка удерживается стопором 12. После приведения установки в действие тележка с моделью начинает двигаться равноускоренно. Значение ускорения можно регулировать с помощью массы сменного груза.

При натяжении троса 10 и пружины 11 (рис. 1) тележка начинает двигаться равнозамедленно. Это движение модели имитирует действие замедления. Замедление движения можно регулировать изменением жесткости пружины.

Когда модель займет положение В, как показано на рис. 1, фиксатор 13 обеспечит ей неподвижное состояние. При таком состоянии в модели продолжают свободные колебания жидкости.

Исходя из условий эксперимента был выбран масштаб модели цистерны $\alpha_L = 10$. Линейные размеры модели и глубина ее заполнения жидкостью определялись по формулам

$$l_m = \frac{l_{ц}}{10}; \quad b_m = \frac{b_{ц}}{10}; \quad h_m = \frac{h}{10},$$

где l_m ; b_m ; h_m — длина, ширина и глубина заполнения модели; $l_{ц}$; $b_{ц}$; h — длина, ширина и глубина заполнения цистерны.

Для определения замедления движения на тележке установлен тензометрический акселерометр типа АТ-1. Ось нижнего блока 8 связана с ротором тахогенератора, который регистрирует скорость движения тележки. Нормальные реакции модели регистрировались осциллографом Н-700.

Осциллографирование велось в течение того времени, когда совершался полный цикл движения модели и жидкости: равноускоренное движение, равнозамедленное движение, остановка до окончания свободных колебаний жидкости.

В модель заливались такие жидкости, как вода, дизельное топливо, дизельное масло, автотракторное масло и масло трансмиссионное автотракторное. Для сравнения устойчивости модели с жидкостью и твердым грузом она загружалась металлическими пластинами с весовыми и размерными параметрами, аналогичными модели с жидкостью. Натурные наблюдения показали, что при ускоренном движении тележки жидкость переходит к задней части модели. При этом происходит смещение центра тяжести жидкости в вертикальной плоскости и создается запас потенциальной энергии. Последующее замедление движения создает условия для перехода потенциальной энергии в кинетическую энергию движения жидкости к передней стенке модели. Кинетическая энергия движения жидкости переходит в энергию удара, что способствует увеличению момента силы, действующей на стенку модели.

Анализ полученных осциллограмм показал, что при ускоренном движении

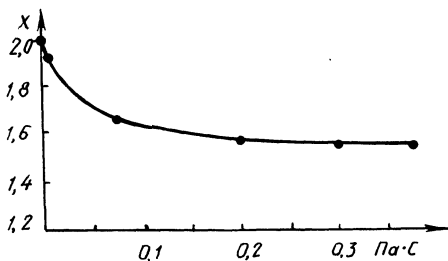


Рис. 2. Зависимость отношения $R_z^{\text{ж}}/R_z^{\text{н}}$ модели от динамической вязкости жидкости.

ции передней части модели цистерны от вязкости жидкости (рис.2).

По оси ординат откладывалось значение, которое определяется как

$$\chi = \frac{R_z^{\text{ж}} - R_z}{R_z^{\text{н}} - R_z}, \quad (1)$$

где $R_z^{\text{ж}}$ — нормальная реакция передней части модели цистерны при замедлении в момент удара жидкости в стенку; $R_z^{\text{н}}$ — нормальная реакция передней части модели цистерны с твердым грузом при замедлении; R_z — нормальная реакция передней части модели цистерны от статической нагрузки.

В формуле (1) знаменатель является той частью нормальной реакции модели, которая создается за счет силы инерции модели и жидкого груза. Числитель же состоит из суммы значений знаменателя и той доли нормальной реакции, которая создается за счет ударного взаимодействия жидкости со стенкой модели цистерны.

Значит, формулу (1) можно представить таким образом:

$$\chi = \frac{(R_z^{\text{н}} - R_z) + R_g}{R_z^{\text{н}} - R_z},$$

где R_g — доля нормальной реакции, создаваемой за счет удара жидкости, которая равна

$$R_g = R_z^{\text{ж}} - R_z^{\text{н}}.$$

Из рис. 2 видно, что при малой вязкости жидкости (ацетон, вода, молоко, пиво и т.д.) в результате ее удара происходит большое перераспределение нормальных реакций. При этом изменение нормальной реакции от удара жидкости почти в два раза больше по сравнению с действием силы инерции твердого груза.

Незначительное увеличение вязкости жидкости вызывает быстрое уменьшение силы удара и степени перераспределения нормальных реакций. Наблюдение показало, что при действии замедления на модель цистерны жидкость малой вязкости (вода, дизельное топливо) при ударе в стенку поднимается вверх. Благодаря такому явлению увеличивается высота центра давления жидкости. Жидкость с малой вязкостью перемещается интенсивно и ее кинетическая энергия расходуется на удар. С увеличением вязкости жидкости большая

тележки происходит незначительное изменение нормальной реакции за счет инерции и смещения центра тяжести жидкости. При замедленном движении тележки происходит заметное увеличение нормальной реакции передней части модели за счет удара жидкости в стенку модели.

С помощью описанной экспериментальной установки была определена зависимость нормальной реакции

часть ее кинетической энергии тратится на вязкостное трение, а меньшая — на удар. Наблюдение за трансмиссионным маслом в модели показало, что при действии замедления удар в стенку отсутствует, а жидкость медленно перемещается вперед и занимает наклонное положение. Этим можно объяснить незначительное увеличение нормальной реакции передней части модели с жидкостью большой вязкости.

Проведено исследование зависимости свободных колебаний жидкости в модели от динамической вязкости. При этом определялись значения R_g при каждом последующем периоде колебаний. Параметром, характеризующим затухание колебаний жидкости, принят логарифмический декремент затухания ν :

$$\nu = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)},$$

где $A(t)$; $A(t+T)$ — амплитуда колебаний в момент времени t ; $t+T$.

Поскольку амплитуда колебаний жидкости прямо пропорциональна изменению нормальных реакций модели за счет перемещения жидкости и ее удара в стенку R_z^x , то натуральный логарифм отношения значений

$$\nu = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)} = \frac{R_g(t)}{R_g(t+T)} = \frac{1}{K_0}$$

будет равен логарифмическому декременту затухания, т.е.

$$K_0 = \frac{1}{\ln \frac{A(t)}{A(t+T)}}$$

где K_0 — коэффициент, учитывающий потери энергии на жидкостное трение.

На рис. 3 показана зависимость декремента затухания от вязкости жидкости за первый период колебания. Здесь видно, что у воды имеется сравнительно низкий декремент затухания (0,65). С увеличением вязкости жидкости декремент соответственно увеличивается. При незначительном увеличении вязкости жидкости (от 0 до 0,001 Па·с) декремент затухания резко увеличивается, а при дальнейшем увеличении вязкости приращение декремента замедляется. Такое затухание колебаний жидкости малой вязкости объясняется сравнительно большой диссипацией энергии, сообщенной жидкости при ее возмущении. С увеличением вязкости много энергии расходуется на жидкостное трение между ее слоями.

Экспериментальное определение частот собственных колебаний жидкости выявило, что динамическая вязкость жидкости незначительно влияет на их изменение. Только у сравнительно вязких жидкостей (глицерин, патока и т.п.) увеличение вязкости вызывает заметное уменьшение частоты их собственных колебаний.

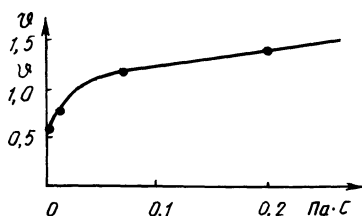


Рис. 3. Зависимость декремента затухания колебаний жидкости от ее вязкости за первый период.