

Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы

УДК 531.7 + 532.5

DOI: 10.14529/ctcr150312

ИДЕНТИФИКАЦИЯ СОСТАВА ЖИДКИХ СРЕД В ПРОТОЧНОЙ КАМЕРЕ НА ОСНОВЕ РЕЗОНАНСНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

С.Г. Некрасов, Р.А. Хажиев

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

Рассматривается виброакустическое устройство для измерения состава многокомпонентной жидкости. Работа устройства основана на свойстве конструкций резонансного типа изменять параметры вибрации при изменении внешней акустической нагрузки. Оригинальными здесь является и конструкция, позволяющая детализировать параметры текущей жидкости по сечению мерной части устройства, и метод измерения, основанный на отслеживании амплитудно-частотной характеристики, выбранной заранее формы колебаний, которая показала свою «живучесть» в разных средах или их комбинациях. Проведен модальный анализ и сформулированы критерии оптимальности формы колебаний сенсора для данной задачи. Проведены исследования чувствительности конструкции по частоте.

Ключевые слова: измерение расхода, многокомпонентная жидкость, идентификация состава, резонансные измерения.

Введение

Рассматриваемая задача связана с определением состава многокомпонентных сред при измерении расхода и имеет отношение к нефтегазодобывающей, металлургической, химической, энергетической и другим отраслям хозяйства.

В настоящее время разработка методов и средств измерения расхода многокомпонентных (а значит и многофазных) потоков без предварительного разделения фаз является одной из актуальных технических задач. Например, известно, что продукцией нефтяных скважин является смесь углеводородов, содержащая в различных количествах воду, соли, растворенный газ, механические и другие примеси, но практически отсутствует граница между двумя основными фазовыми состояниями смеси, так как нефть содержит в себе легкие углеводороды, находящиеся при нормальных условиях в газовом состоянии, а газ – тяжелые углеводороды, являющиеся в обычном состоянии жидкостью. Это значительно усложняет их учет. Существующие отечественные средства измерения, применяемые для контроля дебита скважин, такие как «Спутник», «Асма», «Квант» и другие [1], не имеют технического и методического обеспечения, необходимого для получения достоверных результатов измерений. Кориолисовы расходомеры отечественных производителей, в которых сочетается измерение расхода и плотности (например, U-образный Кориолисов расходомер Micro Motion фирмы Метран), имеют существенные ограничения по производительности и числу измеряемых компонент.

Большинство известных брендов в области измерений ведут работу в области многокомпонентной расходомерии. Следует отметить импедансный многофазный расходомер Roxa 2600 компании Emerson (рис. 1, а), принцип работы которого основан на использовании различий в физических свойствах измеряемых компонент, в частности, диэлектрической проницаемости, электропроводности и плотности с учетом значений давления и температуры. Чувствительная часть состоит из концентрично расположенных электродов (рис. 1, б), что позволяет детализировать структуру потока. В пространстве между электродами измеряется электрический импеданс и диэлектрическая проницаемость среды.

Определение скорости течения выполняется корреляционным методом или с помощью труб Вентури. Погрешности, возникающие из-за переменного соленосодержания и наличия в нефти песка, который имеет одинаковую с нефтью диэлектрическую проницаемость, минимизируются математической обработкой.

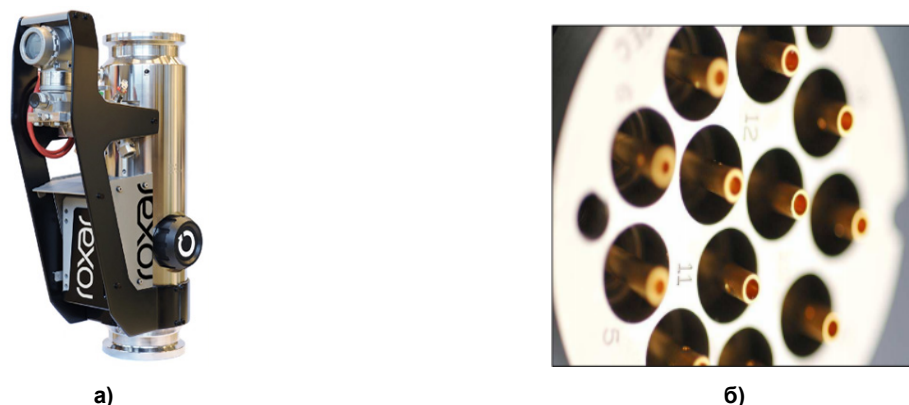


Рис. 1. Расходомер Roxar 2600

Многофазный расходомер МРМ компании FMC Technologies [2] основан на работе фазированной решетки (рис. 2, а).

На внутренней поверхности трубопровода установлены акустические излучатели-приемники, представляющие собой в совокупности пространственную фазированную решетку, диаграмма направленности которых имеет узкий центральный лепесток и подавленные боковые (рис. 2, б). Прибор вычисляет пространственное положение границ компонент жидкости в различные моменты времени, что позволяет получить пространственную структуру течения многофазной среды во времени и тем самым измерить объемный расход многофазной жидкости. Плотность среды измеряется радиоизотопным плотномером.



Рис. 2. Внешний вид многофазного расходомера МРМ (а) и акустический скан его мерного участка в момент измерений (б)

Можно продолжать рассматривать ряд более или менее удачных реализаций многокомпонентных устройств для измерения расхода и состава вещества, однако, очевидно, что на данный момент для измерения не очень больших величин расходов наиболее употребим кориолисов расходомер. Импедансные или адмитансные устройства существенно дешевле и используются только для определения состава, а измерение объемного расхода осуществляется одним из традиционных методов, что и позволяет в совокупности определить массовый расход каждой из компонент жидкости.

Одной из разновидностей импедансных устройств определения состава являются устройства на основе измерений акустического импеданса среды, причем измерения адресуют в окрестность одной из собственных частот сенсора [3], поэтому такие измерения можно еще классифицировать как резонансные. Сенсор представляет собой электромеханический преобразователь, работающий в звуковом или ультразвуковом диапазоне частот, который должен быть сопряжен некоторым образом со средой измерения. Особенностью измерений здесь является то, что измеряется весь механический импеданс сенсора, поэтому возникает дополнительная задача выделения из

общего значения импеданса нагрузки его акустической составляющей. Однако информационных параметров здесь гораздо больше и, в частности, появляется такой новый параметр, как резонансная частота сенсора.

1. Конструкция и принцип работы

Упрощенный вариант предлагаемой конструкции проточной части расходомера представлен на рис. 3.

Конструкция состоит из внешней мерной трубы 1 и укрепленных внутри нее n -измерительных сенсоров 2. Очевидно, что увеличение числа сенсоров позволит получить лучшую детализацию структуры течения, однако, чрезмерное их увеличение приведет к необходимости создания такого же числа измерительных каналов, что отрицательно может сказаться на быстродействии устройства.

Принцип работы устройства основан на получении информации о поведении выбранной заранее одной из первых собственных форм колебаний сенсора в процессе его взаимодействия с жидкостями различного состава. С каждым сенсором связаны не менее двух пьезоактивных датчиков, что позволяет не только гармонически возбудить, но и достоверно идентифицировать выбранную форму колебаний. Расположение сенсорной части конструкции непосредственно в жидкой среде позволяет решить проблему помехозащищенности, изолируя ее от внешнего воздействия (температура, влажность, давление и др.).

Возможности модального анализа позволяют установить спектр собственных частот как элементов конструкции, так и всей мерной части устройства, причем для полноценного модального анализа конструкции необходимо также установление взаимосвязи между парциальными и комбинационными частотами. В понятие парциальная частота здесь вложен смысл собственной частоты элемента конструкции, причем элемента, являющегося ее неотъемлемой частью и, следовательно, содержащего в себе особенности крепления или возбуждения, что должно отражаться, например, в выборе вида краевых условий. Комбинационные частоты являются результатом совместного влияния всех элементов, объединенных в единый узел конструкции, подобного тому, как меняются собственные частоты двухмассовой модели по сравнению с частотами, соответствующих ей одномассовых моделей. Степень близости парциальных и комбинационных частот (для тех же форм колебаний) свидетельствует о величине влияния на колебания выбранного элемента других элементов конструкции, причем если парциальные и комбинационные частоты совпадают, то это означает, что данный элемент конструкции вибрирует независимо от других.

Очень часто необходимо обеспечить такую независимость колебаний одних элементов от других и такая задача решается в технике введением элементов конструктивной «виброразвязки», которые обычно выполняются как элементы с малой жесткостью в направлении основного колебания и с большой жесткостью в сопряженных направлениях. В нашем случае виброразвязка также необходима, иначе между информационными каналами появятся перекрестные связи, что будет существенно снижать количество измеряемой информации.

В работе для проведения модального анализа использовались вычислительные возможности системы CosmosWorks, а для верификации получаемых данных – модуль модального анализа в вычислительной системе Ansys Workbench.

Рассмотрим, полученные расчетным путем в системе CosmosWorks, частоты и формы собственных колебаний одного из сенсоров, так как по конструкции и способу крепления на внешнюю трубу они совершенно идентичны. Результаты представлены в табл. 1, а в табл. 2 представлены уже комбинационные частоты и формы мерной части устройства.

Видно, что в рассматриваемом диапазоне реализуются те же частоты и формы колебаний, что были получены ранее для отдельного сенсора, т. е. для данной конфигурации устройства упругая связь между сенсорами через внешнюю трубу 1 (см. рис. 3) несущественна.

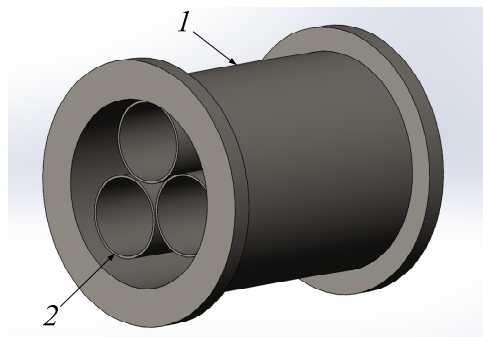


Рис. 3. Конструкция проточной части расходомера

Таблица 1

Частоты и формы собственных колебаний сенсора

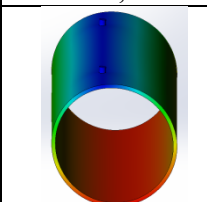
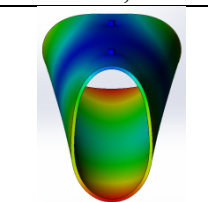
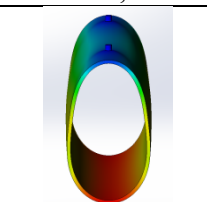
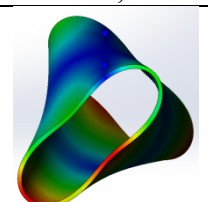
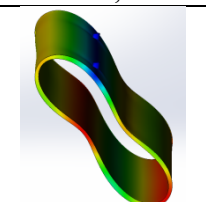
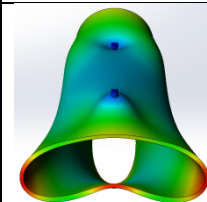
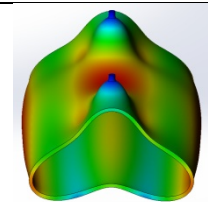
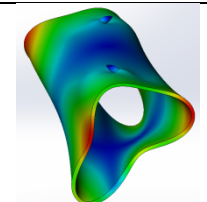
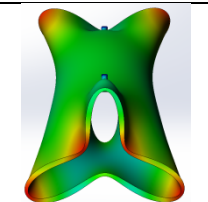
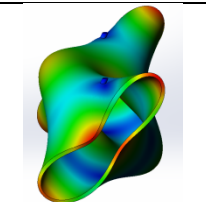
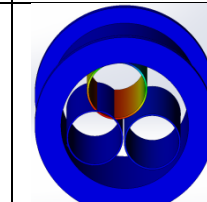
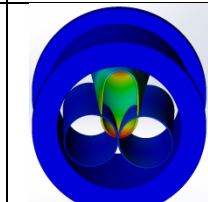
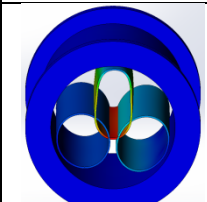
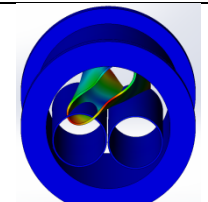
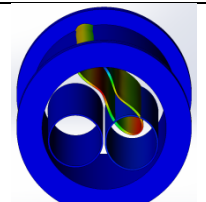
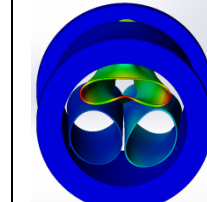
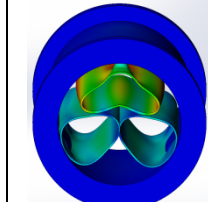
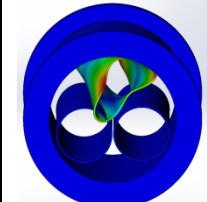
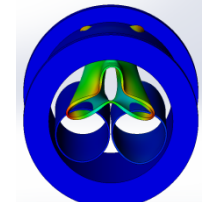
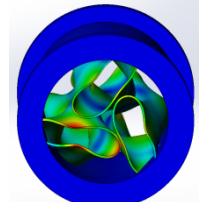
№	1	2	3	4	5
$F, \text{Гц}$	44,5	272,7	283,2	447,9	471,4
Форма колебаний					
№	6	7	8	9	10
$F, \text{Гц}$	819,9	866,4	1166,9	1232,5	1243,1
Форма колебаний					

Таблица 2

Комбинационные частоты и формы колебаний проточной части

№	1	2	3	4	5
$f, \text{Гц}$	43,8–44,4	273,7–273,9	283,9–284,1	450,1–450,5	472,9–473,3
Форма колебаний					
$\Delta f, \text{Гц}$	0,1	1,2	0,9	2,6	1,9
№	6	7	8	9	10
$f, \text{Гц}$	801,9–803,1	858,9–860,2	1115,5–120,3	1186,4–1189,1	1236,5–1238,9
Форма колебаний					
$\Delta f, \text{Гц}$	16,8	6,2	46,6	43,4	4,2

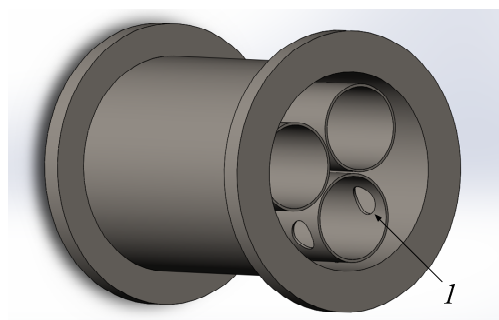


Рис. 4. Конструкция с отверстием в одном из сенсоров

Для наглядной оценки степени влияния сенсоров друг на друга проведем дополнительный численный эксперимент, в котором выполним в одном из них небольшое сквозное отверстие 1, как показано на рис. 4.

Очевидно, что, если виброразвязка между сенсорами реализована в достаточной мере, то изменение частоты должно наблюдаться только у сенсора, в котором выполнено это отверстие. Модальный анализ данной конструкции выявил результаты, представленные в табл. 3.

Таблица 3

Комбинационные частоты устройства с четвертой формой колебаний

№ сенсора	1	2	3
f_4 , Гц (с отверстием во 2 сенсоре)	448,91	439,95	449,12
f_4 , Гц (без отверстия)	448,91	444,15	449,12
Δf , Гц	0	4,2	0

Видим, что отверстие, выполненное во втором сенсоре, действительно не оказало никакого влияния на частоты собственных колебаний первого и третьего сенсоров, следовательно, можно считать, что условие виброразвязки в данной конструкции обеспечено.

При выборе рабочих комбинационных частот и форм колебаний необходимо ориентироваться на максимальную простоту формы, что обеспечивает простоту ее возбуждения и контроля в процессе изменения состава жидкости. Направление и площадь поверхности колебаний должно выбираться из условия согласования сенсора с жидкостью, а это значит, что площадь сенсора в направлении основного колебания должна иметь характерный размер, сравнимый с длиной волны в жидкости [3], что, по сути, отвечает условию согласования генераторных преобразователей [4]. Следуя этим соображениям, выбрана четвертая форма с одной узловой окружностью и с взаимно перпендикулярными направлениями движения фланцев, реализующая изгибные колебания сенсорной трубы в направлении перпендикулярном течению жидкости.

2. Модальный анализ конструкции при нагружении на жидкую среду

Нагрузка на вибрирующий сенсор и, в том числе, акустическая нагрузка от сжимаемой жидкости (наличие компоненты газа делает нагрузку сжимаемой), требует специального рассмотрения на основе совместного решения уравнений теории упругости и гидродинамики (упруго-гидродинамическая или УГД-задача). Существенным для модального анализа является то, что все объекты являются резонансными фильтрами, подавляющими воздействия нерезонансных частот. Это позволяет рассматривать реакцию внешней среды, аналогично подходу в методе гармонического баланса, в виде моногармонического воздействия с некоторыми эквивалентными плотностью, модулем упругости и коэффициентом демпфирования, которые непрерывным образом связаны с плотностью, объемным модулем упругости и вязкостью исходной статической среды.

Очевидно, что в общем случае акустическая нагрузка с такими свойствами может быть представлена импедансом, обладающим на каких-то частотах чисто инерционными (индуктивными) свойствами, на других частотах – упругими (емкостными) свойствами, а на частотах, совпадающих с его собственной частотой – свойствами чисто активного сопротивления. Поэтому, при нагружении резонансного сенсора на такую среду можно ожидать, что его парциальная частота попадает в диапазон частот акустической нагрузки, которая будет проявлять себя инерционно и тогда комбинационная частота нагруженной системы должна понижаться. С другой стороны, когда парциальная частота сенсора попадает в диапазон частот, где акустическая нагрузка проявляется как реакция упругого элемента, то комбинационная частота должна повышаться.

Для сенсора, нагруженного на «бесконечное» или «полубесконечное» жидкое пространство, на низких частотах жидкая среда должна проявлять себя как вязко-инерционный элемент, приводящий к уменьшению частоты и амплитуды резонансного сенсора. В случае, если объем жидкости заключен в некоторое замкнутое пространство, вступают в силу конфигурационные факторы и тогда собственные частоты рассматриваемого объема жидкости будут определять не только упруго-инерционные свойства жидкости, но и форма, размеры и другие конфигурационные параметры.

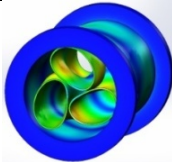
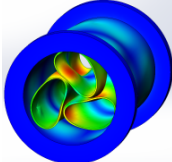
Из вышеизложенного следует, что моделирование колебательного движения объема жидкости в окрестности резонансных частот сенсора можно проводить так же, как и для любой другой акустической нагрузки, задавая плотность и объемный модуль упругости при учете всех конфигурационных параметров области течения. Влияние эквивалентного демпфирования нагрузки нужно учитывать только в малой окрестности частоты собственных колебаний этой акустической нагрузки, при этом достичь близости собственных частот сенсора и нагрузки практически невозможно и значит задавать этот параметр не надо. По сути, с учетом сделанных замечаний,

УГД-задача может быть решена относительно комбинационных частот устройства, как задача модального анализа.

Важной задачей модального УГД-анализа является выбор комбинационной частоты и формы колебаний, реализуемой для всех измеряемых акустических сред (нефть, газ, вода). Жидкость, являясь нагрузкой на мерную часть устройства, имеет распределенную массу, и предсказать заранее, как это распределение будет влиять на реализацию тех или иных форм колебаний без проведения предварительных расчетов, практически невозможно. Поэтому полагаем, что внутреннее пространство проточной части заполнено водой, нефтью, газом или их комбинациями в виде эмульсий, при этом предварительно принимаем, что вода имеет плотность $\rho_v = 1000 \text{ кг/см}^3$ и модуль объемной упругости $E_v = 2,20 \cdot 10^9 \text{ Па}$, а нефть плотность $\rho_n = 750 \text{ кг/см}^3$, модуль объемной упругости $E_n = 1,33 \cdot 10^9 \text{ Па}$ [7]. Расчеты показали, что из всех форм колебаний наиболее «живучей» оказалась выбранная ранее четвертая форма с исходной частотой $f_4 = 447,9 \text{ Гц}$, результаты моделирования для которой представлены в табл. 4.

Таблица 4

Четвертая комбинационная форма колебаний проточной части

Среда	Форма колебания	Частота, Гц
Вода		3875,3
Нефть		3600,8

Видим, что частота, на которой реализуется данная форма, существенно увеличилась, что свидетельствует о преобладании упругой составляющей в комплексном импедансе жидкостной нагрузки.

3. Чувствительность по частоте

Будем рассматривать водонефтегазовую эмульсию, заполняющую мерную часть устройства. Физические свойства такой жидкости можно определить по ее компонентному составу (1), (2):

$$\rho_{см} = k_v \rho_v + k_n \rho_n; \tag{1}$$

$$E_{см} = k_v E_v + k_n E_n; \tag{2}$$

$$k_v + k_g + k_n = 1, \tag{3}$$

где $\rho_{см}$, $E_{см}$ – плотность и объемный модуль упругости смеси; k_v , ρ_v – относительное объемное содержание и плотность воды; k_n , ρ_n – относительное содержание и плотность нефти; E_v , E_n – объемный модуль упругости воды и нефти; k_g – относительное содержание газа. Плотностью и модулем упругости газа по сравнению с аналогичными параметрами жидкости здесь можно пренебречь, однако определенный объем газ будет занимать, и это здесь учтено в уравнении связи (3). Предполагается, что процесс измерений происходит при постоянном давлении и тогда сжимаемость газа не играет роли, так как параметр газосодержания уже содержит в себе информацию о давлении и объеме этой среды.

Зависимость комбинационной частоты (четвертой) от параметров объемного содержания является, по сути, функцией преобразования устройства, т. е. его основной метрологической характеристикой. Поэтому было проведено исследование, в процессе которого изменяли два независимых параметра – водосодержание k_v и газосодержание k_g , при этом параметр нефтесодержания находится из уравнения связи. Результаты представлены на рис. 5.

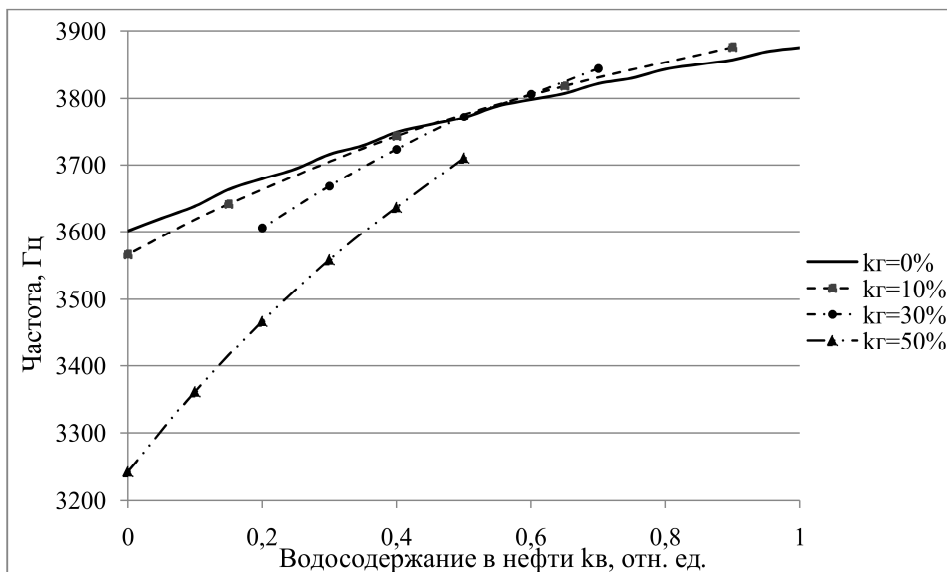


Рис. 5. Зависимость измеряемой частоты от водосодержания k_v (сплошная линия) при различных уровнях газосодержания k_g (штриховые линии)

Изменение концентрации воды в смеси без газа на 5 % приводит к изменению измеряемой частоты минимум на 6 Гц. Дополнительно произведены вычисления в начале, в середине и в конце диапазона измерения для случая изменения водосодержания k_v на 1 % (табл. 5).

Таблица 5

Приращение частоты при изменении водосодержания k_v на 1 % для $k_g = 0$

Относительное объемное содержание		$\rho_{\text{смеси}}, \text{ кг/м}^3$	$E_{\text{смеси}}, \text{ Па}$	$f, \text{ Гц}$	$\Delta f, \text{ Гц}$
Нефть	Вода				
0,01	0,99	997,5	2,19E+09	3873,1	2,2
0,99	0,01	752,5	1,33E+09	3597,6	3,2
0,51	0,49	872,5	1,75E+09	3767,8	3,5

Видим, что изменение концентрации воды k_v в смеси на 1 % приводит к изменению измеряемой частоты минимум на 2 Гц. Штриховыми линиями на рис. 5 отображены зависимости частоты исследуемой формы колебаний от водосодержания k_v при различном уровне газосодержания k_g (10; 30 и 50 %). Полученные результаты показывают, что при увеличении процентной доли газа в трубопроводе, увеличивается угол наклона кривой и, следовательно, и чувствительность преобразователя.

Теория информации дает нам три возможных метода измерения информации [4]: «частотный» с возможностью получения до 8 бит информации; «временной» с количеством информации до 6 бит и «амплитудный» – 4 бит информации с дольными единицами для различных физических величин.

Очевидно, что наиболее информативным и помехозащищенным методом измерений является частотный, но для его реализации необходимо, чтобы единицей информации являлся полноценный период колебаний или, по-другому, необходимо, чтобы единицей измерения была величина один герц без дольных делений, так как в противном случае частотный метод превращается во временной. Представленные на рис. 5 данные позволяют заключить, что с чувствительностью не менее чем 1 Гц на 1 % водосодержания в данной конструкции можно реализовать частотный метод измерений.

4. Влияние расчетной длины трубопровода

При нагружении на жидкую среду, вибрации через эту среду могут передаваться с одного сенсора на другой. Однако это легко устранить конструктивными мерами. Тогда остается последний неучтенный ранее параметр – это глубина столба жидкости, сопряженная с мерной частью устройства.

Было проанализировано влияние длины трубопровода L и объема рассматриваемой жидкости на выбранные нами комбинационные частоты (рис. 6).

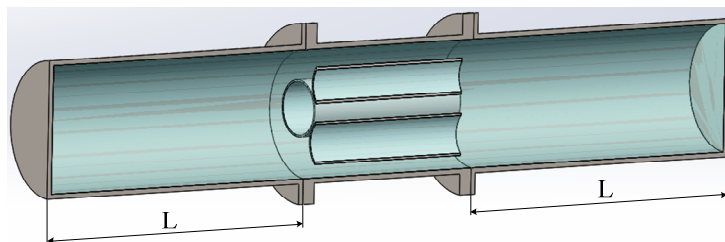


Рис. 6. Мерная часть устройства с прилегающим трубопроводом

Результаты исследования представлены на рис. 7.

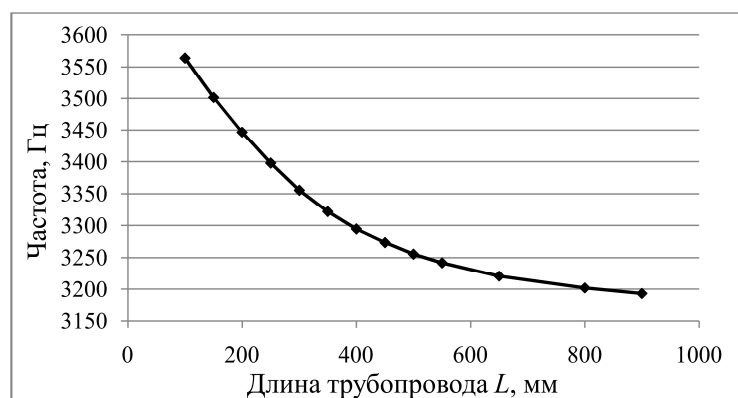


Рис. 7. Влияние длины трубопровода (объема жидкости в нем) на частоту колебаний сенсора

Видно, что в расчетах обязательно необходимо учитывать прилегающий объем жидкости с длиной не менее одного метра.

5. Исследование на сходимость

Известно, что сходимость численной задачи к модельной обеспечивается при наличии устойчивости и необходимого уровня аппроксимации численной схемы [6]. Устойчивость поставленной задачи в выбранном диапазоне параметров обеспечивалась практически всегда, а аппроксимацию задачи нам пришлось обеспечивать, проведя соответствующее исследование, результаты которого представлены на рис. 8.

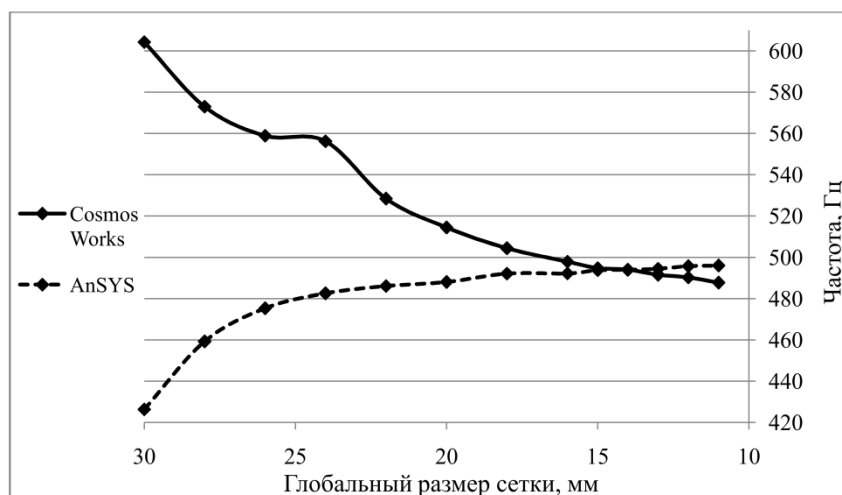


Рис. 8. Значение частоты в зависимости характерного размера конечных элементов

Видим, что сходимость появляется при характерном размере конечных элементов 10–12 мм, при этом грубый размер дает завышенные значения частоты. Интересно, что аналогичное исследование в AnSYS показало на грубой сетке заниженные значения частот, но при измельчении конечных элементов результат стремился к тем же значениям частоты, что и в системе CosmosWorks.

Выводы

По результатам модального анализа конструкции, выбрана наиболее оптимальная форма колебаний сенсоров, реализуемая при их нагружении разными акустическими средами – водой, нефтью и газом. Сформулированы критерии выбора оптимальной для данной задачи формы колебаний сенсора. Исследования чувствительности по частоте показали, что предложенная конструкция обеспечивает чувствительность не менее чем 1 Гц на 1 % водосодержания, что позволяет использовать частотный метод измерения.

Данная конструкция уже сейчас может быть использована для практической реализации многокомпонентного расходомера на основе данных о комбинационных частотах с выбранной здесь формой колебаний сенсоров.

Литература

1. Гужов, А.Н. Совместный сбор и транспорт нефти и газа / А.Н. Гужов. – М.: Недра, 1973. – 280 с.
2. Multi Phase Meters – FMC Technologies. – <http://www.fmctechnologies.com/en/Multiphase-meters/Products.aspx>.
3. Кикучи, Е. Ультразвуковые преобразователи / Е. Кикучи; пер. с англ. И.П. Голямина. – М.: Мир, 1972. – 425 с.
4. Новицкий, П.В. Электрические измерения неэлектрических величин / П.В. Новицкий. – 5-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Энергия, 1975. – 576 с.
5. Войткова, Т.Г. Основы гидравлики: учеб. пособие / Т.Г. Войткова. – Иркутск: ИрГТУ, 2007. – 68 с.
6. Самарский, А.А. Численные методы: учеб. пособие для вузов / А.А. Самарский, А.В. Гулин. – М.: Наука, 1989. – 432 с.

Некрасов Сергей Геннадьевич, д-р техн. наук, профессор кафедры информационно-измерительной техники, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; nsg@susu.ac.ru.

Хажиев Рамиль Адгамович, аспирант кафедры информационно-измерительной техники, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; ramil_khazhiev@mail.ru.

Поступила в редакцию 13 марта 2015 г.

DOI: 10.14529/ctcr150312

IDENTIFICATION OF THE LIQUID COMPOSITION IN A FLOW CHAMBER BY THE RESONANCE MEASUREMENT

S.G. Nekrasov, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, nsg@susu.ac.ru,
R.A. Khazhiev, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, ramil_khazhiev@mail.ru

This article describes a vibroacoustic device for measuring the composition of the multicomponent liquid. The device operation is based on the property of resonance type construction such as changing the vibration parameters when changing the external acoustic load. Construction which

allows to detail the parameters of the flowing liquid over the cross section of the measuring part of the device and the measuring technique which is based on tracking the amplitude-frequency response of the pre-selected mode shapes, which has showed persistence in different environments or their combinations are unique. The modal analysis is carried out and optimality criteria of mode shape of a sensor for this task are formulated. Researches of sensitivity of the design frequency are carried out.

Keywords: flow measurement, multicomponent liquid, identification of the liquid composition, resonance measurement.

References

1. Guzhov A.N. *Sovmestnyy sbor i transport nefti i gaza* [Joint Collection and Transport of Oil and Gas]. Moscow, Nedra Publ., 1973. 280 p.
2. *Multi Phase Meters – FMC Technologies*. Available at: <http://www.fmctechnologies.com/en/Multiphase-meters/Products.aspx> (accessed April 2013).
3. Kikuchi E. *Ul'trazvukovye preobrazovateli* [Ultrasonic Transducers]. Moscow, World Publ., 1972. 425 p.
4. Novitskiy P.V. *Elektricheskie izmereniya neelektricheskikh velichin* [Electrical Measurement of Non-electrical Values]. St. Petersburg, Energy Publ., 1975. 576 p.
5. Voytkova T.G. *Osnovy gidravliki* [Fundamentals of Hydrodynamics]. Irkutsk, ISTU Publ., 2007. 68 p.
6. Samarskiy A.A. *Chislennyye metody* [Numerical Methods]. Moscow, Science Publ., 1989. 432 p.

Received 13 March 2015

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Некрасов, С.Г. Идентификация состава жидких сред в проточной камере на основе резонансных измерений / С.Г. Некрасов, Р.А. Хажиев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2015. – Т. 15, № 3. – С. 95–104. DOI: 10.14529/ctcr150312

FOR CITATION

Nekrasov S.G., Khazhiev R.A. Identification of the Liquid Composition in a Flow Chamber by the Resonance Measurement. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2015, vol. 15, no. 3, pp. 95–104. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr150312