

КОЛЕБАНИЯ СТенок ПЛОСКОГО КАНАЛА, ОБРАЗОВАННОГО ОДНОСЛОЙНОЙ И ТРЕХСЛОЙНОЙ ПЛАСТИНАМИ, УСТАНОВЛЕННОГО НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ

В. С. ПОПОВ, А. А. ПОПОВА, А. В. ЧЕРНЕНКО

Саратовский государственный технический университет им. Ю. А. Гагарина,
Российская Федерация

Для исследования напорного движения жидкости широко используется расчетная схема плоского канала, стенки которого образованы двумя параллельными пластинами. Традиционный подход заключается в рассмотрении стенок канала как абсолютно твердых [1]. С другой стороны, пульсация давления жидкости в реальных каналах является причиной возникновения колебаний их стенок. Известны работы, в которых рассмотрены гидроупругие колебания стенок канала при их представлении упругой пластиной и абсолютно жесткой пластиной на упругом подвесе [2–4]. В работе [5] проведено исследование динамики взаимодействия стенок плоского канала, установленного на упругом основании Винклера, для случая, когда верхняя и нижняя стенки канала рассматриваются как прямоугольные пластины. В работах [6, 7] рассмотрены случаи, когда нижняя стенка рассматривается как трехслойная балка и круглая пластина. В предлагаемом исследовании разрабатывается математическая модель для изучения динамики взаимодействия пульсирующей вязкой жидкости, заключенной между однослойной пластиной и трехслойной пластиной, установленной на упругом основании Винклера. Данная проблема сводится к постановке и решению связанной задачи гидроупругости для рассматриваемых пластин.

Рассмотрим узкий канал, образованный двумя параллельными стенками, условно представленный на рисунке 1.

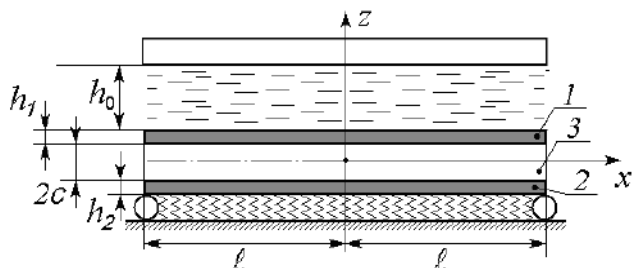


Рисунок 1 – Плоский канал, образованный однослойной пластиной и трехслойной пластиной, установленной на основании Винклера

Верхняя стенка канала представляет собой однослойную пластину. Данная пластина шарнирно оперта на торцах. Нижняя стенка канала образована трехслойной пластиной, установленной на упругом основании. Для упругого основания принимаем модель Винклера. Трехслойная пластина представляет собой пакет, состоящий из двух несущих слоев 1, 2, воспринимающих основную нагрузку, и несжимаемого заполнителя 3, обеспечивающего их совместную работу. Рассматриваем кинематику трехслойной пластины с несжимаемым заполнителем в рамках гипотезы ломаной нормали, предложенной в [8]. Трехслойная пластина на торцах считается свободно опертой. Геометрические размеры верхней и нижней стенок канала в плане совпадают и составляют $2\ell \times b$. При этом полагаем, что размер $b \gg \ell$. Данное положение позволяет нам перейти к рассмотрению плоской задачи. В щели, между однослойной и трехслойной пластиной, движется вязкая несжимаемая жидкость, которая полностью заполняет щель. Толщина слоя жидкости в канале в невозмущенном состоянии принимается равной h_0 . Считаем, что в силу узости канала выполняется условие $h_0/\ell \ll 1$. Движение жидкости в канале происходит за счет заданного статического перепада давления на его торцах. Кроме статического перепада давления, на торцах канала слева и справа считается заданным гармонический закон пульсации давления. В результате пульсаций давления в вязкой жидкости возникают гидроупругие колебания стенок канала. Далее мы полагаем, что амплитуда изгибных колебаний стенок канала значительно меньше толщины слоя жидкости в канале,

т. е. считаем, что прогибы однослойной и трехслойной пластин при их колебаниях малы по сравнению с характерным поперечным размером h_0 сечения канала.

В рассматриваемой колебательной системе будет наблюдаться диссипация энергии, вызванная вязкостью жидкости. Поэтому в течение короткого промежутка времени все переходные процессы в ней затухают и возникают вынужденные установившиеся изгибные гидроупругие колебания рассматриваемых пластин-стенок канала, обусловленные пульсацией давления жидкости на торцах канала. Принимая указанное во внимание, далее будем рассматривать только режим установившихся вынужденных колебаний.

Разработанная математическая модель представляет собой систему уравнений, включающую: уравнения Навье – Стокса и уравнение неразрывности, а также уравнения динамики однослойной пластины и трехслойной пластины, установленной на основании Винклера. Данные уравнения дополняются граничными условиями, в качестве которых выступают: условия прилипания вязкой жидкости к пластинам, условия для давления на торцах канала, условия шарнирного и свободного опирания однослойной и трехслойной пластины.

Исследование модели проводится методом возмущений по характерным малым параметрам задачи гидроупругости. В качестве данных параметров выступают: относительная толщина слоя жидкости и относительная амплитуда колебаний однослойной пластины. При этом уравнения динамики жидкости линеаризируются, аналогично гидродинамической теории смазки. Решая линеаризованные уравнения динамики тонкого слоя вязкой жидкости, получили выражение для давления как функции неизвестных прогибов пластин-стенок канала. Кроме того, было показано, что касательными напряжениями жидкости можно пренебречь по сравнению с нормальными напряжениями в ней. В результате исходная система была сведена к двум интегро-дифференциальным уравнениям изгибных колебаний пластин. Решение данной системы проведено методом разделения переменных при задании формы прогибов пластин в виде рядов по собственным функциям соответствующих задач Штурма – Лиувилля. Используя данное решение, были определены частотозависимые функции распределения амплитуд прогибов однослойной и трехслойной пластин вдоль канала.

Полученные частотозависимые функции распределения амплитуд прогибов стенок канала могут быть использованы для развития методов неразрушающей диагностики [9] состояния систем гидропривода, смазки, подачи топлива и охлаждения по параметрам вынужденных колебаний упругих элементов, образующих стенки каналов, заполненных жидкостью.

Список литературы

- 1 Башта, Т. М. Машиностроительная гидравлика / Т. М. Башта. – М. : Машиностроение, 1971. – 672 с.
- 2 Могилевич, Л. И. Динамика взаимодействия упругих элементов вибромашины со сдвливаемым слоем жидкости, находящимся между ними / Л. И. Могилевич, В. С. Попов, А. А. Попова // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2010. – № 4. – С. 23–32.
- 3 Бочкарев, С. А. Гидроупругая устойчивость прямоугольной пластины, взаимодействующей со слоем текущей идеальной жидкости / С. А. Бочкарев, С. В. Лекомцев, В. П. Матвеев // Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа. – 2016. – № 6. – С. 108–120.
- 4 Могилевич, Л. И. Продольные и поперечные колебания упругозакрепленной стенки клиновидного канала, установленного на вибрирующем основании / Л. И. Могилевич, В. С. Попов, А. А. Попова // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2018. – № 3. – С. 28–36.
- 5 Могилевич, Л. И. Динамика взаимодействия пульсирующей вязкой жидкости со стенками щелевого канала, установленного на упругом основании / Л. И. Могилевич, В. С. Попов, А. А. Попова // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2017. – № 1. – С. 15–23.
- 6 Mathematical modeling of three-layer beam hydroelastic oscillations / L. I. Mogilevich [et al.] // Vibroengineering PROCEDIA. – 2017. – Vol. 12. – P. 12–18.
- 7 Могилевич, Л. И. Гидроупругость вибропоры с трехслойной круглой упругой пластиной с несжимаемым наполнителем / Л. И. Могилевич, В. С. Попов, Э. И. Старовойтов // Наука и техника транспорта. – 2006. – № 2. – С. 56–63.
- 8 Горшков, А. Г. Механика слоистых вязкоупругопластических элементов конструкций / А. Г. Горшков, Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая. – М. : Физматлит, 2005. – 576 с.
- 9 Алексеева, Т. В. Техническая диагностика гидравлических приводов / Т. В. Алексеева. – М. : Машиностроение, 1989. – 263 с.