



Датчики предельного уровня для жидкостей.

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ВИБРАЦИОННЫХ ДАТЧИКОВ

С.С. Лопатин, Х. Пфайффер (Endress+Hauser GmbH+Co KG)

Представлен анализ физических принципов, реализованных в датчиках предельного уровня для жидкостей, и рассмотрены возможности наиболее универсального вибрационного принципа, который используется в датчиках типа Liquiphant фирмы Endress+Hauser GmbH+Co KG (Германия). Показано, что вибрационные датчики на основе камертона являются наиболее универсальными инструментами для идентификации любых жидкостей и газов в типичных промышленных условиях.

Датчики уровня жидкости широко используются в АСУТП химической, пищевой и перерабатывающей отраслях промышленности. Они измеряют уровень непрерывно или дискретно, и их устанавливают в резервуарах для контроля уровня или в трубопроводах для защиты насосов от холостой работы. Одной из важных функций таких датчиков является защита резервуаров от перелива. В этом случае датчик не участвует непосредственно в управлении процессом, но при переполнении он должен своевременно выдать аварийный сигнал. Для этой цели необходимы датчики уровня, отвечающие особым требованиям по универсальности распознавания жидкостей, надежности работы и достоверности измерений. Хотя датчики предельного уровня можно построить на основе различных физических принципов, тем не менее каждый принцип имеет особенности, которые ограничивают область его применения средами определенных видов, а также определенными условиями эксплуатации (температура, давление и т.д.).

Целью настоящей публикации является анализ физических принципов, реализованных в датчиках предельного уровня для жидкостей, и обсуждение возможностей наиболее универсального вибрационного принципа, который используется в датчиках типа Liquiphant (рис. 1) фирмы Endress+Hauser GmbH+Co KG (Германия).

В основу анализа положим сопоставление различных физических свойств газов и жидкостей. Чем больше отличается выбранное свойство для названных фаз и чем точнее можно измерить это отличие, тем надежнее удастся идентифицировать границу раздела между газом и жидкостью. К числу таких свойств относятся, прежде всего, плотность, электропроводность, диэлектрическая проницаемость, скорость звука и его поглощение, преломление и погло-

щение света и теплопроводность. Косвенные измерения названных свойств лежат в основе различных способов определения границы раздела жидкой и газообразной фаз, обзор которых приведен в работах [1, 2]. Эти способы перечислены также в таблице, где дана оценка их применимости для конкретных сред и условий. Кратко рассмотрим физические явления, лежащие в основе названных способов.

Согласно таблице, наиболее универсальным способом измерения уровня жидкости является микроволновый, включающий эхолокацию как по свободному полю, так и с помощью волноводов, а также метод частотно-модулированного непрерывного излучения (FMCW-радар). Микроволновая техника используется преимущественно для непрерывного измерения уровня и остается весьма дорогостоящей, поэтому не будем рассматривать ее для применений в простых датчиках предельного уровня.

Способ рассеяния тепла основан на различии скоростей охлаждения нагретого тела в газах и жидкостях. Он имеет существенные ограничения и поэтому применяется редко.

Оптический способ включает три принципа измерения: по поглощению света, по его отражению от поверхности раздела фаз и по его преломлению на поверхности контакта световода со средой. Несмотря на высокую сумму баллов в таблице, этот способ не является универсальным из-за возможных отказов в случаях непрозрачных жидкостей, опалисцирующих

эмульсий и суспензий, тумана или загрязнения оптической системы.

Датчики электропроводности имеют простую конструкцию и надежно работают в водных растворах электролитов, но для непроводящих жидкостей они непригодны. Кроме того, серьезные ограничения возникают в случае вязких, тиксотропных и вспененных сред.



Рис. 1. Вибрационные датчики семейства Liquiphant фирмы Endress+Hauser GmbH+Co KG

Емкостные датчики реагируют на изменение диэлектрической проницаемости среды в измеряемом пространстве. Диэлектрическая проницаемость многих жидкостей в 10...100 раз выше, чем у воздуха, что позволяет надежно их идентифицировать. Однако известны такие жидкости, у которых диэлектрическая проницаемость всего в 1,6...2 раза выше, чем у воздуха (например, бензин, фреон 113). В таких случаях датчик нуждается в точной настройке по месту установки, а при смене жидкости в сосуде не исключаются отказы или грубые ошибки.

В ультразвуковых датчиках уровня используются три основных принципа: эхолокация границы фаз по воздуху и по жидкости, а также поглощение ультразвука в измеряемой среде. В таблице дана оценка ультразвукового способа как совокупности лучших характеристик названных принципов, поэтому ультразвуковой способ выглядит в целом лучше, чем каждый из этих трех принципов в отдельности. Так, например, наличие мелких пузырьков газа в жидкости приводит в высокому поглощению ультразвука в ней и может сильно затруднить эхолокацию поверхности раздела фаз по жидкости, хотя при эхолокации по воздуху такой проблемы не возникает. Общим недостатком ультразвуковых приборов является возможность их отказа в случаях пенообразования, градиентов температуры или плотности в измеряемой среде, налипания и специфичных высокочастотных акустических помех.

Вибрационный и поплавковый способы, а также измерение давления столба жидкости основаны фактически на измерении плотности среды. В этих способах используется тот факт, что жидкости и газы вдали от критической точки наиболее отличаются друг от друга по плотности независимо от их химической природы (полярные или неполярные жидкости и их растворы). Например, жидкий диоксид углерода (CO₂) при 0°C и 3,5 МПа находится в равновесии с газообразным CO₂. При этом плотности жидкой и газообразной фаз отличаются в 9,5 раз (0,95 г/см³ и 0,1 г/см³ соответственно), что достаточно для надежной идентификации агрегатного состояния. Еще сильнее отличаются плотности воздуха и практически всех жидкостей в условиях близких к нормальным. Так, скачек плотности на границе между бензином и воздухом достигает 600 раз. Это обстоятельство дела-

Таблица. Оценка универсальности наиболее распространенных способов измерения границы между газом и жидкостью

Способ измерения	Критерии применимости															СУММА БАЛЛОВ										
	Свойства жидкости										Температура		Давление		Динамика											
	Низкая вязкость (<10000 сСт)	Высокая вязкость (>10000 сСт)	Пласты	Желе	Клейкость	Отложения / конденсат	Твердые частички	Плохо перемешиваемые жидкости	Выделение газов	Вспенивание	Изменение физических свойств	Отсутствие прозрачности	-60 ... -20°C	-20 ... +60°C	+60 ... +150°C		>+150°C	Вакуум <0,08 МПа	0,08 МПа ... 0,12 МПа	0,12 ... 4 МПа	>4 МПа	Вибрация >0,01 г/Гц (0,02-2кГц)	Перемешивание жидкости	Термодар	Интерфейс NAMUR [3]	
Микроволновый	●	●	●	●	●	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○	21,0	
Вибрационный	●	●	●	○	○	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○	19,5	
Давление столба жидкости	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○	15,5	
Оптический	●	●	●	●	○	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○	(15,5)	
Электропроводность	●	●	●	○	○	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	15,0	
Поплавковый	●	●	●	●	○	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○	14,5	
Ультразвуковой / звуковой	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○	14,5	
Электрическая емкость	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○	14,0
Рассеяние тепла	●	○	○	○	○	○	●	●	●	●	●	●	●	●	○	●	●	●	●	●	●	●	○	○	10,5	

Обозначения: ● подходит; суммируется в графе "Сумма баллов" как 1; ● подходит для жидкостей с особыми свойствами; суммируется в графе "Сумма баллов" как 0,5; ⊗ возможно в особых условиях; не суммируется в графе "Сумма баллов"; ○ не подходит; не суммируется в графе "Сумма баллов".

ет измерение плотности весьма надежным и универсальным способом идентификации границы между любыми газами и жидкостями, не требующим специальной настройки на среду.

Несмотря на указанное достоинство определения плотности, поплавковый способ и измерение давления столба жидкости имеют недостатки, из-за которых они уступают вибрационному способу. Так, поплавковые датчики могут выходить из строя вследствие вибрационного износа или заклинивания подвижных частей. Измерение статического давления столба жидкости непригодно для трубопроводов, а также для случаев минимального уровня, когда давление жидкости в сосуде мало, а инструментальная ошибка измерения давления велика.

Перечисленных недостатков лишены вибрационные датчики. Их важным достоинством является также возможность изготовления чувствительных элементов в виде прочных цельнометаллических конструкций, отвечающих современным требованиям к стерилизации. Это обстоятельство позволяет широко использовать такие датчики в пищевой, фармацевтической и химической отраслях. Благодаря их низкому энергопотреблению (меньше 10 мВт вместе с микропроцессором), удается реализовать электронный интерфейс NAMUR [3], что еще недавно было возможно только для поплавковых реле уровня.

Рассмотрим подробнее конструкцию и физические возможности вибрационных датчиков. Известно, что частота колебаний механического резонатора зависит от массы колеблющихся частей и их жесткости. При изменении плотности среды, окружающей резонатор, происходит изменение частоты его колебаний, так как при этом изменяется присоединенная масса колеблющихся частей. Таким образом, подхо-

дящий механический резонатор является преобразователем плотности среды в частоту колебаний. Это обстоятельство успешно используется для обнаружения границы раздела жидких и газообразных фаз.

Для такого резонатора важным условием высокой достоверности и надежности измерений является отсутствие механической реакции колебаний в тех частях датчика, которыми он крепится на стенках сосудов, фланцах или трубах. Например, если возбудить изгибные колебания в стержне, закрепленном на фланце, то частота колебаний и механическая добротность такого резонатора будут зависеть от массы фланца и условий его закрепления (сила затяжки болтов, близкие по частоте собственные резонансы стенок сосуда и т.д.). На этом принципе хотя и можно построить вибрационный датчик [4], но он не будет ни универсальным, ни надежным в работе. Если в двух или нескольких частях резонатора возбудить противофазные колебания так, чтобы силы реакции и вращательные моменты в опоре резонатора компенсировали друг друга, то можно получить механически развязанный от закрепления резонатор. Его частота и добротность, а следовательно, амплитуда колебаний не будут зависеть от условий закрепления, наличия резонансов в стенках сосуда, а также от умеренной внешней вибрации.

Наиболее распространенным резонатором для вибрационных датчиков является камертон, на основе которого создано семейство вибрационных датчиков предельного уровня Liquiphant (рис. 1) [5, 6] фирмы Endress+Hauser GmbH+Co KG, и позднее таких фирм, как Vega Grieshaber KG, Solartron Mobrey Ltd., Nivelco Process Control Co. В названных датчиках две симметричные лопатки камертона закреплены на металлической мембране, которая приварена к резьбовому штуцеру или к фланцу. С помощью пьезоэлементов в мембране камертона возбуждаются изгибные колебания, которые заставляют пластины камертона колебаться в противофазе на резонансной частоте 0,4...1,5 кГц (в зависимости от конструкции). В результате полу-

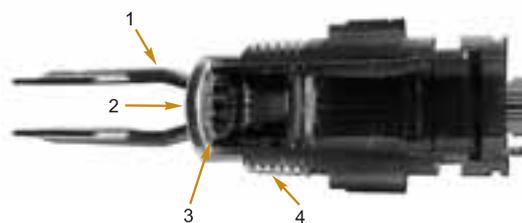


Рис. 2. Датчик Liquiphant M в разрезе: 1 – пластина камертона, 2 – мембрана, 3 – плоский пьезоэлектрический элемент на керамической подложке (биморф) с гибкой печатной платой, 4 – присоединительная резьба

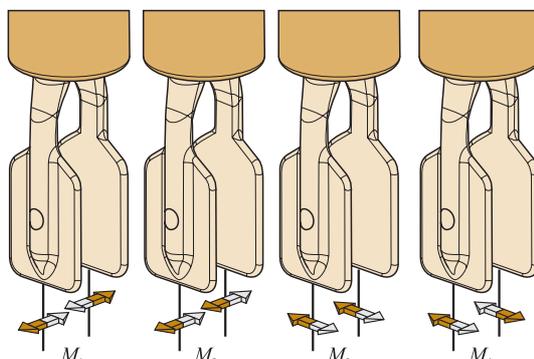


Рис. 3. Первые четыре резонанса камертона. Стрелками показаны направления, а цветом стрелок – фазы колебаний лопаток:

M_1 – противофазные колебания перпендикулярно плоскости лопаток (основная мода), M_2 – синфазные колебания перпендикулярно плоскости лопаток, M_3 – синфазные колебания параллельно плоскости лопаток, M_4 – противофазные колебания параллельно плоскости лопаток

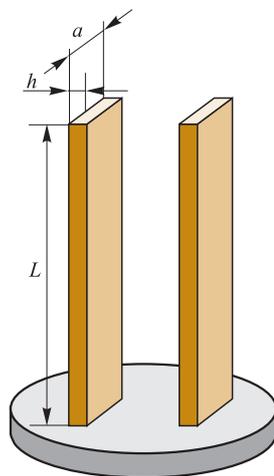


Рис. 4. Модель простейшего камертонного датчика плотности среды

дель камертона. Частота основного резонанса в вакууме описывается уравнением:

$$F_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c_0}{\Theta_0}}, \quad (1)$$

где c_0 – жесткость лопатки камертона; Θ_0 – момент массы лопатки камертона в вакууме.

Если колебания совершаются в среде с плотностью, отличной от нуля, то дополнительно появляется

чается механически развязанный резонатор с высокой добротностью. Устройство такого камертонного датчика показано на рис. 2. Известны также конструкции компенсированных стержневых резонаторов фирм Vega Grieshaber KG [7, 8] и Endress+Hauser GmbH+Co KG [9, 10], которые однако предназначены для сыпучих материалов и поэтому в данной работе рассматриваться не будут.

Определим факторы, влияющие на частоту колебаний камертона. На рис. 3 показаны первые четыре моды датчика типа Liquiphant. Среди возможных мод колебаний камертона имеются как моды с повышенной чувствительностью к плотности среды (M_1 и M_2 на рис. 3), так и с пониженной (M_3 и M_4). Эта чувствительность тем больше, чем больше фронтальная поверхность колеблющихся частей датчика. Наиболее подходящей для измерений

является основная мода M_1 . Частота этой моды минимальна из всех возможных для данного камертона. При умеренной внешней вибрации и ударах возбуждаются неразвязанные от штуцера колебания типа M_2 или M_3 , которые при правильном проектировании пьезоэлектрического вибратора и схемы автогенератора практически не оказывают влияния на показания прибора. Этим объясняется высокая стабильность работы вибрационных датчиков типа Liquiphant в условиях внешней вибрации, шумов и турбулентных потоков жидкости. Допустимый уровень внешней вибрации для таких датчиков составляет 0,01... 0,05 $g^2/Гц$ в диапазоне частот 20...2000 Гц.

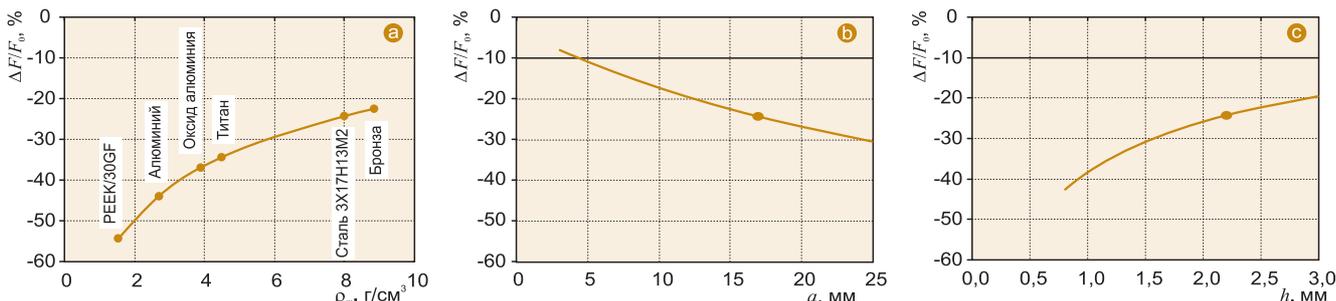


Рис. 5. Влияние плотности материала (а), ширины (b) и толщины (с) лопаток камертона на его чувствительность: а) для камертонов с фиксированными размерами $a = 17,0$ мм и $h = 2,2$ мм; б) для камертонов из стали 3Х17Н13М2 с $h = 2,2$ мм и с) для таких же камертонов с $a = 17,0$ мм. В расчетах принято, что датчик полностью погружен в воду при 20°C и давлении 1 атм. Максимальная ширина лопатки a камертона определяется диаметром установочного отверстия под датчик, и для резьбового соединения в $3/4$ дюйма составляет около 17 мм. Толщина h определяется возможностями метода изготовления камертона и в случае технологии точного литья составляет 1,5...3 мм

момент присоединенной массы и частота колебаний камертона снижается:

$$F = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c_0}{\Theta_0 + \Theta}}, \quad (2)$$

где Θ – момент присоединенной массы.

И после деления уравнения (2) на (1) получим простое выражение для отношения частот камертона в зависимости только от моментов присоединенной массы и лопатки:

$$\frac{F}{F_0} = \sqrt{\frac{\Theta_0}{\Theta_0 + \Theta}}. \quad (3)$$

Для камертона, показанного на рис. 4, момент массы лопаток в вакууме определяется по формуле:

$$\Theta_0 = 3,33 \cdot 10^{-7} \cdot h \cdot a \cdot L^3 \cdot \rho_m, \quad (\text{кг мм}^2), \quad (4)$$

где: h, a и L – размеры лопатки камертона, мм (рис. 4); ρ_m – плотность материала, из которого выполнены лопатки камертона, г/см^3 .

Для параметра Θ были выполнены расчеты методом конечных элементов и результаты вычислений для $25 < L < 40$ мм были аппроксимированы приближенным уравнением:

$$\Theta \approx (0,0151 \cdot a^2 + 0,0226 \cdot a) \frac{L^3 \cdot \rho_F}{6,4 \cdot 10^4 \cdot \rho_0}, \quad (\text{кг мм}^2), \quad (5)$$

где ρ_F – плотность среды, в которой колеблется камертон, г/см^3 ; ρ_0 – плотность воды, принимаемая равной 1 г/см^3 .

После подстановки выражений (4) и (5) в (3) получим формулу, описывающую частотную чувствительность камертона в зависимости от плотности материала лопаток и их размеров, а также плотности среды:

$$\frac{F}{F_0} = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{(0,709 \cdot a + 1,06) \cdot \rho_F}{h \cdot \rho_m}}}. \quad (6)$$

Для вычисления относительного изменения частоты перепишем уравнение (6) следующим образом:

$$\frac{\Delta F}{F_0} = \sqrt{\frac{1}{1 + K \frac{\rho_F}{\rho_m}}} - 1, \quad (7)$$

где K – параметр, зависящий от геометрии лопаток.

Из уравнения (6) следует, что частота резонанса связана простой функцией с плотностью измеряемой среды. Эта зависимость лежит в основе применения вибрационных датчиков для идентификации жидкостей.

Формула (7) удобна для анализа влияния свойств материала датчика на его чувствительность к плотности жидких сред. Проведем такой анализ для камертона с постоянными размерами $a = 17$ мм и $h = 2,2$ мм, изготовленного из материалов различной плотности. При этом будем исходить из того, что камертон полностью погружен в измеряемую среду. На рис.5 показаны результаты вычислений по формуле (5). Благодаря уменьшению плотности материала, например, в случаях керамики оксида алюминия или пластмассы (полиэфирэфиркетон с 30% стекловолокна ПEEK/30GF), можно повысить чувствительность к плотности жидких сред (рис.5, а) до 2 раз по сравнению с камертонами из нержавеющей стали, например, типа 3Х17Н13М2 (аналог зарубежных сталей 316L или DIN1.4435). Чувствительность возрастает также при увеличении ширины лопаток (рис.5, б) и при уменьшении их толщины (рис.5, с). Таким образом, варьируя по крайней мере эти два размера, можно оптимизировать камертон таким образом, что он будет надежно работать в широком диапазоне температур практически с любыми жидкостями, включая легкие сжиженные газы и вязкие плотные среды типа дисперсионной краски и меда.

На практике частота переключения датчика устанавливается при его частичном погружении в жидкость. На рис. 6 показаны частотные зависимости вибрационного датчика Liquiphant M от глубины погружения в среды разной плотности. Глубину погружения условимся считать от конца пластин камертона в направлении мембраны. Для надежного переключения датчика необходимо выбрать частоту переключения так, чтобы она удовлетворяла всему диапазону плотности измеряемых жидкостей. При этом необходимо, чтобы частоты переключения из состояния "свободный" в состояние "покрытый жидкостью" и обратно отличались друг от друга на несколько процентов, иначе датчик будет случайно срабатывать при колебании уровня жидкости в емкости. Если частоты

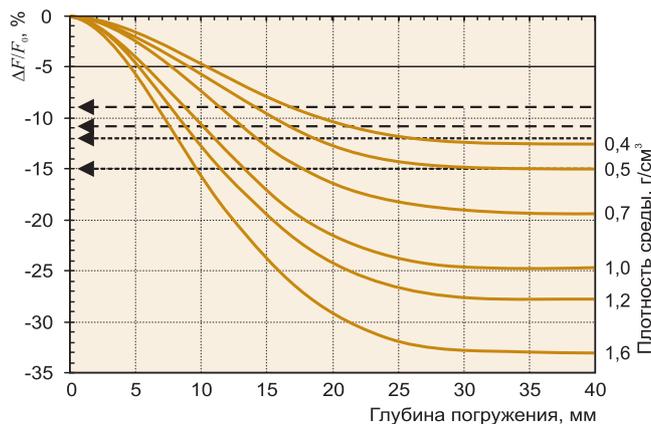


Рис. 6. Поведение частоты датчика Liquiphant M из стали 3X17H13M2 в зависимости от глубины его погружения в жидкости с плотностью 0,4 – 1,6 г/см³. Пунктирными стрелками показаны пороги переключения показаний датчика

переключения определить на уровне -15% и -12% от частоты на воздухе, то при плотности среды 0,4 г/см³ такой датчик работать не будет (рис. 6). Поэтому для легких жидкостей используют частоты переключения, отвечающие $\Delta F/F_0 = -11\%$ и -9% . В этом случае датчик надежно срабатывает во всех жидкостях с плотностью не менее 0,5 г/см³ при температурах $-60...300^\circ\text{C}$. Для жидкостей с плотностью более 0,7 г/см³ целесообразно выбрать уровни переключения при $\Delta F/F_0 = -15\%$ и -12% . Это увеличивает достоверность работы датчиков при образовании на них отложений, например, накипи. В случае отложений момент массы камертона в вакууме в уравнении (3) возрастает на Θ_A , а это влечет за собой снижение частоты камертона как на воздухе, так и в жидкости:

$$\frac{\Delta F}{F_0} = \sqrt{\frac{\Theta_0}{(\Theta_0 + \Theta_A) + \Theta}} - 1. \quad (8)$$

Благодаря такому выбору частот срабатывания для более плотных жидкостей удается обеспечить надежную работоспособность серийно выпускаемых датчиков Liquiphant M при равномерном осаждении на обеих лопатках до 2,2 г твердых отложений (при условии, что датчик используется при температуре $-50...150^\circ\text{C}$ и

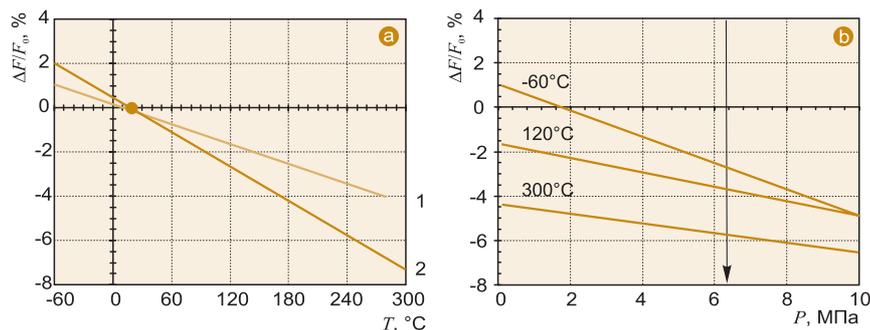


Рис. 7. а) Температурные зависимости частоты камертонов Liquiphant M в воздухе при $P = 0,1$ МПа, изготовленных из хастеллоя С4 (1) и 3X17H13M2 (2) б) Влияние давления воздуха на частоту Liquiphant M из хастеллоя С4 при различных температурах. Стрелка указывает на максимальное рабочее давление для Liquiphant M, которое ограничено конструкцией и используемыми материалами

давлении до 0,5 МПа). Это количество осадка соответствует, например, слою накипи до 0,7 мм.

Если датчик подвергается в области лопаток равномерной коррозии, то его частота в газовой среде по мере растворения металла возрастает, так как уменьшается момент массы лопатки камертона. Как только частота камертона превзойдет определенный уровень (равный, например, для Liquiphant M $1,063 \cdot F_0$), то электронный блок датчика выдаст сигнал коррозионного предупреждения.

Далее рассмотрим влияние температуры и давления на резонансную частоту вибрационных датчиков. Известно, что модуль упругости металлов зависит от температуры. Этим объясняется температурная погрешность измерения плотности, так как уменьшение модуля упругости вызывает уменьшение резонансной частоты камертона. Названная погрешность зависит от материала камертона, и для датчиков Liquiphant M из Ni/Мо-сплава хастеллой С4 она меньше, чем в случае стали 3X17H13M2 (рис. 7, а).

Давление также влияет на частоту камертона, но в отличие от температуры это влияние заметно проявляется только в газообразной фазе и при относительно высоком давлении (рис. 7, б). Причиной этого является уплотнение газа при сжатии, причем частота камертона описывается уравнением (7), где ρ_F — плотность сжатого газа. Влияние давления на частоту в разных газах различно. Например, в гелии увеличение давления до 10 МПа вызывает уменьшение частоты Liquiphant M всего на 0,45%, а в аргоне — на 7,8%. В несжимаемых жидкостях давление до 6...7 МПа практически не влияет на частоту и в пределах погрешности 0,5% им можно пренебречь.

Еще одним свойством среды, которое может влиять на точность срабатывания вибрационных датчиков, является вязкость. Известны способы, позволяющие исключить влияние вязкости до примерно 20000 сСт на частоту камертона [11, 12], благодаря оптимизации пьезоэлектрического вибратора и схемы автогенератора. Однако рассмотрение таких решений выходит за рамки данной публикации.

Подводя итоги анализа физических возможностей

вибрационного способа, можно прийти к следующим выводам. Вибрационные датчики на основе камертона являются наиболее универсальными инструментами для идентификации практически любых жидкостей и газов в типичных промышленных условиях. Физические возможности способа позволяют использовать такие датчики при температурах $-60...300^\circ\text{C}$ без острой необходимости компенсации температурной погрешности. Такие датчики также применимы для определения границы раздела двух несмешивающихся жидкост-

тей, например, масла и расплавленного натрия или воды и бензина.

Достоинством камертонов является отсутствие подвижных деталей, что делает их надежными в эксплуатации и позволяет использовать, например, в мощных ультразвуковых ваннах, в которых для поплавковых датчиков типичное время наработки на отказ из-за сильного износа деталей не превышает нескольких сотен часов. Механические напряжения в конструкции вибрационных датчиков, вызванные резонансными колебаниями лопаток, пренебрежимо малы. Расчет усталостной прочности камертонов Liquiphant в рамках требований стандарта EN DIN 13445 показал, что они выдерживают не менее 30 лет эксплуатации без нарушения целостности конструкции. Благодаря этому вибрационные датчики разрешается использовать во взрывоопасных условиях.

Камертоны Liquiphant пригодны для контроля плотности жидкостей. Если осуществлять коррекцию температурной погрешности частоты, измеряя температуру с точностью в 1°C, то можно обеспечить погрешность относительного измерения плотности при $\rho_F > 0,5 \text{ г/см}^3$ не хуже 0,15% или 0,001 г/см³. Этой точности достаточно, чтобы контролировать, например, концентрацию этанола в воде от 0 до 96% с точностью $\pm(1,2...0,5)\%$.

Важной особенностью камертонов является их предсказуемое поведение в случае отказов, вызванных как механическими причинами (сильные налипания, блокировка лопаток намерзшим льдом или их повреждение), так и электронными (выход схемы из строя, обрыв проводника). В этих случаях выходной сигнал прибора отвечает состоянию "покрыт жидкостью", хотя отказавший датчик может находиться в непокрытом состоянии. Если прибор используется в системе сигнализации переполнения емкости, то такое ориентированное на безопасность поведение исключает реальные аварии, связанные с переливом резервуаров.

Благодаря широкому возможностям применения и высокой надежности вибрационные датчики на основе

камертона заняли прочное место в ряду стандартных приборов для оснащения систем автоматического управления ТП. Этим объясняется постоянный рост объема производства таких измерительных инструментов, который достиг в Европе более 250 тыс. ед. в год.

Список литературы

1. Fuelstandmessung von Fluessigkeiten und Feststoffen (Schuet-tguetern) // VDI/VDE Richtlinien 3519, Blatt 1 (2002).
2. Fuelstandmessung von Fluessigkeiten und Feststoffen (Schuet-tguetern) // VDI/VDE Richtlinien 3519, Blatt 2 (2002).
3. Low-voltage switchgear and controlgear – Part 5-6: Control circuit devices and switching elements, DC interface for proximity sensors and switching amplifiers (NAMUR). – DIN EN 60947-5-6 (2000).
4. Siemens & Halske AG. Schuetthoeheanzeiger fuer Bunker. – Pat. DE 623103, Veroeffentlichungsdatum 13.12.1935.
5. Dreyer V. Apparatus for determining and/or monitoring a predetermined contents level in a container. – Pat. US 5191316, published 2.03.1993.
6. Lopatin S., Pfeiffer H., Mueller A., Dreyer V., Brutschin W. Apparatus for establishing and/or monitoring a predetermined filling level in a container. – Pat. US 6236322, published 22.05.2001.
7. Benz K. Device for the determination and/or control of a certain charging level in a container. – Pat. US 4499765, published 19.02.1985.
8. Benz K. Vorrichtung zur Feststellung und/oder Ueberwachung eines vorbestimmten Fuellstands in einem Behaelter. – Pat. DE 4203715, Veroeffentlichungsdatum 5.12.1996.
9. Pfeiffer H. Vorrichtung zur Ueberwachung eines vorbestimmten Fuellstands in einem Behaelter. – Pat. EP 848237A1, Veroeffentlichungsdatum 17.06.1998.
10. Dreyer V., Pfeiffer H. Vorrichtung zur Feststellung und/oder Ueberwachung eines vorbestimmten Fuellstands in einem Behaelter. – Pat. DE 3912038, Veroeffentlichungsdatum 1.07.1993.
11. Getman I., Lopatin S. Vorrichtung zur Bestimmung und/oder Ueberwachung der Viskositaet eines Mediums in einem Behaelter. – Offenlegungsschrift DE 10050299A1, Veroeffentlichungsdatum 11.04.2002.
12. Getman I., Lopatin S., Dreyer V. Vorrichtung zur Feststellung und/oder Ueberwachung eines vorbestimmten Fuellstands in einem Behaelter. – Pat. EP 875742A1, Veroeffentlichungsdatum 4.11.1998.

Лопатин Сергей Семенович – канд. хим. наук, инженер отдела вибрационных датчиков уровня,

Пфайффер Хельмут – инженер сектора датчиков уровня компании Endress+Hauser GmbH+Co KG, Германия.

Контактный телефон (095)783-28-50. E-mail: serguei.lopatin@pctm.endress.com

В издательстве "П-2" вышла книга:

А.С. Анашкин, Э.Д. Кадыров, В.Г. Харазов "Техническое и программное обеспечение распределенных систем управления" под редакцией д-ра техн. наук, проф. Харазова В.Г.

В книге приведены сведения о структуре и функциях распределенных систем управления (PCY), подробно рассмотрены ПЛК, в том числе моноблочные, модульные и PC-совместимые контроллеры, а также встраиваемые системы отечественных и зарубежных фирм, их устройство и технические характеристики, языки программирования по стандарту IEC 61131-3, промышленные сети всех уровней иерархии. Также рассмотрены наиболее употребляемые в PCY SCADA-системы, в том числе встраиваемые в ПЛК, дана методика выбора контроллеров, SCADA-систем и промышленных сетей. С учетом последних тенденций развития интегрированных систем управления предприятием в целом, предусматривающих как гори-

зонтальную, так и вертикальную интеграцию программно-аппаратных средств автоматизации, в книге рассматриваются ERP-, MES-, CRM- и др. системы верхнего уровня, БД и аппаратные серверы БД PCY. Приведены примеры применения ПЛК и SCADA-систем в локальных системах управления и PCY в целом.

Книга рекомендована в качестве учебного пособия студентам, обучающимся по специальностям 210100 – "Управление и информатика в технических системах" и 210200 – "Автоматизация технологических процессов и производств", а также представляет интерес для специалистов по автоматизации ТП, занимающихся разработкой и проектированием PCY.

По вопросам приобретения книги обращайтесь в Торговый дом "Медный Всадник".

Контактные телефоны: (812) 320-91-35, 320-91-36, 320-91-37.