

Т.Г. МАЩЕНКО, канд. техн. наук, проф. НТУ «ХПИ»

А.Ю. ЮДИН, студент НТУ «ХПИ»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЬЕЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ РАСХОДА ДВИЖУЩИХСЯ ЖИДКОСТЕЙ

У статті розглянуті питання застосування п'єзоелектричних перетворювачів для контролю тиску або витрат нафти у системах її транспортування, представлені необхідні формули для розрахунку цих параметрів.

There are the problems of using piezoelectric transducers for monitoring of oil transporting in system, in this article also the necessary formulas of their determination are shown there.

Ключевые слова: пьезоэлектрический эффект, преобразователи, расход, давление, транспортировка, система, температура, погрешность.

Постановка проблемы. Экономия электрической энергии признана важнейшим направлением энергетической политики в Украине. Максимальный энергосберегающий эффект дает использование рациональных способов управления технологическими процессами, обеспечивающих минимальное потребление электроэнергии. Известно, что нефтеперекачивающие, а также системы тепло- и водоснабжения относятся к числу наиболее энергоемких объектов Украины. При этом основными потребителями электроэнергии в таких системах являются насосные станции. Внедрение энергосберегающего оборудования, обеспечивающего плавное регулирование параметров насосных агрегатов, способствует повышению экономической эффективности в нефтехимической, химической, фармацевтической и других отраслях промышленности.

В общей задаче управления технологическими процессами в этих отраслях промышленности важными являются задачи контроля давления и расхода движущихся жидкостей, зачастую агрессивных и токсичных в трубопроводах.

Анализ литературы. В работах [1-3] рассмотрены различные виды расходомеров, описаны принципы их работы, приведены выходные характеристики. Показана также область их применения, определены диапазоны измерения и вносимые погрешности. В [4] рассмотрены вопросы контроля движущихся жидкостей, возникающие при их транспортировке. Показано, что наиболее информативными параметрами в этом случае являются давление, расход, плотность, вязкость контролируемой жидкости. Оперативный контроль этих параметров обеспечивает полное соответствие с технологическим процессом, что предотвращает несанкционированный отбор, например, неф-

ти при ее транспортировке. Показано, что для контроля давления или расхода нефти в трубопроводе при ее транспортировке наиболее эффективно применение пьезоэлектрических преобразователей, поскольку эти датчики можно размещать непосредственно на трубопроводе. В работе [5] приведена структурная схема устройства контроля расхода на основе пьезоэлектрических преобразователей, описана элементная база, реализующая это устройство.

Цель статьи – расширение функциональных возможностей расходомеров на основе пьезоэлектрических датчиков для контроля расхода, давления, вязкости и температуры контролируемой жидкости

Надежность и точность измерений расхода и давления жидких и газообразных сред в значительной степени зависит от конструктивных параметров преобразователя, электрических и гидродинамических режимов работы, а также условий измерений.

Поскольку расход является функцией распределения скоростей потока, которая зависит как от параметров жидкости или газа, так и характера потока, поэтому задача измерения расхода в промышленных условиях чрезвычайно сложна.

Расход – это количество вещества, протекающего через данное сечение в единицу времени. Для жидкости различают объемный или массовый расход.

Объемный расход жидкости может быть найден как

$$Q_0 = \frac{V}{t} \quad (1)$$

где V – объем жидкости, проходящий в единицу времени t через данное сечение потока.

Если через dS обозначить элементарную часть площади сечения, то элементарный расход, проходящий через площадку dS выразится как

$$dQ_0 = v dS , \quad (2)$$

где V – скорость жидкости в данной точке сечения.

Поскольку скорость v в разных точках сечения, в общем случае, различна, то величину Q_0 , исходя из выражения (2) можно представить в виде

$$Q_0 = \int_S dQ_0 , \quad (3)$$

где интеграл берется по всей площади сечения S (в общем случае криволинейного).

Гидравлической характеристикой данного сечения является средняя скорость течения жидкости

$$v_{\bar{n}\delta} = \frac{Q_0}{S} \quad \text{или} \quad v_{\bar{n}\delta} = \frac{\int v dS}{S}, \quad (4)$$

Тогда объемный расход может быть выражен как

$$Q_0 = v_{\bar{n}\delta} S, \quad (5)$$

где S – площадь сечения потока.

Массовый и объемный расходы связаны зависимостью, аналогичной зависимости между массой и объемом вещества

$$Q_i = p Q_0, \quad (6)$$

в связи с тем, что объем жидкости или газа зависит от его давления и температуры, то измерения объемного расхода приводят к нормальным условиям.

В работе [5] рассмотрены вопросы автоматического контроля движущихся жидкостей на основе импульсного метода измерений. Особенностью ультразвуковых расходомеров является то, что по заказу они могут быть укомплектованы либо врезными датчиками, контактирующими непосредственно с жидкостью в трубопроводе, либо накладными (бесконтактными), монтируемыми на внешней поверхности трубопровода. При использовании ультразвуковых расходомеров на трубопроводах средних и больших диаметров они оказываются значительно дешевле механических и электромагнитных расходомеров. В качестве датчиков используются пьезоэлектрические.

Пьезоэлектрические преобразователи имеют высокую чувствительность, однако в обычном исполнении они применяются только для измерений динамических давлений (расходов). Чтобы получить возможность измерять статическое давление с помощью пьезоэлементов, необходимо создать условия для работы пьезоэлемента, эквивалентные динамическому режиму. Подобные условия можно создать, возбуждая в пьезоэлементе искусственным путем незатухающие механические колебания, амплитуда которых максимальна на резонансной частоте пьезоэлемента. Воздействие на пьезоэлемент внешнего статического давления приводит к изменению амплитуды механических колебаний пьезоэлемента. Это изменение может быть преобразовано в электрический сигнал, пропорциональный приложенному давлению.

Выходной электрический сигнал пьезоэлемента представляет собой амплитудно-модулированные колебания с несущей частотой, равной частоте

напряжения возбуждения или резонансной частоте пьезоэлемента и огибающей, форма которой соответствует изменению во времени приложенного давления (расхода), которое может быть и статическим.

Практически во всех известных расходомерах для коррекции показаний используются несколько первичных измерительных преобразователей параметров контролируемой среды (температура, вязкость, плотность) [1,3]. Поэтому и возникает задача создания такого измерительного преобразователя, который бы был многопараметрическим и мог бы использоваться в расходомерах с большим динамическим диапазоном.

Размещение преобразователей непосредственно на внешних стенках трубопроводов позволило упростить конструкцию расходомера, уменьшить инерционность и повысить точность измерения расхода. Температурная стабильность расходомера может обеспечиваться схемными методами, например, применением температурнозависимых сопротивлений.

Следует отметить, что величины погрешностей расходомеров переменного перепада давления зависят и от термодинамических параметров контролируемой среды, и в расходомерах проводятся усовершенствования как конструкций преобразователей давления, так и принимаются меры для уменьшения влияния температуры и давления в процессе измерений [4].

Эффективность этих измерений значительно повышается при использовании современных методов обработки информативных параметров сигналов и средств микропроцессорной техники. Появление интеллектуальных датчиков на основе микропроцессоров и постоянное улучшение технологии электронных сенсоров предопределили дальнейшее совершенствование датчиков давления и расхода.

Практически во всех известных расходомерах для коррекции показаний используются несколько первичных преобразователей параметров контролируемой среды (температуры, вязкости, плотности). Поэтому и возникает задача создания такого первичного преобразователя, который бы был многопараметрическим и мог бы использоваться в расходомерах с большим динамическим диапазоном.

Анализ литературных и патентных источников показывает, что в расходомерах жидких, да и газообразных сред наметились две тенденции:

- 1) концепция «простой системы», т.е. расходомер должен быть экономичным, надежным, работать без обслуживания, быть совместимым с агрессивными средами, прост в установке [4];

- 2) «интеллектуализация» датчиков давления и расхода, заключающаяся в том, что в конце 90-х годов появились промышленные образцы датчиков со встроенным микропроцессорным устройством обработки измерительной информации. В связи с этим стала возможной реализация новых методов обработки

сигналов. Ведущими производителями таких устройств стали фирмы Motorola, Fisher-Rosemount, Honeywell (США), Krohne (Германия), Alfa Laval (Швеция).

В зависимости от назначения и условий работы используются преобразователи давлений и расхода различных конструкций и размеров. Наиболее распространены преобразователи с чувствительными элементами в форме стержней, цилиндров, пластин или сфер, выполненных из пьезоэлектрической керамики.

Отметим, что измерения быстро переменных давлений жидких агрессивных и неагрессивных сред возможно только с использованием датчиков пьезоэлектрического принципа действия. Современные датчики обеспечивают контроль динамических давлений в диапазоне от 0,05...5,6 МПа до 0...30 МПа при статических давлениях от 2,8...63 МПа до 11...125 МПа с погрешностью от 4 до 10% и в полосе частот 2 Гц до 150 кГц. Диапазон рабочих температур неохлаждаемых датчиков от 70 до 973 К, охлаждаемых от 70 до 2773 К.

Поликристаллическая пьезоэлектрическая керамика (на основе титаната бария, цирконата титаната свинца) обладает множеством положительных качеств, если ее рассматривать как конструкционный материал. К числу этих качеств следует отнести в первую очередь простоту получения различных геометрических форм конструкций элементов. Это связано с тем, что поликристаллические элементы изготавливаются путем прессования и литья, также как это делается при изготовлении пластмассовых изделий. Кроме того, поликристаллическая керамика обладает высокой прочностью, она выдерживает давление до 2 тыс. атмосфер. Приборы из такой керамики обладают феноменальной стойкостью к действию температуры. Они легко выдерживают нагревание до 300 °С. Следует отметить, что отрицательные температуры только улучшают качество пьезоэлектрических преобразователей, вследствие чего они становятся незаменимыми в криогенной технике. Существует целый ряд важных свойств, которыми обладают эти уникальные вещества. Так, в первую очередь, керамические пьезоэлементы химически нейтральны: они не вступают в реакцию и не разрушаются никакими из известных химических реактивов. Эти качества делают их незаменимыми в нефтяной, химической, фармацевтической промышленности, а также медицинской технике.

Другим, не менее важным качеством поликристаллических пьезоэлектрических элементов является их высокая стойкость к действию магнитных полей, поскольку они являются прекрасными диэлектриками. И, что является несомненным достоинством керамических элементов - в процессе возбуждения в них прямого и обратного пьезоэлектрического эффекта они не генерируют своего собственного поля.

Устройства на основе пьезоэлементов вследствие универсальности их свойств и многообразия конструктивных решений являются оптимальными

преобразователями для контроля расхода и давления движущихся жидкостей. Исследования показывают, что пьезоэлемент может одновременно выполнять две функции: элемента, воспринимающего действие потока жидкости, расход которого измеряется, и электромеханического преобразователя [4,5].

Одной из наиболее перспективных конструкций пьезокерамических элементов, предназначенных для использования в приборостроении и автоматике, является биморфный пьезоэлемент - это конструкция, состоящая из двух тонких пьезокерамических пластин, которые путем склеивания, пайки или сварки жестко соединены между собой. Если такой элемент поместить в поток, то можно определить давление (расход) в потоке, измеряя напряжение на его электродах. Кроме того, можно измерять вязкость и температуру.

Выводы. На основе таких первичных преобразователей могут быть синтезированы различные устройства и механизмы, работающие в широком диапазоне частот.

Список литературы: 1. *Кремлевский П.П.* Измерение расхода и количества жидкости, газа и пара. – М.: Изд-во стандартов, 1990. –192 с. 2. *Башутин Ю.П.* Новая эра в измерении расхода по перепаду давления //Приборы и системы управления. – 1998. - №5.-с. 54-56. 3. *Морозов В.Б.* Сравнительные характеристики ультразвуковых расходомеров // Приборы и системы управления. – 1997. - №11. – с.19 –24. 4. *Джагутов Р.Г, Глазева О.В.* О возможностях применения пьезо-керамики для измерения расходов жидкости и газа. //Придніпровський науковий вісник, сер. Фізико-математичні науки, “Наука і освіта”. –1998. - № 6 (73).–с. 24 – 31. 5. *Мащенко Т.Г, Бондарь А.А.* – Автоматический контроль расхода движущихся жидкостей. Харьков: Вестник НТУ "ХПИ" №9. – 2006. – с. 89 - 94

Статья представлена д.т.н., проф. НТУ "ХПИ" Дербуновичем Л.В.

Поступила в редакцию 18.03.2010