

Вибрационный плотномер для жидких и газообразных сред



В статье представлен вибрационный плотномер жидкостей 804 производства ООО «Датчики и системы». Охарактеризованы промышленные плотномеры с разными физическими принципами действия, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. Обсуждается вибрационный принцип действия, лежащий в основе плотномера 804 и делающий этот прибор наиболее универсальным.

ООО «Датчики и системы», г. Ростов-на-Дону

Промышленные плотномеры жидкостей широко используются в АСУ ТП в химической, перерабатывающей, пищевой и нефтегазовой отраслях промышленности. Они измеряют плотность непрерывно или периодически и устанавливаются в резервуарах, трубопроводах и на технологическом оборудовании. Широкий спектр применений приводит к разнообразию требований к характеристикам плотномеров, таким как диапазон измерения, погрешность, химическая стойкость, механическая прочность, температурный диапазон измеряемой среды и окружающих условий. Хотя плотномеры можно построить на основе различных физических принципов, тем не менее каждый принцип имеет особенности, которые ограничивают область его применения.

Целью данной статьи является обзор физических принципов, которые используются в широко применяющихся существующих плотномерах, и обсуждение возможности наиболее универсального вибрационного принципа, лежащего в основе работы плотномера 804 производства ООО «Датчики и системы».

В качестве критериев выберем инвариантность метода относительно свойств жидкостей и технологических условий эксплуатации.

Широкое распространение получили весовые методы измерения плотности. Действие весовых — мас-

совых — плотномеров основано на том, что вес жидкости при неизменном ее объеме прямо пропорционален плотности. Для весового метода измерения плотности характерна независимость показаний от свойств среды (поверхностное натяжение, вязкость, наличие взвешенных твердых частиц и др.) и параметров контролируемого потока (скорость движения через чувствительный элемент, пульсация расхода и давления и др.). Из недостатков стоит отметить чувствительность к вибрациям и требование полностью заполненного трубопровода.

Другой хорошо известной группой промышленных плотномеров являются поплавковые плотномеры. Принцип действия этих приборов основан на изменении степени погружения поплавок, являющейся функцией плотности анализируемой жидкости. В лабораторной и производственной практике широко используются поплавковые приборы, предназначенные для эпизодических измерений, так называемые ареометры. Они могут быть стеклянными или металлическими и самой разнообразной формы. В промышленности применяется большая группа плотномеров автоматических, использующих поплавковый (ареометрический) принцип измерения. В поплавковом плотномере анализируемая жидкость подводится в измерительную камеру, в которой находится полностью погруженный

в жидкость поплавок. По выталкивающей силе поплавок определяется плотность. Этот тип приборов предназначен для измерения плотности однородных сравнительно чистых жидкостей, а также тонких суспензий. Взвешенные частицы в жидкости могут оседать на поверхности поплавка и тем самым искажать показания прибора. К числу недостатков пикнометрического метода относятся также: трудность поддержания постоянной заданной температуры жидкости во всем ее объеме (невозможность перемешивания); трудность полного исключения влияния влаги при взвешиваниях или введения соответствующей поправки на это влияние; снижение чувствительности весов при взвешивании сравнительно большой массы.

Следующую группу образуют гидростатические методы измерения. Принцип их действия основан на измерении давления столба однородной анализируемой жидкости определенной высоты, пропорционального ее плотности. Известны гидростатические плотномеры с чувствительными элементами в виде мембран или сильфонов и с продувкой воздухом, называемые пневматическими. К недостаткам метода можно отнести сложности работы под давлением и необходимость термостатирования всего столба жидкости.

Из существующих способов измерений плотности непосредствен-

но на технологических линиях или в производственных агрегатах наибольшее распространение получили методы, основанные на использовании механических систем со стабильными частотными характеристиками и с применением искусственного радиоактивного излучения.

Радиоизотопные плотномеры относятся к бесконтактным приборам (чувствительный элемент не вводится в движущуюся измеряемую среду), и их целесообразно применять для измерения плотности агрессивных или весьма вязких жидкостей, пульп и жидкостей, находящихся под высоким давлением или имеющих высокую температуру в трубопроводах большого диаметра, однако лишь в тех случаях, когда другие рассмотренные выше плотномеры практически неприменимы. Важным достоинством радиоизотопных приборов является возможность контроля плотности вещества в труднодоступных местах.

Существенным недостатком этих приборов является зависимость показаний от физических свойств испытуемого вещества, что требует индивидуальной градуировки прибора для определенного вида вещества.

По сравнению с радиоактивным вибрационный, или частотный, способ измерений обладает рядом преимуществ: более высокой точностью и стабильностью измерений, а также значительно меньшим временем отклика. Кроме того, вибрационные плотномеры достаточно надежны,

просты и удобны в эксплуатации, способны работать в сложных климатических условиях, не требуют применения специального оборудования, разрешений на проведение работ с радиоактивными источниками излучения и избавляют от хлопот, связанных с их утилизацией. Еще одним важным их достоинством является возможность изготовления чувствительных элементов в виде прочных цельнометаллических конструкций, отвечающих современным требованиям к стерилизации. Это обстоятельство позволяет широко использовать такие плотномеры в пищевой, фармацевтической, химической и нефтегазовой отраслях.

Рассмотрим подробнее конструкцию и физические возможности вибрационных плотномеров. 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. Поэтому в вибрационных плотномерах плотность жидкости или газа определяется по резонансной частоте некоторого тела (резонатора), взаимодействующего с измеряемой средой.

Существует несколько практических способов построения резонаторов, но все их можно разделить на три основные группы:

- ▶ уравновешенные резонаторы (камертон);
- ▶ тонкостенные резонаторы (цилиндры, кольца, фужеры).

Важным условием высокой точности и надежности измерений является отсутствие механической реакции колебаний в тех частях плотномера, которыми он крепится на стенках сосудов, фланцах и трубах. Для этого применяются уравновешенные симметричные резонаторы с противофазными колебаниями, которые позволяют получить механически развязанную от закрепления измерительную систему.

Наибольшее распространение для вибрационных плотномеров погружного типа получил резонатор в виде камертона.

На основе этого принципа в ООО «Датчики и системы» разработан и производится универсальный вибрационный плотномер 804 (рис. 1).

Для практической реализации камертона был проведен расчет геометрических размеров методом конечных элементов. На рис. 2а показана геометрическая модель камертонного преобразователя плотности, использованная при моделировании в пакете программ ANSYS. Чертеж преобразователя приведен на рис. 2б.

Металлический корпус 1 защищает внутренние детали плотномера от влияния измеряемой среды и обеспечивает механическую прочность конструкции. В качестве пьезодвижителя 2 используются пьезоэлементы в форме шайб, одни из которых

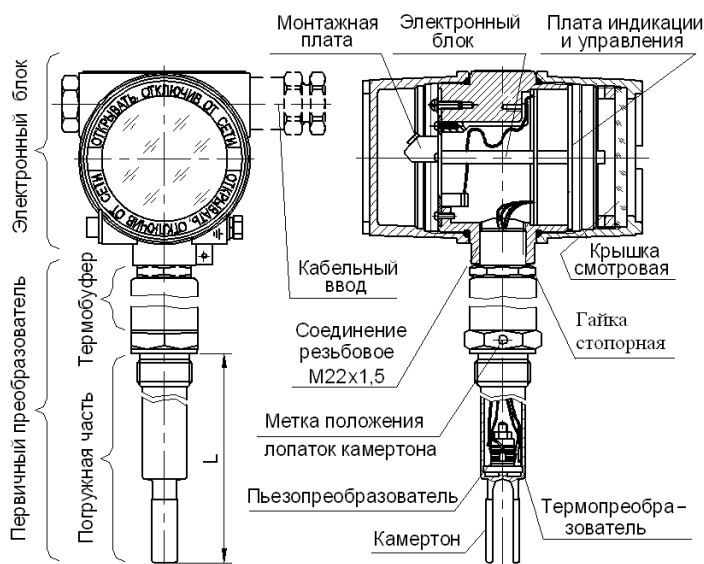


Рис. 1. Плотномер 804: внешний вид и устройство

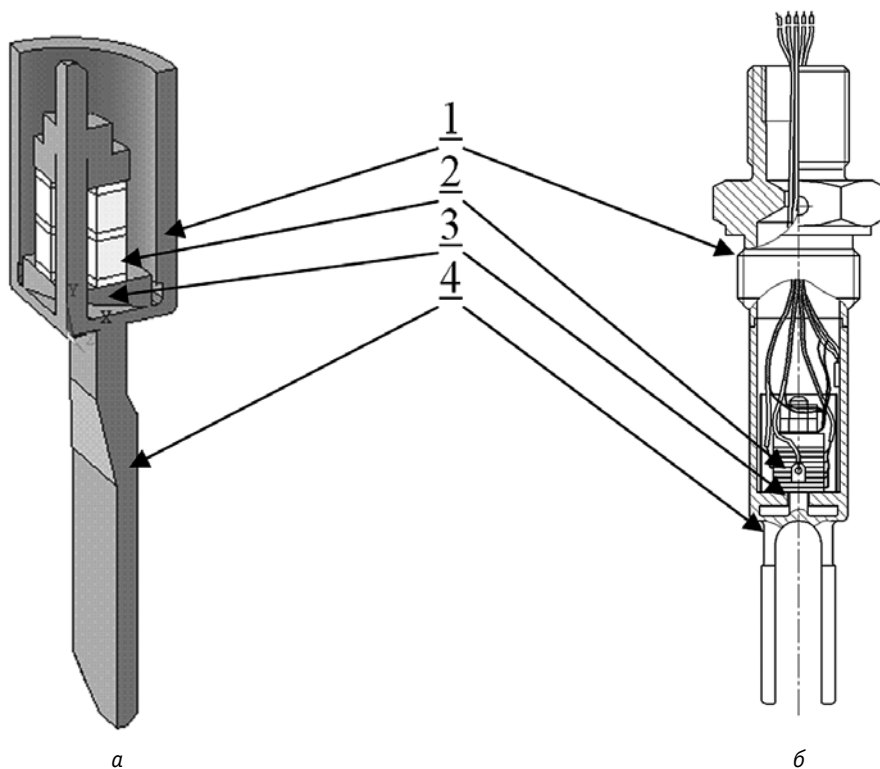


Рис. 2. Камертонный преобразователь плотности среды: а – геометрическая модель; б – схема

являются активными (возбуждающими), а другие пассивными (принимающими). Друг от друга, а также от корпуса пьезоэлементы отделены изолирующими слоями. Пьезоэлементы с изоляторами зажаты между конусной шайбой 3, опирающейся на мембрану, и металлической накладкой с помощью гайки. Материалом для пьезоэлементов служит пьезоэлектрическая керамика. В качестве материала мембраны и лопаток камертона 4 может быть использована нержавеющая сталь требуемой марки, титан или другие материалы.

Применение пьезоэффекта для возбуждения колебаний камертона позволило получить плотномер с низким энергопотреблением (меньше 10 мВт) и реализовать выходной токовый сигнал 4–20 мА по двухпроводной схеме. Блок-схема электронного преобразователя изображена на рис. 3.

Автогенератор обеспечивает возбуждение камертона на частоте 1-й моды изгибных колебаний лопаток камертона, подавляя возбуждение на следующих модах. От автогенератора на вход микроконтроллера поступает электрический сигнал с частотой, равной частоте колебаний лопаток. Микроконтроллер измеряет частоту

сигнала с погрешностью от $\pm 0,01$ до $\pm 0,02$ Гц. Время измерения не превышает 200 мс.

Получая информацию о текущей частоте колебаний камертона, его температуре и амплитуде сигнала обратной связи, микроконтроллер вычисляет текущую плотность вещества с учетом температурных изменений колебательной системы. Комбинация значений частоты, амплитуды и температуры дает информацию о возможном налипании, демпфировании или коррозии камертона. Информация о текущем значении плотности с признаками достоверности отображается на жидкокристал-

лическом индикаторе (ЖКИ) и передается по линии аналогового сигнала 4–20 мА либо по цифровому интерфейсу с протоколом Modbus.

Ниже приведены основные технические характеристики плотномер 804:

- ▶ диапазон измерения плотности среды: от 0 до 2000 кг/м³;
- ▶ пределы допускаемой основной погрешности измерения в нормальных условиях:
 - по цифровому сигналу, Δ : не более $\pm 0,5$; $\pm 1,0$; $\pm 5,0$ кг/м³;
 - по аналоговому сигналу, γ , % по формуле (1), не более:

$$\pm \left(\frac{\Delta}{\Delta_p} \times 100 + 0,05 \right),$$

где: $\Delta_p = (\rho_{\max} - \rho_{\min})$ – величина установленного для аналогового сигнала постоянного тока диапазона измерений;

- ▶ диапазон рабочих температур измеряемой среды: от -70 до $+80$ °С;
- ▶ дополнительная погрешность, вызванная изменением температуры и давления в диапазоне рабочих температур и давлений: не более $\pm 1,0$ кг/м³;
- ▶ максимальное давление среды: не более 16 МПа;
- ▶ вязкость среды: не более 100 (1000) мм²/с;
- ▶ индикация значения измеряемого параметра в установленных единицах на встроенном индикаторе с жидкокристаллическим дисплеем: от 0 до 2000 кг/м³;
- ▶ выходные сигналы (исполнение):
 - цифровые: по интерфейсам RS-485, USART, HART;
 - аналоговый постоянного тока 4–20 мА;



Рис. 3. Блок-схема электронного преобразователя плотномер

Таблица 1. Характеристики плотномеров разного производства

Параметр	Значение		
	Solartron 7828, Великобритания	«Плот-3», Россия	804, Россия
Диапазон измерений, кг/м ³	0...3000	0...120 420...1600	0...2000
Погрешность, кг/м ³	1,0	0,3	0,5
Температура среды, °С	-50...200	-40...85	-70...80
Вязкость жидкости, мм ² /с	До 20000	До 200	До 100 (1000)
Давление среды, МПа	20	6,3	16
Потребляемая мощность, ВА	1,68	0,54	0,48

▶ скорость передачи данных по цифровому интерфейсу с протоколом обмена Modbus: 9600 бод;
 ▶ время готовности данных после включения: не более 5 с;
 ▶ электрическое питание плотномера осуществляется от источника питания постоянного тока напряжением от 12 до 24 В, для варианта

с выходным сигналом USART – от 3 до 5 В;

▶ потребляемая мощность плотномера при выходных сигналах:

- цифровом RS-485 – не более 1,2 ВА;
- цифровом USART – не более 0,5 ВА;
- аналоговом – не более 0,5 ВА.

Сравнение с лучшими зарубежными и отечественными аналогами, приведенное в табл. 1, показывает, что плотномер 804 не уступает по диапазону и точности измерения самым выдающимся отечественным и зарубежным образцам, а также полностью адаптирован к условиям Крайнего Севера.

В настоящее время ведутся работы по дальнейшему совершенствованию плотномера 804. В частности, созданы опытные образцы вибропреобразователей, работающих при давлении до 100 МПа и вязкости до 10000 мм²/с.

О. В. Зацерклянный, ведущий специалист,
 ООО «Датчики и системы»,
 г. Ростов-на-Дону,
 тел.: +7 (800) 600-7545,
 e-mail: inbox@piezo.su,
 сайт: www.piezoelectric.ru

XIX Отраслевая научно-техническая конференция радиоэлектронной промышленности
 ключевое событие года в области микроэлектронных технологий
Международный Форум «Микроэлектроника 2020»

20 сентября - 3 октября
 Республика Крым, г. Ялта

V Научная конференция «ЭКБ и микроэлектронные модули»
 V Деловая программа V Демо-зона V INRADEL/Фестиваль инноваций V Школа молодых ученых

1000+ делегатов 400+ докладчиков 450+ компаний 11 научно-технических секций 5 лет успешной работы

ОРГАНИЗАТОРЫ: МИНПРОМТОРГ РОССИИ, НИИМЭ, ПРОГРЕСС
 ПРИ ПОДДЕРЖКЕ: Ростех, Элемент
 СТРАТЕГИЧЕСКИЙ ПАРТНЕР: МИЭТ

Партнер INRADEL/Фестиваля инноваций: SK, ЦНИИ ЭЛЕКТРОНИКА
 ОРГАНИЗАТОРЫ INRADEL/Фестиваля инноваций: INRADEL
 ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПАРТНЕР: ТЕХНОСФЕРА

Тел.: +7 (495) 641-57-17 • E-mail: info@microelectronica.pro
 Подробная информация об Отраслевой конференции и Форуме и регистрация: drepconf.ru, microelectronica.pro