

УДК 681.128.8

С.И. ЮСИФОВ

Азербайджанский Государственный Университет Нефти и Промышленности, Азербайджан
 ДЖ.Ф. МАМЕДОВ, Т.К. ГУСЕЙНОВ, Б.К. АМИРАСЛАНОВ
 Сумгаитский Государственный Университет, Азербайджан

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ НА ЧАСТОТУ КОЛЕБАНИЙ ТРУБЧАТОГО РЕЗОНАТОРА ВИБРАЦИОННО-ЧАСТОТНОГО ПЛОТНОМЕРА ЖИДКОСТИ

Статья посвящена анализу влияния скорости течения жидкости на выходной сигнал вибрационно-частотного плотнмера жидкости – частоту автоколебаний трубчатого резонатора, близкой к собственной. С этой целью составляется и решается дифференциальное уравнение, описывающее собственные поперечные колебания трубки, по которой организован поток жидкости. Из полученного соотношения, связывающего частоту собственных колебаний трубки с его геометрическими размерами и механическими параметрами, плотностью и скоростью течения жидкости следует, что с увеличением последней частота колебаний резонатор уменьшается.

В статье приводится условие, выполнение которого позволяет синтезировать на практике конструкции вибрационно-частотных датчиков плотности, показания которых мало зависят от изменения скорости течения измеряемой жидкости. Рассматривается одна из таких синтезированных конструкций плотнмера, с использованием двухрезонаторного датчика.

Ключевые слова: плотность, резонатор, вибрационный плотномер, вибрационно-частотный, вибрационной, чувствительный элемент, измерение.

S.I. YUSIFOV

Azerbaijan State Oil and Industry University, Azerbaijan
 J.F. MAMMADOV, T.K. HUSEYNOV, B.K. AMIRASLANOV
 Sumgait State University, Azerbaijan

RESEARCH OF INFLUENCE SPEED LIQUID MEASURING TO FREQUENCY OF TUBE RESONATOR'S VIBRATIONS OF THE VIBROTIONAL-FREQUENCY DENSITOMETER

Abstract. Analyze of speed influence of water flow to external signal of vibration-frequency measure of water – frequency of auto resonance of the tube resonator like its own resonance is considered in the paper. In this connection, a differential equation distributed its own frontal resonance of a tube, where water flow is conducted, is made and solved. Of the received relation connected frequency of its own resonances of a tube with its geometrical sizes and mechanical parameters, density and speed of water living can do reduce that by racing the end of one, frequency of the resonator resonance is lower.

In the paper, a condition is given, where execution is allowed to do synthesis practically term of the vibration-frequently sensors of density where theirs values are little depend on changing speed of measure water flow. One of the syntheses constructions of the density equipment with use two-resonator sensor is considered.

Keywords: density, resonator, vibrationaldensitometer, vibrational-frequency, vibrational, sensitive element, measure.

Введение

В ИИС учета жидких сред, реализующих объемно-массовый динамический метод измерений, для измерения плотности жидких сред на потоке могут быть использованы плотномеры как с аналоговыми, так и частотными датчиками. К плотномерам первой группы относятся весовые [1], поплавковые [2], гидростатические [3], ультразвуковые [4] и радиоизотопные [5]. К плотномерам с частотными датчиками относятся вибрационно-частотные [6]. Не подходя критически к этим плотномерам, отметим наибольшее распространение вибрационно-частотных измерителей плотности.

Достоинством вибрационно-частотных плотномеров, как и всех приборов с частотными датчиками, является частотная форма выходного сигнала, что обеспечивает высокую точность его преобразования в код. Основной недостаток вибрационно-частотных плотномеров - зависимость частоты собственных колебаний, используемых трубчатых механических резонаторов не только от плотности протекающей жидкости, но и других ее параметров: давления, температуры, вязкости и скорости потока [7]. Поэтому главной проблемой повышения точности измерений является исключение зависимости показаний вибрационно-частотных плотномеров от изменения неинформативных параметров контролируемой жидкости.

Настоящая работа посвящена решению одной из этих проблем, а именно исследованию влияния скорости течения измеряемой жидкости, на частоту собственных колебаний резонатора, а, следовательно, и показаний вибрационно-частотного плотнмера.

Общая характеристика проблематики статьи

Принцип действия простейшего вибрационно-частотного плотнмера поясним на схеме рис.1. Чувствительным элементом плотнмера служит механический резонатор в виде однородной трубки 1, по

которой организован поток жидкости. Трубка 1, закрепленная одним или обоими концами в неподвижном основании 2 совершает незатухающее изгибное колебание на первой моде, т.е. находится в режиме автоколебаний. Данный процесс обеспечивается системой возбуждения, состоящей из приемника колебаний 3, возбудителя 4 и усилителя 5. Таким образом, вся система представляет собой автогенератор, активным элементом которой является усилитель, а положительная обратная связь обеспечивается резонатором с приемником и возбудителем колебаний. Выходным сигналом преобразователя является частота автоколебаний, которая определяется массой трубки и жидкости в ней и регистрируется частотомером 6. Изменение плотности жидкости приводит к изменению ее массы в трубке, а, следовательно, и частоты автоколебаний. Таким образом, контролируя частоту автоколебаний резонатора можно судить о плотности находящейся в ней жидкости.

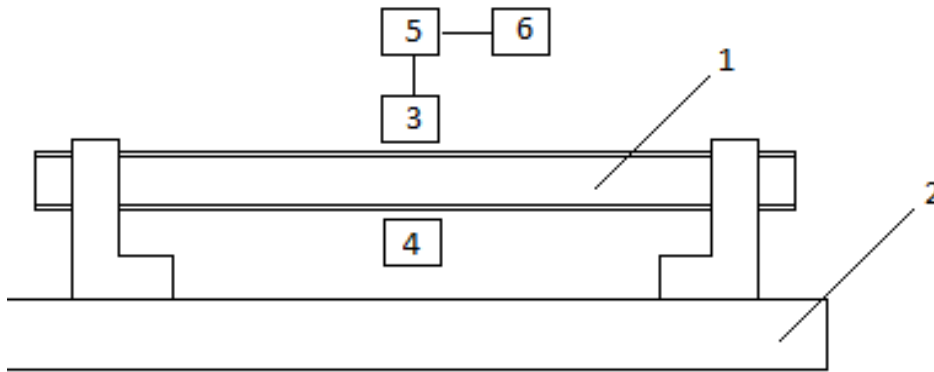


Рис.1. Схема вибрационно-частотного плотномера жидкости

В реальных условиях эксплуатации частота колебаний резонатора зависит не только от информативного параметра – плотности, но и от действия дестабилизирующих факторов, а именно температуры, давления, скорости потока, загрязняющих и пленкообразующих веществ измеряемой среды. Исследования влияния температуры, давления, загрязняющих и пленкообразующих веществ хорошо изучены соответственно в работах [8], [9] и [10]. Вопрос исследования влияния скорости потока жидкости на частоту собственных колебаний резонатора остается малоизученным.

Теоретические основы подхода, используемого для решения задачи

При отсутствии скорости, т.е. при покоящейся жидкости, движение трубки с полностью заполненной жидкостью описывается следующим дифференциальным уравнением [11]:

$$EJ \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0,$$

где E – модуль упругости материала трубки; J – момент инерции поперечного сечения трубки; $m = m_{жс} + m_T$ – масса единицы длины жидкости $m_{жс}$ и трубки m_T ; y – отклонение оси резонатора, являющаяся функцией времени t и положения точки на резонаторе, определяемой координатой x . Неплохо было бы указать и размерности для переменных.

Влияние скорости течения v измеряемой жидкости на собственную частоту колебаний осуществляется за счет появления силы Кориолиуса

$$F_k = 2m_{жс} v \frac{\partial^2 y}{\partial t \partial x}$$

и силы инерции

$$F_u = m_{жс} v^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$$

При этом для трубчатых резонаторов с жестко зашпеленными концами сила Кориолиуса намного меньше силы инерции и поэтому ею можно пренебречь [12].

В этом случае дифференциальное уравнение собственных поперечных колебаний трубки с учетом вышесказанного будет иметь следующий вид:

$$EJ \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + m_{жс} v^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = 0, \quad (1)$$

Этому уравнению и граничным условиям жесткого зашпеленения концов удовлетворяет функция [13]

$$y = \left(1 - \cos \frac{2\pi x}{l} \right) \cos \omega t, \quad (2)$$

Подставляя (2) в (1), получим:

$$- EJ \left(\frac{2\pi}{l} \right)^4 \cos \frac{2\pi x}{l} \cos pt - mp^2 \left(1 - \cos \frac{2\pi x}{l} \right) \cos pt + m_{ж} v^2 \left(\frac{2\pi}{l} \right)^2 \cos \frac{2\pi x}{l} \cos pt = 0 \quad (3)$$

Отсюда, для 1-й моды колебаний собственная частота резонатора может быть определена из следующего выражения

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{2\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{EJ}{m}} \sqrt{1 - \frac{m_{ж} v^2 l^2}{4\pi^2 EJ}} \quad (4)$$

Из соотношения (4) следует, что с увеличением скорости течения жидкости частота колебаний резонатор уменьшается. Следует отметить, что выражение (4) справедливо только для случая ламинарного течения жидкости.

Практическая реализация предлагаемых подходов

Используя полученные результаты на практике можно определять рациональную скорость течения жидкости при расчете трубчатых резонаторов для вибрационно-частотных плотномеров, а также осуществлять поиск методов снижения влияния действия скорости течения жидкости на частоту колебаний резонатора вибрационных датчиков.

Данному вопросу существующей литературе [14] уделено мало влияния. Можно отметить лишь одну работу, в которой удачно решена данная проблема. Однако в ней предполагается крепление концов резонатора типа заделка-шарнир, который не подходит для нашего случая.

Скомпенсировать действия скорости среды на показания вибрационного датчика можно с помощью двухрезонаторного преобразователя – если подобрать такие параметры каждого из резонаторов, при которых становятся равными выражения, являющиеся четвертыми сомножителями в формуле (4) и которые при делении частотных сигналов взаимно сокращаются.

Для полной компенсации погрешности от действия скорости среды необходимо обеспечить выполнение равенства

$$\frac{l^2}{Ed^4(n^4 - 1)} = \frac{(l')^2}{E'(d')^4((n')^4 - 1)} \quad (5)$$

в котором параметры без штрихов относятся к основному, а со штрихами – к вспомогательному резонатору. $n_i = \frac{D_i}{d}$ - относительная толщина стенки резонатора.

Наиболее рациональным является размещение в этом случае второго резонатора параллельно первому. В этом случае в (5) l должно быть равно l' . Схема двухрезонаторного датчика плотности показана на рис. 2.

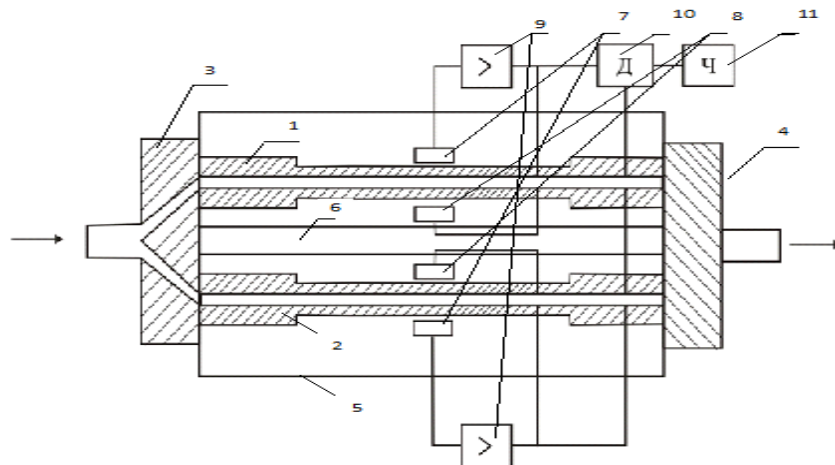


Рис. 2. Схема двухрезонаторного датчика плотности с компенсацией влияния скорости течения измеряемой жидкости

Датчик состоит из двух резонаторов 1 и 2, выполненных в виде трубок, параметры которых выбраны из условия выполнения равенства (5). Концы резонаторов 1 и 2 жестко закреплены к основаниям 3 и 4, которые закреплены на концах корпуса 5. Основания 3 и 4 также соединяются между собой упором 6. Каждый из резонаторов 1 и 2 снабжается индивидуальной системой возбуждения, образованной из электромагнитных приемника 7 и возбудителя 8 колебаний, электронных усилителей 9. Сигналы с усилителей поступают на входы делителя частоты 10. Выходной сигнал с усилителя частоты 10 поступает на вход частотомера 11. Введение в конструкцию упора 6 позволяет устранить возможные изгибные

колебания оснований 3 и 4 из-за их конечной жесткости. Результирующий сигнал, регистрируемый частотомером 11, не зависит от изменения скорости измеряемой жидкости.

На практике, используя условие (5) можно синтезировать и другие конструкции вибрационно-частотных датчиков плотности, показания которых мало зависят от изменения скорости течения измеряемой жидкости, например, различной длины резонаторов при одинаковых их прочих параметрах, резонаторов, выполненных из материалов с различными модулями упругости и пр.

Литература

1. Кузнецов В.А. Тестовый метод повышения точности измерения плотности проточным плотномером // Вестн. Самар. Гос. Техн. Ун-та. Сер. Технические науки. 2014. № 1 (41), С.50-54
2. <http://www.clo.ru/Catalog/Pribor/OprSostav/pag-303.htm>
3. Козлов А.П. Бортовой плотномер авиационного топлива // Электроніка та системи управління. 2012. №2(32), с. 101-106
4. Шаверин Н.В. Ультразвуковой измерительный преобразователь для магистрального плотномера нефтепродуктов // Контроль. Диагностика. 2003. - №2. - С. 56-64.
5. Ермакович О.Л., Лисовский Г.А., Кучинский П.В., Титовицкий И.А. Повышение точности измерений радиоизотопного плотномера. Приборы и методы измерений, № 1 (10), 2015. - С.70-75
6. Гусейнов Т.К., Алиев Х.М. Вибрационно-частотные плотномеры жидкости / Баку: АзНИИТИ, 1991 г, 28 с
7. Тараненко Ю. К. Погрешности измерения вибрационных плотномеров жидкости //Метрологія. - 1983. - № 1. -С. 40-46.
8. Тараненко Ю.К. Методика расчета вибрационных плотномеров с цилиндрическими резонаторами, обеспечивающая инвариантность к колебаниям температуры и давления контролируемой среды // Контроль. Диагностика. 2008, № 11, с. 21-27
9. Гусейнов Т.К. Исследование влияния давления жидкости на частоту колебаний резонатора вибрационного плотномера // Известия ВУЗов. Приборостроение. 1998. - №9. - С. 45-46.
10. Кондратьев Н.А., Левенцов А.Н. Оценка дополнительной погрешности вибрационно-частотного метода измерения плотности нефти // Автоматизация и телемеханизация нефтяной промышленности. - 1983. - в.11.- С.
11. Миронов М.А., Пятаков П.А., Андреев А.А. Вынужденные изгибные колебания трубы с потоком жидкости // Акустический журнал, 2010, т.56, №5, с.684-692
12. Медведев А.П., Лебедев В. Г. Об определении расхода жидкости по фазе вынужденных колебаний // Вестник удмуртского университета. - 2006. № 4, с. 59-64
13. Бабаков И.М. Теория колебаний. – Изд-во: Дрофа. - 2004 г. - 592 с.
14. А.С. 1096533 СССР Вибрационный плотномер / Ю.П.Жуков, М.В.Кулаков // Открытия. Изобретения, 1974 г, № 21.

References

1. Kuznetsov V.A. Testoviy metod povsheniya tochnosti izmereniya plotnosti protochnim plotnomerom// Vestnik Samarskoqo Gosudarstvennoqo Texnicheskogo Universiteta. Seriya Texnicheskiye nauki. 2014. № 1 (41), s.50-54
2. <http://www.clo.ru/Catalog/Pribor/OprSostav/pag-303.htm>
3. Kozlov A.P. Bortovoy plotnomer aviatsionnogo topliva // Elektronika i sistemi upravleniya. 2012. №2(32), c. 101-106
4. Shaverin N.V. Ultrazvukovoy izmeritelnyy preobrazovatel dlya magistralnogo plotnomera nefteproduktov // Kontrol. Diagnostika. 2003. - №2. - s. 56-64.
5. Yermakovich O.L., Lisovskiy G.A., Kuchinskiy P.V., Titovitskiy I.A. Povsheniye tochnosti izmereniy radioizotopnogo plotnomera. Pribori i metodi izmereniy, № 1 (10), 2015. - s.70-75
6. Guseynov T.K., Aliyev X.M. Vibratsionno-chastotniye plotnomeri jidkosti / Baku: AzNIITI, 1991 g, 28 s.
7. Taranenko Y. K. Pogreshnosti izmereniya vibratsionnix plotnomerov lidkosti // Metrologiya. 1983, № 1, s. 40-46
8. Taranenko Y. K. Metodika raschyota vibratsionnix plotnomerov s tsilindricheskimi pezonatorami, obespechivayushaya invariantnost k kolebaniyam temperaturi i davleniya kontroliruyemoy sredi// Kontrol. Diagnostika. 2008, № 11, s. 21-27
9. Guseynov T.K. Issledovaniye vliyaniya davleniya jidkosti na chastotu kolebaniy rezonatora vibratsionnogo plotnomera // Izvestiya VUZov. Priborostroyeniye. 1998. - №9. - s. 45-46.
10. Kondratyev N.A., Leventsov A.N. Левенцов А.Н. Otsenka dopolnitelnoy poqreshnosti vibratsionno-chastotnogo metoda izmereniya plotnosti nefi // Avtomatizatsiya i telemexanizatsiya nefyanoy promishlennosti. - 1983. - v.11.
11. Mironov M.A., Pyatakov P.A., Andreyev A.A. Vinujdenniye izgibniye kolebaniya trubi kolebaniya s potokom jidkosti // Akusticheskiy jurnal, 2010, t.56, №5, c.684-692
12. Medvedyev A.P., Lebedev V.G. Ob opredelenii rasxoda jidkosti po faze vinujdennix kolebaniy // Vestnik udmurtskogo universiteta. - 2006. - № 4. - s. 59-64
13. Babakov I.M. Teoriya kolebaniy. – Izdatelstvo: Drofa. - 2004 g. - 592 s.
14. A.S. 1096533 SSSR Vibratsionniy plotnomer / Y.P.Jukov, M.V.Kulakov // Otkritiya. Izobreteniya, 1974 g, № 21.

Рецензія/Peer review : 16.1.2017 р. Надрукована/Printed :7.3.2017 р.
Стаття рецензована редакційною колегією