

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ РЕЗЕРВУАРОВ, ЧАСТИЧНО ЗАПОЛНЕННЫХ НЬЮТОНОВСКИМИ И НЕНЬЮТОНОВСКИМИ ЖИДКОСТЯМИ

Кузнецова М. Г., Якубович О. И., Суханова О. А.

Белорусский государственный университет
транспорта, г. Гомель, Республика Беларусь

Конструкции резервуаров, предназначенных для транспортировки жидких грузов, в значительной мере определяются реологическими свойствами перевозимых жидкостей, в качестве которых часто выступают неньютоновские жидкости: нефть и нефтепродукты, бетонные смеси, патока и др. При относительном движении таких жидкостей проявляются касательные силы сцепления между частицами, тормозящие скольжение слоев. Исследования по динамике цистерн, выполненные ранее, были связаны с анализом перетекания в резервуарах ньютоновских жидкостей, для которых касательные напряжения между частицами прямо пропорциональны относительной скорости перемещения ее слоев. Для неньютоновских жидкостей эта зависимость отлична от прямо пропорциональной. Их кажущаяся вязкость зависит от температуры, давления и скорости сдвига, продолжительности его действия и других факторов. В настоящее время особенности перетекания в транспортных резервуарах большинства неньютоновских жидкостей не изучены. Поэтому целью представленной работы является оценка влияния свойств неньютоновских жидкостей на колебания грузов в резервуарах цистерн, а также на нагруженность транспортных резервуаров.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: анализ влияния уровня заполнения цистерны, а также наличия и отсутствия перегородки, на характеристики перетекания ньютоновских и неньютоновских жидкостей в транспортных резервуарах при переходных режимах движения.

Для сравнения динамической нагруженности цистерн в зависимости от вида транспортируемых жидкостей в программе ANSYS CFX выполнено моделирование перетекания неньютоновских жидкостей в цистерне диаметром 2 м и длиной 4 м для случаев движения с постоянным замедлением 0,6 g и начальной скоростью движения 15 м/с. Принималось, что в начальный момент времени свободная поверхность жидкости была горизонтальной.

Чтобы оценить, какое влияние оказывают реологические свойства жидкостей при их перетекании в резервуаре с перегородками на значения гидродинамических давлений и диссипации энергии жидких грузов, проведен анализ перетекания грузов, имеющих одинаковую плотность $\rho = 967 \text{ кг/м}^3$ и вязкость в начальный момент времени $\mu_0 = 0,1 \text{ Па}\cdot\text{с}$ в резервуаре со сплошной перегородкой, составляющей 50 % и 80 % от высоты резервуара, с

перегородкой с одним отверстием площадью 50 % от площади поперечного сечения резервуара, а также для случая семи отверстий в сплошной перегородке.

Результаты показали, что для варианта «половиной перегородки» положение жидкого груза, описанного ньютоновской, бингамовской и моделью де Вале, отличается, что соответствует свойствам названных жидкостей. Результаты расчетов демонстрируют, что суммарная диссипация энергии транспортируемой жидкости ($\rho = 967 \text{ кг/м}^3$), поведение которой описывалось тремя разными моделями, максимальна для бингамовской модели и в два раза превышает значения, полученные для других моделей. В то же время для модели де Вале и ньютоновской значения отличаются менее, чем на 10 % за один цикл колебаний.

Для оценки влияния уровня заполнения резервуара на суммарную диссипацию энергии транспортируемых жидкостей, имеющих разные плотности, выполнен анализ перетекания жидкостей в резервуаре с установленной перфорированной перегородкой, имеющей семь равномерно распределенных по площади перегородки отверстий диаметра 20 см. Расчеты выполнены для воды (ньютоновская жидкость), бетонной смеси (бингамовская жидкость) и тяжелой нефти (модель де Вале) при уровнях заполнения резервуара 40–80 %.

Расчеты показали, что для всех транспортируемых жидких грузов 40–50 % уровень заполнения резервуара является самым неблагоприятным с точки зрения эффективности гашения колебаний жидкого груза. Затем значения диссипации энергии жидких грузов увеличиваются с увеличением уровня налива: для нефти и воды до 70 %, для бетонной смеси – до 60 %. А при 80 %-м заполнении резервуара значения суммарной диссипации энергии жидкостей за первый цикл колебаний уменьшается, поскольку в этом случае центр масс жидкости колеблется с меньшими амплитудами по сравнению с менее заполненным резервуаром.

Значения суммарной диссипации энергии бингамовской жидкости (бетонной смеси) в 5 и более раз больше ньютоновской (воды), тогда как для жидкости по модели де Вале (нефти) они составляют в среднем 70 % от ньютоновской (воды).

В то же время максимальные значения гидродинамических давлений в резервуаре увеличиваются с увеличением уровня его заполнения и наблюдаются в первые 0,2–0,3 с после начала торможения, причем значения давлений всех рассмотренных жидкостей пропорциональны их плотностям.

Выполненный анализ показал, что результаты расчетов перетекания ньютоновских жидкостей могут быть применены к неньютоновским с использованием коэффициентов, полученных на основе компьютерного моделирования.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований.