

Влияние присоединенной массы на пространственные колебания трубопровода с вибрирующими опорами

Шакирьянов М.М., Юлмухаметов А.А.

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

Трубопроводы широко применяются в оборудовании энергетики, нефтехимии, в аэрокосмической технике и во многих других машинах и аппаратах. Основная функция трубопроводов – транспортировка жидких и газообразных сплошных сред. Особенность их эксплуатации состоит в том, что они испытывают кроме силы веса динамические растягивающую, сжимающую и изгибающую нагрузки, давление сред на обе поверхности.

В настоящей работе изучено влияние присоединенной массы газожидкостной среды кольцевой структурной формы течения на пространственные колебания трубопровода с вибрирующими опорами.

Постановка задачи следующая. Труба прикреплена к опорам с помощью идеальных сферических шарниров. Расстояние между концевыми сечениями трубопровода – неизменное. Учитываются взаимодействия внутреннего давления и кривизны осевой линии, продольной и поперечной деформаций трубы. Предполагается, что транспортируемая среда в поперечном сечении имеет кольцевую форму течения: газовая фаза кругового сечения движется внутри жидкой круговой цилиндрической фазы, контактирующей с внутренней поверхностью трубопровода. При этом скоростной напор, по сравнению с постоянным внутренним давлением в трубе, считается малым. Также пренебрегается действиями сил трения потока и продольных сил инерции трубы. Кроме того, малыми предполагаются деформации, которые могут вывести ось трубы из плоскости изгиба. В начальном положении трубопровод, изогнутый силами гравитации и внутреннего давления, находится в покое. В определенный момент времени опоры начинают совершать горизонтальные поступательные вибрационные движения. Далее с этого момента времени происходят установившиеся пространственные колебания трубопровода. С ускорением движения из-за течения транспортируемой жидкости в поперечном направлении происходит изменение давления на внутренней поверхности трубы, обуславливающее эффект ее присоединенной массы.

Как и в работе [1], для исследования этих пространственных колебаний с учетом влияния присоединенной массы используется изгибно-вращательная модель. Модель рассматривает пространственные колебания трубы как совокупность относительных изгибных перемещений в одной плоскости, переносных угловых поворотов плоскости изгиба и поступательных движений опор. Далее с принятием аппроксимирующей функции прогиба и применением метода Бубнова-Галеркина решение задачи сводится к системе двух нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений. Выражение присоединенной массы транспортируемой среды определяется по [2, 3]. Система дифференциальных уравнений, описывающая колебания трубы, решается численно методом Рунге-Кутты. Получено аналитическое решение линеаризованных уравнений движения трубы..

Числовые расчеты проводились для конкретных значений стальной, титановой и композитной труб. Из результатов вычислений можно отметить следующие выводы.

Построены графические зависимости отношений собственных частот изгибных и угловых колебаний, полученные с учетом и без учета перетекания частиц жидкости в поперечных сечениях труб от объемного содержания газовой и относительной плотности жидкой фазы транспортируемой среды. С увеличением плотности жидкой фазы транспортируемой среды отношения частот увеличиваются, а с увеличением объемного содержания газовой фазы – сначала увеличиваются, достигают максимума и далее уменьшаются до единицы.

Показано, что при одном и том же внутреннем давлении собственные частоты изгибных колебаний с учетом перетекания частиц жидкой фазы в поперечных сечениях трубы выше, чем собственные частоты без учета этого эффекта. Для стальной трубы они отличаются приблизительно на 4-5%, для титановой – 6-7%, для трубы из стекловолокна – 10-12%. При этом собственные частоты угловых колебаний труб практически остаются неизменными.

Установлено, что с увеличением внутреннего давления происходит уменьшение собственных частот изгибных колебаний стальной, титановой и композитной труб. В этом случае собственные частоты угловых колебаний труб увеличиваются.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-21-00106, <https://rscf.ru/project/24-21-00106/>

Список литературы

- [1] Утяшев И.М., Шакирьянов М.М. Пространственные колебания трубопровода с вибрирующими опорами // Изв. РАН. МТТ. 2023. № 4. С. 38-52.
- [2] Шакирьянов М.М, Юлмухаметов А.А. Внешняя и внутренняя присоединенные массы трубопровода // Известия Уфимского научного центра РАН. 2020. № 3. С. 12-16.
- [3] Шакирьянов М.М, Юлмухаметов А.А. Определение внешней и внутренней присоединенной массы трубопровода // Многофазные системы. 2020. № 1-2. С. 123.