

490 МПа, то произойдет разрушение стенки трубопровода. Данный сценарий событий повлечет как экологический ущерб для окружающей среды, так и экономический – для эксплуатирующей организации.

Для того, чтобы избежать данных последствий разрыва стенки трубопровода, предлагается понизить рабочее давление в нефтегазосборном трубопроводе до 2,5 МПа до момента проведения работ по его ремонту. Результаты напряженно-деформированного состояния трубопровода с ручейковой коррозией по нижней образующей с внутренним давлением 2,5 МПа представлены на рисунке 5.

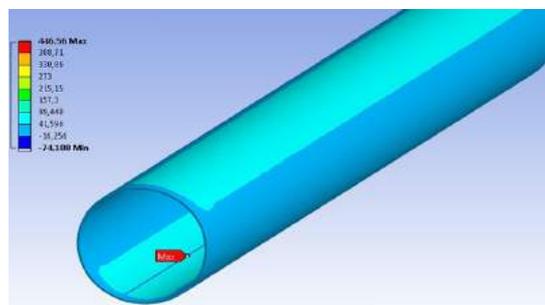


Рис.5. Напряжения в трубопроводе с ручейковой коррозией при внутреннем давлении 2,5 МПа

По результатам расчета напряженно-деформированного состояния трубопровода с ручейковой коррозией по нижней образующей с внутренним давлением 2,5 МПа следует, что испытываемые напряжения в зоне ручейковой коррозии уменьшились до 450 МПа. Поэтому понижение рабочего внутреннего давления с 4,0 МПа до 2,5 МПа позволит обеспечить безаварийную работу нефтегазосборного трубопровода до проведения работ по его ремонту.

Литература

1. Басарыгин Ю.М., Будников В.Ф., Булатов А.И. Теория и практика предупреждения осложнений и ремонта скважин при их строительстве и эксплуатации. В шести томах. Том 6. – М.: Недра-Бизнесцентр, 2004. –399 с.
2. ГОСТ Р 55990-2014. Месторождения нефтяные и газонефтяные. Промысловые трубопроводы. Нормы проектирования.
3. СП 34-116-97 Инструкция по проектированию, строительству и реконструкции промышленных нефтегазопроводов.
4. Добыча нефтяного сырья. Основные показатели [Электронный ресурс]: Официальный сайт Министерства энергетики Российской Федерации. URL <http://minenergo.gov.ru/> (дата обращения: 18.12.2016).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ РЕЗОНАНСНОЙ ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ПОТОЧНОГО ВИБРАЦИОННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПЛОТНОСТИ ОТ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ИССЛЕДУЕМОЙ ЖИДКОСТИ

В. В. Филюшин, А. О. Мартынюк

Научный руководитель доцент А. В. Рудаченко

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Исследование посвящено определению зависимости изменения частоты колебаний резонатора от изменения температуры жидкости в нем протекаемой. Резонаторы цилиндрической формы являются чувствительными элементами таких средств измерений, как преобразователи плотности. Различные параметры, в том числе и температура, способны вносить погрешности в точность измерения. В данной статье представлены экспериментальные данные, подтверждающие наличие влияния изменения температуры на значение собственной частоты колебаний чувствительного элемента. Избавится от погрешности или, как минимум, сократить их влияние на точность позволит определение данной зависимости.

Основным элементом поточных преобразователей плотности является их чувствительная система, состоящая из резонатора (цилиндрической трубки), прикрепленного к жесткому корпусу посредством сильфонов. Последние предотвращают передачи колебательной энергии от резонатора на корпус [2, 3, 5]. Резонатор изготовлен из специальной прецизионной упругой и антикоррозионной стали 36НХТЮ. Конструктивные параметры чувствительной системы плотномера представлены в таблице 1 [4].

Таблица 1

Конструктивные параметры чувствительной системы

Форма поперечного сечения	Длина трубки, мм	Диаметр внешний, мм	Толщина стенки, мм	Материал	Сильфоны
Окружность	700	25	1	Сталь прецизионная 36НХТЮ	38-4-0,21x3 ГОСТ Р 55019-2012

Значение резонанса частоты колебаний, при учете всех влияющих на ее измерение параметров, можно определить по формуле [1, 4]:

$$f = \frac{f_0}{\sqrt{1+a_0\rho}} \times \sqrt{1 - 2,458 \times 10^{-2} \frac{l^2}{EI} (m\nu^2 - N)};$$

где: $f_0 = \frac{3,561}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{m_0}}$ – начальная частота;

$a_0 = \frac{s}{\rho_0 s_0}$ – постоянная резонатора;

s_0 и s – площади поперечного сечения резонатора и жидкости;

ρ_0 и ρ – плотности материала резонатора и жидкости;

E – модуль упругости материала трубки.

Таким образом, значение резонансной частоты зависит от большого количества факторов, кроме температуры свои погрешности вносят давление и конструктивные параметры резонатора [1, 2]. Нашей задачей было определение влияние именно температуры. Поэтому, давление в системе поддерживалось постоянным, без изменений. Колебательная система изображена на рисунке 1.

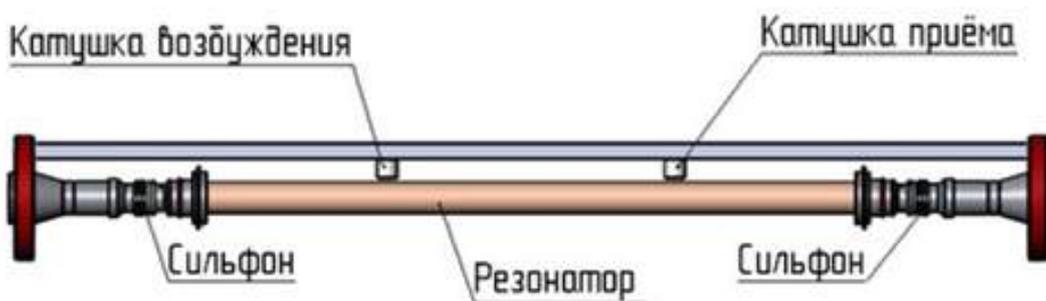


Рис. 1. Конструкция колебательной системы поточного преобразователя плотности

Температурная погрешность появляется в случаях, когда температура исследуемой среды не постоянна. Этот факт может привести к существенным погрешностям. Поэтому коррекция показания оборудования по температуре обязательна для качественного точного измерения плотности жидкости.

Изменение температуры измеряемой среды, как уже отмечалось, приводит к появлению погрешности измерений, что обусловлено температурным изменением физических свойств и размеров резонатора. Будем считать, что данные изменения соответствуют ряду соотношений [1]:

$$\begin{cases} E = E(t_0)[1 - a_E(t - t_0)]; \\ l = l(t_0)[1 + a_l(t - t_0)]; \\ \rho_0 = \frac{\rho(t_0)}{[1 + a_l(t - t_0)]}; \\ \rho = \frac{\rho(t_0)}{[1 + a_v(t - t_0)]}; \end{cases}$$

где: $E(t_0)$ – модуль упругости материала при начальной температуре (обычно $t_0=20^\circ\text{C}$);

$l(t_0)$ – линейный размер резонатора при начальной температуре;

$\rho_0(t_0)$ – плотность материала при начальной температуре;

$\rho(t_0)$ – плотность контролируемой среды при начальной температуре;

a_E – коэффициент термоупругости материала резонатора;

a_l – коэффициент линейно расширения материала резонатора;

a_v – коэффициент объемного расширения жидкости.

Теоретическое определение зависимости довольно тяжелое и громоздкое, которое крайне тяжело реализовать. Следовательно, было решено определить зависимость эмпирическим путем, в результате проведения практических исследований на изготовленном прототипе.

Опыт заключался в пропуске жидкости через прототип плотномера и холодильную систему с последующей регистрацией результатов измерения колебаний. Путем постепенного снижения температуры циркулируемой жидкости добились разницу в температуре более 10°

Изменения значений частоты

Температура, оС	Частота, Гц
24,35	669,5959
23,74	669,5999
22,51	669,6002
21,72	669,6019
20,55	669,6013
19,53	669,5988
18,46	669,5871
17,41	669,498
16,29	669,3007
15,24	668,8962
14,45	668,5809
13,82	668,224
13,22	667,8205
12,68	667,4905

По таблице видно, что увеличение температуры жидкости влечет за собой увеличение и значения резонансной частоты. Определив все значения резонансных частот, при каждой температуре жидкости, можно построить график, наглядно показывающий изменение значения частоты при изменении температуры самой жидкости (Рисунок 2).

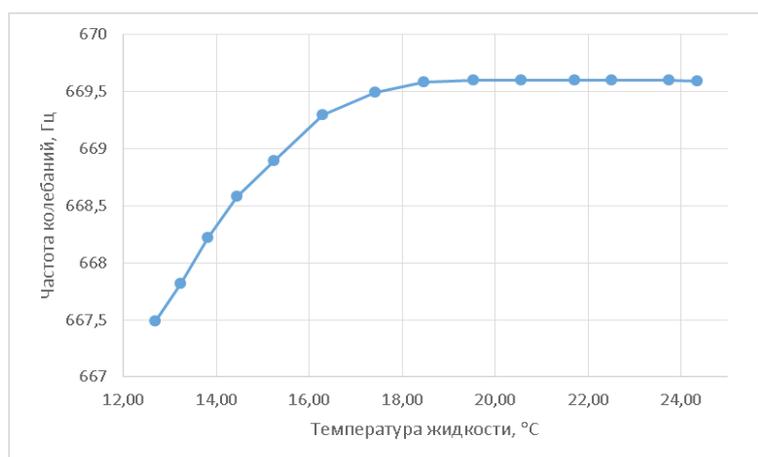


Рис. 2. Зависимость изменения резонансной частоты от температуры

Очевидно, что температура значительно влияет на показание средства измерения. Причем зависимость не линейная, что доказывает сложность ее теоретического вычисления. Также, стоит отметить, что на более низких значениях температуры, зависимость более криволинейная.

Литература

1. Жуков Ю. П. Вибрационные плотномеры. – М.: Энергоавтомиздат, 1991. – 144с.
2. Квилис С. С. Плотномеры. М.: Энергия, 1982. – 278с.
3. Фатхутдинов А. Ш. Автоматизированный учет нефти и нефтепродуктов при сборе, транспорте и переработке. Пособие для метрологов. – Уфа.: АО «Нефтеавтоматика», 1999.
4. Филюшин В. В. Исследование зависимости частоты колебаний от изменения давления внутри чувствительной системы поточного преобразователя плотности // материалы XX Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр». – Томск: Изд-во ТПУ, 2016. – Т. 2. – с. 967 – 969.
5. Rudachenko V., Filushin V., Korotchenko T. The dependence of cylindrical resonator natural frequencies on the fluid density // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 27, conference 1. – 2015.