

УСТРОЙСТВО С ОПТОВОЛОКОННЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ЖИДКОСТИ В НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ

В.Н. Астапов, А.А. Гашенко, Ю.В. Гашенко
(ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»)

В настоящее время актуальной является задача измерения плотности нефтепродуктов на стадиях добычи, переработки, транспортировки и реализации с целью контроля качества сырья и готовой продукции. Это позволяет сократить потери, повысить качество выпускаемой продукции в соответствии с международными стандартами. Для таких задач разработано большое число различных плотномеров. Но большинство из выпускаемых приборов для контроля плотности не удовлетворяет потребителя своими эксплуатационными характеристиками, так как требования к ним предъявляются очень высокие. Широкому промышленному использованию плотномеров препятствует их несовершенство, связанное с низкими метрологическими показателями, трудоемкостью монтажа и обслуживания, большими габаритами и массой, недостаточной надежностью и высокой стоимостью. Сформулированы основные проблемы, возникающие при измерении плотности искро-взрыво-пожароопасных жидкостей, а также описаны недостатки существующих методов измерения плотности жидких сред. Приведена функциональная схема предлагаемого буйкового плотномера с оптоволоконным преобразователем и волоконно-оптическими линиями связи, а также описан его принцип работы.

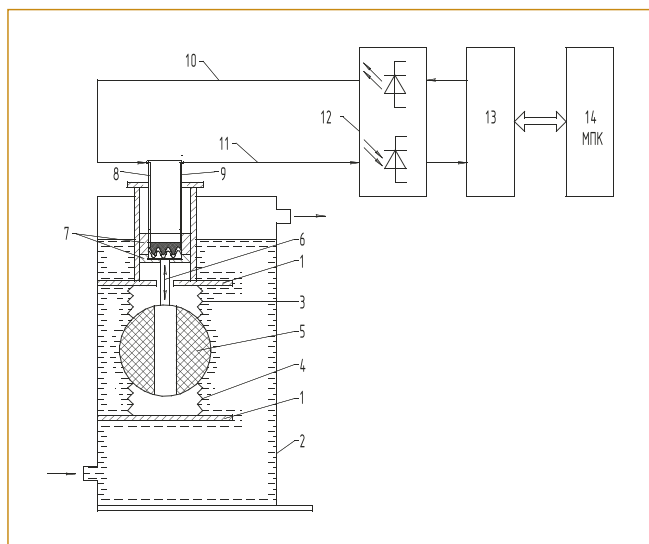
Ключевые слова: буйковый плотномер, сильфон, оптоволоконный кабель, оптоволоконный датчик перемещения, искроопасные вещества, плотность нефтепродуктов.

Введение

Искро-взрыво-пожаробезопасность измерения плотности жидкости в реальном времени технологического процесса на большинстве объектов нефтеперерабатывающей промышленности, а также при производстве спиртов, эфирных масел и других искроопасных веществ является сложнейшей технической задачей. Более того, на данных объектах имеется необходимость измерения плотности жидкости

с ограниченной погрешностью. Представленные на современном рынке датчики и системы измерения плотности нефтепродуктов, основанные на таких физических принципах, как поплавковый, ультразвуковой и др. требуют в конструкции изделия дополнительных систем и контуров защиты от случайного проскакивания искры, так как для преобразования измерительной информации используют электрические сигналы. К тому же ультразвуковые приборы имеют недостаточную точность по причине испарений и изменений атмосферы в емкости, а поплавковые дают большую погрешность при волнении жидкости в резервуарах в процессе перекачек [1].

Ставится задача создания систем измерения плотности жидкости, исключающих недостатки существующих средств измерения. Создание и внедрение на отечественных инженерно-технических объектах нефтегазодобывающей и нефтеперерабатывающей отраслей и др. волоконно-оптических систем измерения плотности жидкостных сред позволит решить эту задачу. Для обеспечения надежного и простого в эксплуатации искро-, взрывобезопасного устройства для измерения плотности жидкости в реальном времени технологического процесса предлагается использовать буйковый плотномер с оптоволоконным преобразователем и волоконно-оптическими линиями связи.



Устройство для измерения плотности жидкости с оптоволоконным преобразователем, где кронштейн; 2 – емкость; 3, 4 – сильфоны; 5 – поплавок; 6 – шток-толкатель; 7 – оптоволоконный преобразователь; 8, 9 – оптоволоконные кабели; 10 – подводящий оптический кабель; 11 – отводящий оптический кабель; 12 – приемопередатчик оптического сигнала; 13 – формирователь выходного и АЦП входного электрического сигнала; 14 – микропроцессорный контроллер.

Устройство плотномера с оптоволоконным преобразователем и волоконно-оптическими линиями связи

Устройство плотномера представлено функциональной схемой (рисунок). В проточной емкости, через которую протекает жидкость, плотность которой измеряется в реальном времени технологического процесса, устанавливается буйковый плотномер. Буй закрепляется между кронштейнами с помощью сильфонов.

К буйку прикреплен шток-толкатель, перемещающийся в вертикальном направлении в патрубке с закрепленным оптоволоконным преобразователем. Оптоволоконный преобразователь состоит из стальной армированной твердой резиной пластины и рифленой из мягкой резины пластины с пазом для укладки оптоволоконного кабеля датчика. Оптоволоконный кабель датчик через оптические разъемы и оптоволоконные кабели подключен с одной стороны к светоизлучающему диоду, который соединен с выходом формирователя электрического сигнала. С другой стороны оптоволоконный датчик через оптический разъем, и кабель связи подключен к фотоприемнику. Формирователь входного сигнала включает усилитель сигнала, детектор сигнала, аналого-цифровой преобразователь. Для регистрации сигнала и управление калибровкой устройства измерения плотности с оптоволоконным преобразователем служит микропроцессорный контроллер с алфавитно-цифровой индикацией [2].

Работа предлагаемого устройства осуществляется следующим образом. При заполнении емкости жидкостью, которая поступает через нижний входной патрубок и сливается через верхний выходной патрубок, под действием выталкивающей силы буйка через шток-толкатель перемещает армированную твердой резиной стальную пластину вверх. Последняя с учетом эластичности резиновой рифленой пластины выпрямляет (уменьшает изгибы) оптоволоконный кабель датчика в оптоволоконном преобразователе. Таким образом, в оптоволоконном преобразователе происходит изменение мощности оптического сигнала, пропускаемого через оптоволоконный кабель датчика при изменении его радиуса изгиба под действием давления штока-толкателя через пластину в плоскости изогнутого оптоволоконного датчика. В процессе измерения на выходе преобразователя происходит увеличение оптического сигнала при увеличении радиуса оптоволоконного кабеля датчика или затухание при уменьшении радиуса изгиба [3].

Данный преобразователь относится к амплитудным датчикам, в котором выполняются зависимости:

$$\begin{aligned} h &= f(\rho), \\ A &= f(h), \end{aligned}$$

где h - высота перемещения штока-толкателя, ρ - плотность жидкости, A - амплитуда выходного оптического сигнала.

Следовательно, плотность увеличивается, буйек поднимается вверх и, воздействуя на оптоволоконный кабель датчика, давлением пластины выпрямляет оптоволоконно. На выходе увеличивается амплитуда сигнала, пропорционально плотности жидкости и, наоборот, при уменьшении плотности, амплитуда уменьшается, соответственно $\rho = f(A)$.

При создании чувствительного элемента волоконно-оптического преобразователя (волоконно-оптического датчика) необходимо обеспечить чувствитель-

ность измерений $\frac{dA}{dP}$, диапазон изменения зависимости $A = f(P)$, где P - мощность оптического сигнала, A - амплитуда выходного сигнала преобразователя [4].

Под абсолютной чувствительностью волоконно-оптического датчика малых перемещений h принимаем изменение сигнала на приемном устройстве (в нашем случае, изменение напряжения) при перемещении штока-толкателя при изменении плотности жидкости $\frac{dU}{dh}$. При изменении плотности меняется функция интенсивности пропускания волоконно-оптического датчика:

$$I = \frac{P_{II}}{P_0},$$

где P_{II} - мощность, регистрируемая приемником; P_0 - мощность источника.

Изменение интенсивности пропускания датчика при перемещении штока-толкателя на величину dh называется относительной чувствительностью волоконно-оптического датчика и вычисляется по формуле:

$$\eta_{отн} = \frac{dP_{II}}{dh \cdot P_0},$$

Для предотвращения колебаний буйка от волнения жидкости, которое может возникнуть при каких-либо ударах, толчках, колебаниях емкости или под действием завихрений проходящей жидкости служат сильфоны, которые выполняют роль демпферов и способствуют уменьшению колебаний буйка, что значительно повышает точность измерения плотности жидкости. Перед началом работы устройство для измерения плотности жидкости калибруют. За первоначальную точку отсчета принимается плотность жидкости, равная $\rho = 1 \text{ г/см}^3$.

Рассчитав объем и вес буйка, получим заданную точность измерения плотности жидкости.

Для повышения точности включаем температурную компенсацию. При изменении температуры сильфоны, на которых подвешен буйек, расширяются и сужаются, что приводит к нелинейности функции преобразования. Компенсация влияния температуры осуществляется следующим способом. Коэффициенты температурного расширения верхнего и нижнего сильфонов подобраны таким образом, чтобы выполнялось равенство:

$$k_{\text{верх}} = -k_{\text{нижн}},$$

где $k_{\text{верх}}$ - коэффициент температурного расширения верхнего сильфона, $k_{\text{нижн}}$ - коэффициент температурного расширения нижнего сильфона.

Так как один из сильфонов имеет положительный коэффициент температурного расширения, а другой - отрицательный, тепловое расширение компенсируется. Однако при этом сильфоны смещают буйек на величину x :

$$x = k_t \Delta t,$$

где x – температурное смещение буйка, k_t – коэффициент температурного расширения сильфона, Δt – изменение температуры.

Величину температурного смещения буйка необходимо вычесть из результата измерения перемещения:

$$L_{пол} = L - x,$$

где $L_{пол}$ – величина полезного перемещения.

Абсолютная погрешность используемого датчика температуры составляет 1,5 °С, согласно [5]. Коэффициент температурного расширения сильфона $k_t = 0,211$ мкм/град. Тогда абсолютная погрешность определения температурного смещения составит $\Delta x = 0,211 \cdot 1,5 = 0,32$ мкм.

Абсолютная погрешность определения полезного перемещения определяется по формуле:

$$\Delta L_{пол} = \Delta L + \Delta x,$$

$$\Delta L_{пол} = 1 + 0,32 = 1,32 \text{ мкм.}$$

Диапазон перемещения буйка на сильфонах составляет 15 мм. В середине этого диапазона зависимость величины плотности измеряемой жидкости от величины перемещения можно считать линейной. Поэтому для получения плотности нужно метрическую величину перемещения умножить на коэффициент пропорциональности K :

$$\rho_t = L_{пол} \cdot K,$$

где ρ_t – плотность жидкости при температуре измерения, K – коэффициент пропорциональности.

В качестве оптоволоконного кабеля можно использовать многомодовое волокно с диаметром сердцевины 50 мкм и оболочки 125 мкм. Входные/выходные участки оптоволоконной связи помещают в бронированный микрокабель, на концах участков ввода/вывода излучения оптоволоконной системы установлены оптические разъемы.

...сейчас экономика больше опирается на науку и технологии. Практически нет никакой ценности ни в территориях, ни в границах.

Шимон Перес

Заключение

Таким образом, на основании анализа существующих средств контроля плотности жидкости был выбран метод измерения плотности с помощью полностью погружного поплавка (буйка), как наиболее точного метода измерения плотности. Для преобразования перемещения буйка под действием изменения плотности применили оптоволоконный датчик перемещения с волоконно-оптическими линиями связи.

Исключение электрических элементов в жидкостных средах обеспечивает искро-взрыво- пожаробезопасность измерения плотности жидких сред без необходимости дополнительных систем и контуров защиты. Разработанное устройство для измерения плотности жидкости предлагается использовать на предприятиях нефтедобывающего и нефтеперерабатывающего комплексов для контроля качества нефтепродуктов.

Список литературы

1. Гашенко Ю.В., Астапов В.Н. Аналитический обзор и исследование устройств и методов измерения плотности жидкости // Научное обозрение. Технические науки. 2019. №6. С. 21-27.
2. Устройство для измерения плотности жидкости с оптоволоконным преобразователем: пат. 196684 U1 Рос. Федерация. №2019136205/ Астапов В.Н, Гашенко Ю.В., Козлова И.Н.; заявл. 11.11.2019; опублик. 11.03.2020, Бюл. №8. 7 с.
3. Волоконно-оптические датчики: учебник / под ред. Э. Улда. Москва: Техносфера, 2008. 520 с.
4. Бусурин В.И., Носов Ю.Р. Волоконно-оптические датчики. Москва: Энергоатомиздат. 1990. 33 с.
5. Тойберт П. Оценка точности результатов измерений. Москва: Энергоатомиздат. 1988. 88 с.

*Астапов Владислав Николаевич – д-р техн. наук, проф.,
Гашенко Алексей Александрович – канд. техн. наук, доцент, Гашенко Юлия Валерьевна – аспирант
ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет».
Контактный телефон 8(846)279-03-54.
E-mail: asta-2009@mail.ru, juliasarbitova@gmail.com*

Оформить подписку на журнал "Автоматизация в промышленности" вы можете:

по электронному каталогу "Почта России" ФГУП Почта России - подписной индекс **П7753**

• сайт журнала <http://www.avtprom.ru> • Редакцию

Адрес редакции: 117997, Москва, ул. Профсоюзная, д. 65, офис 360 Тел.: (926)212-60-97. E-mail: info@avtprom.ru