

Нелинейные колебания трубопровода с присоединенной массой¹

Шакирьянов М.М., Юлмухаметов А.А.

Институт механики им. Р.Р. Мавлютова УФИЦ РАН, Уфа

Рассматриваются нелинейные колебания участка двух опорного трубопровода с заключенной в нем газожидкостной средой, имеющей кольцевую структурную форму течения [1,2]. Крепления трубопровода к опорам – шарнирные. Одна из опор неподвижна относительно основания, другая – может скользить по нему. При этом скользящая опора прикреплена к основанию с помощью линейно упругих элементов. В статическом состоянии труба изогнута внутренним постоянным давлением, собственным весом и весом транспортируемого продукта. В момент времени t давление p в газожидкостной среде становится переменным и трубопровод начинает совершать изгибные колебания в вертикальной плоскости. Учитывается взаимодействие внутреннего давления и изменения кривизны осевой линии трубы. Транспортируемая среда в трубопроводе состоит из идеально несжимаемых жидкой и газовой фаз. Предполагается, что течение газа в осевом направлении происходит внутри жидкой круговой цилиндрической области с внутренним и наружным радиусами. При равномерном поступательном движении, направленном перпендикулярно оси вращения трубы, размер внутреннего радиуса и форма жидкой области сохраняются. С ускорением движения из-за течения жидкости в поперечных сечениях трубы указанные характеристики изменяются. Вследствие этого происходит изменение давления на внутренней поверхности трубы, обуславливающее эффект ее присоединенной массы.

Сила сопротивления кольцевой жидкости ускоренному поперечному движению трубы определяется из решения плоской задачи. Действие этой силы учитывается в дифференциальном уравнении в частных производных, описывающем колебания трубы. Функция прогиба трубопровода принимается по первой основной форме. Процедура Бубнова-Галеркина

сводит проблему к нелинейной задаче Коши, которая решается численно методом Рунге-Кутты. Далее к этому решению применяются дискретное преобразование Фурье и отображение Пуанкаре.

Таким образом, получено, что ускоренное движение трубы в направлении, перпендикулярном ее оси вращения, при кольцевой структурной форме транспортировки газожидкостной среды вызывает течение жидкой фазы в поперечных сечениях. При этом трубопровод испытывает силу сопротивления, величина которой прямо пропорциональна его ускорению и присоединенной массе. Установлено, что динамические характеристики трубы, полученные с учетом и без учета присоединенной массы, отличаются незначительно. Сформулировано предположение о том, что следствием движения частиц жидкой фазы в поперечных сечениях трубопровода станет течение жидкости в продольном направлении от опор к середине пролета. По истечении определенного времени это может привести к уменьшению проходного сечения трубопровода. Показано, что увеличение амплитуды и частоты переменного давления в трубе приводят к увеличению амплитуд динамической части прогиба. Установлено, что изгибные колебания трубы имеют вид биений. Получено приближенное аналитическое решение нелинейного уравнения установившихся изгибных колебаний трубы. Результаты численного и приближенного аналитического моделирования находятся в качественном согласии.

Список литературы:

- [1] Чисхолм Д. Двухфазные течения в трубопроводах и теплообменниках: Пер. с англ. Пер. изд.: Великобритания, 1983. – М.: Недра, 1986. 204 с.
- [2] Коршак А.А., Забазнов А.И., Новоселов В.В., Матросов В.И., Клюк Б.А. Трубопроводный транспорт нестабильного газового конденсата. – М.: ВНИИОЭНГ. 1994. 224 с.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-01-00150)