

©Резниченко Н.К., Дубовец А.Н.

МЕТОДЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ВЕСОВЫХ ПЛОТНОМЕРОВ

1. Актуальность проблемы

Работоспособность и погрешность измерения весовых плотномеров зависит в основном от рациональности конструкции их чувствительных элементов, через которые непрерывно протекает исследуемая жидкая среда, так как другие элементы их конструкции (измерительные преобразователя, усилители, реверсивные двигателя, вторичные приборы и др.) являются унифицированными – широко используются в других средствах измерения.

Объем контролируемой среды в чувствительных элементах весовых плотномеров обеспечивается постоянным благодаря тому, что они выполняются в виде взвешиваемого участка трубопровода, через который непрерывно (и полностью заполняя его) движется контролируемая среда. Материал чувствительных элементов выбирается стойким к агрессивным и абразивным свойствам контролируемых сред, что обеспечивает практическую неизменность их внутреннего диаметра при использовании на средах, вызывающих коррозию металлов и их интенсивный износ.

2. Анализ исследований

Для весового метода измерения плотности характерны 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.) [1]. Кроме того, весовые плотноммеры обеспечивают

возможность прямого измерения плотности жидкой среды по изменению ее массы в зависимости от изменения плотности.

Действие весовых – массовых плотномеров основано на том, что вес жидкости при неизменном ее объеме прямо пропорционален плотности, т.е.

$$G = V\rho g, \quad (1)$$

где G – вес контролируемой среды в первичном преобразователе;

V – объем контролируемой среды в первичном преобразователе;

ρ – плотность контролируемой среды;

g – ускорение силы тяжести.

3. Основной материал

В настоящее время чувствительные элементы весовых плотномеров изготавливаются в виде прямолинейных и петлеобразных участков трубопроводов, которые при помощи эластичных вставок (манжет) крепятся к питающим-технологическим трубопроводам.

С целью выявления достоинств и недостатков чувствительных элементов весовых плотномеров, определения причин возникновения имеющихся недостатков и разработки методов их устранения были проведены стендовые испытания плотномеров с различными конструкциями чувствительных элементов.

В процессе исследования создавались жидкие среды, максимально копирующие свойства и содержание компонентов контролируемых сред, в том числе жидкие среды с твердыми включениями (пульпы, суспензии, шламы), содержащие инородные включения в виде ветоши, щепы, некондиционные по крупности твердые включения (и моделирующие условия эксплуатации плотномеров).

На рис. 1 показана упрощенная схема весового плотномера, с чувствительным элементом, выполненным в виде прямолинейного участка трубопровода 1, через который контролируемая среда непрерывно движется и свободно вытекает из него в технологический объект. Чувствительный элемент при помощи эластичной вставки (муфты) 2 крепится к неподвижному патрубку

3, который при помощи фланцевого соединения 4 подсоединяется к технологическому трубопроводу 5. С целью разгрузки эластичной вставки чувствительный элемент устанавливается при помощи фигурной оси 6 в подшипниках 7. Уравновешивание чувствительного элемента и настройка плотномера на заданный предел измерения осуществляется при помощи устройства, состоящего из оси 8, установленной в опоре 9, Г-образного рычага 10, закрепленного на оси 8, контргруза 11, перемещающегося (с возможностью закрепления) на горизонтальном участке рычага 10. Рычаг 10 соединен с неподвижной опорой 12 при помощи калиброванной пружины 13. На рычаге закреплен плунжер 14, свободно перемещающийся в неподвижной катушке 15, (плунжер и катушка являются элементами дифференциального преобразователя, выходной сигнал которого пропорционален плотности контролируемой среды, протекающей в чувствительном элементе 1 – прямолинейном участке трубопровода). При эксплуатации в промышленных условиях на пульпах и суспензиях чувствительный элемент устанавливается под углом 30 градусов к горизонту с целью исключения отложения частиц на его внутреннюю поверхность. Выходной сигнал дифференциального преобразователя поступает на вход вторичного прибора 16 со шкалой, проградуированной в единицах измерения плотности.

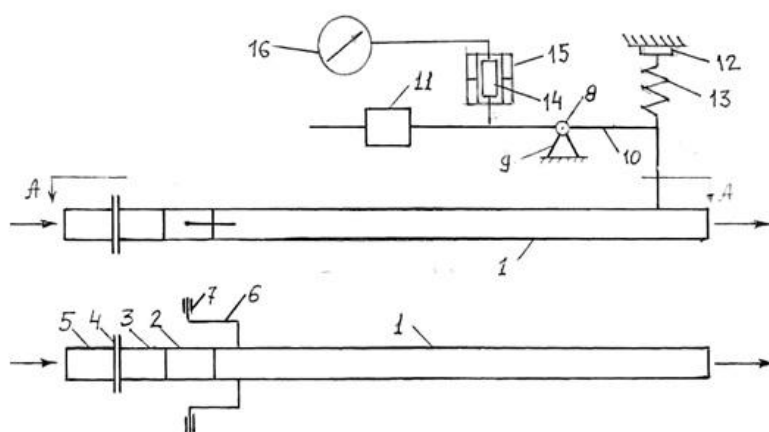


Рис. 1 – Упрощенная схема весового плотномера с чувствительным элементом, выполненным в виде прямолинейного участка трубопровода

Очевидным недостатком конструкция чувствительного элемента данного плотномера является необходимость разрыва потока (его можно использовать только в случае разгрузки контролируемой среды, вытекающей из чувствительного элемента, в технологический объект).

В процессе исследования было установлено, что данный чувствительный элемент реагирует на изменение скорости движения в нем контролируемой жидкой среды и, особенно, на знакопеременное изменение скорости. Это происходит в результате того, что при резких и знакопеременных изменениях скорости среды в чувствительном элементе аналогично изменяются дальность полета ее струи и реактивная сила, действующая на чувствительный элемент, которая имеет плечо относительно оси 6. Указанное приводит к раскачиванию чувствительного элемента и к возникновению дополнительных погрешностей в результатах измерения весового плотномера.

Следует отметить, что прямолинейный чувствительный элемент со свободным сливом при установке его под углом 30 градусов к горизонту практически не реагирует (при неизменной скорости движения в нем контролируемой среды) на наличие в ней щепы, обрывков ткани и негабаритных твердых включений с эквивалентным диаметром до 30 % от диаметра чувствительного элемента.

На рис. 2 приведена упрощенная схема весового плотномера с чувствительным элементом, имеющим петлеобразную форму [2]. Данный чувствительный элемент состоит из двух патрубков 1, 2 одинаковой длины и равного диаметра, соединенных коленом 3, выполненным в виде полуокружности. Патрубки 1, 2 при помощи эластичных вставок 4, 5 соединены с неподвижными патрубками 6, 7, а последние при помощи фланцев 8, 9 – с технологическим трубопроводом 10, из которого контролируемая среда поступает в чувствительный элемент. Патрубки 1, 2 (с целью разгрузки эластичных муфт) жестко закреплены на фигурной оси 11, установленной в подшипниках 12. Для уравнивания чувствительного элемента и настройки плотномера на заданный диапазон измерения используется компенсирующее

устройство, состоящее из рычага 13, установленного на оси 14, контргруза 15 и ленточной тяги 16.

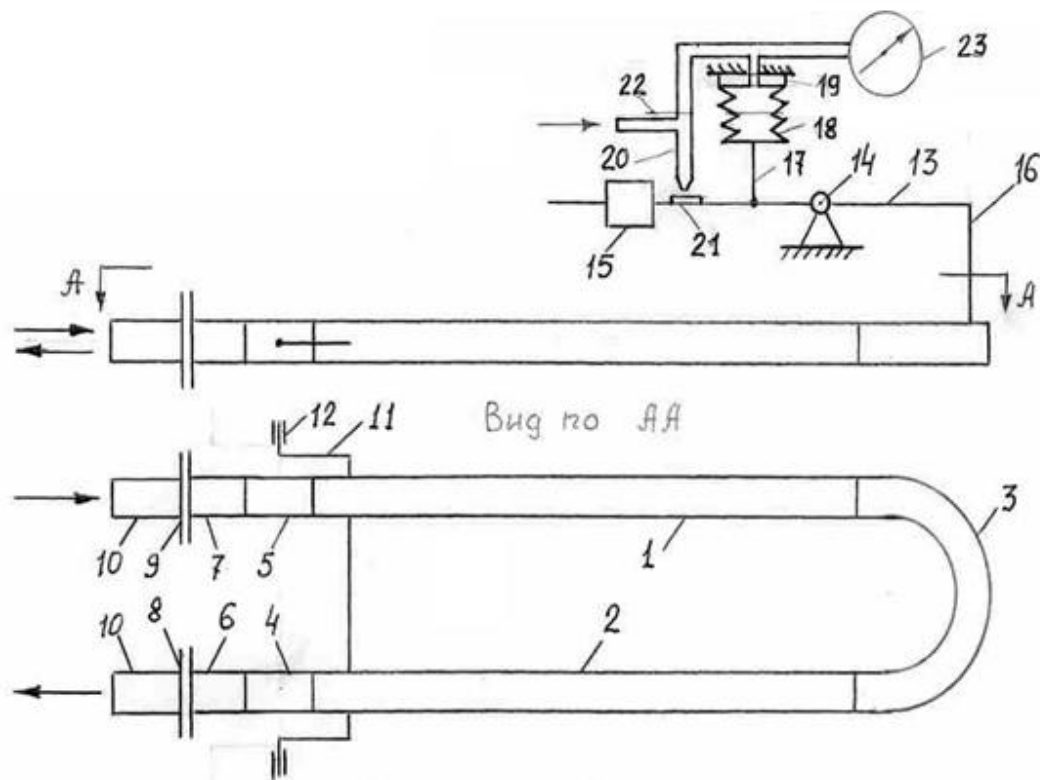


Рис. 2 – Упрощенная схема весового плотномера с чувствительным элементом, выполненным в виде петлеобразного участка трубопровода

В процессе исследования было установлено, что на участке чувствительного элемента, выполненном в виде полуокружности, могут задерживаться удлиненные включения (например, щепы) и крупные твердые негабариты размер которых составляет 20-30 % от диаметра чувствительного элемента. Выполнение данного участка съемным не решает проблемы, так как, во-первых, для его очистки необходимо прекращать подачу в чувствительный элемент контролируемой среды – прерывать контроль ее плотности и, во-вторых, до его отсоединения невозможно установить отсутствие или наличие в нем инородных предметов, что приводит к значительным дополнительным погрешностям в показаниях весового плотномера.

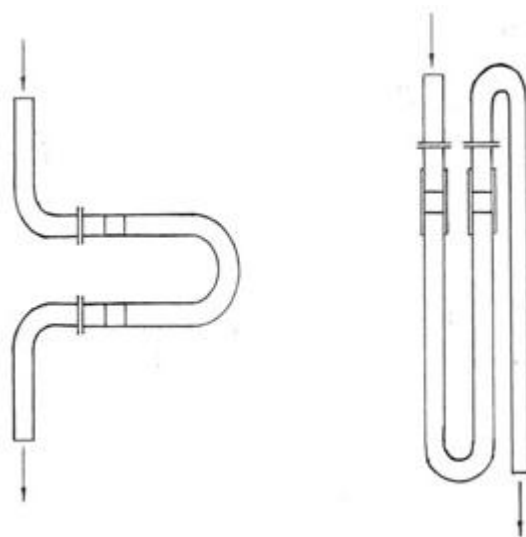


Рис. 3 – Схемы установки петлеобразного чувствительного элемента весового плотномера, обеспечивающие неизменность направления движения контролируемой среды

Попытки исключения одного из недостатков петлеобразного чувствительного элемента – изменения направленности движения в нем контролируемой среды привели к двум вариантам (рис 3). Однако и первый и второй варианты не обеспечили практически приемлемого результата. Как видно из рис. 3 они конструктивно сложны, создают дополнительные зоны, в которых могут задерживаться удлиненные твердые включения, существенно увеличивают габариты плотномера и усложняют его обслуживание.

Следует отметить, что в конструкции весового плотномера с петлеобразным чувствительным элементом для измерения в нем веса контролируемой среды используется пневматическая компенсационная система, состоящая (рис.2) из штока 17, сильфона 18, неподвижной опоры 19 сопла 20, заслонки 21, закрепленной на рычаге 13, питающего патрубка 22 и вторичного пневматического прибора 23. При помощи груза 15 измерительная система настраивается на начальную отметку шкалы прибора (минимальную плотность контролируемой среды), когда между соплом 20 и заслонкой 21 обеспечивается заданное (оптимальное) расстояние. При увеличении плотности контролируемой жидкой среды петлеобразный чувствительный элемент

смещается вниз, что приводит к сжатию сильфона, уменьшению зазора между соплом 20 и заслонкой 21 и к увеличению давления в сильфоне (и в измерительной системе). Увеличение давления происходит до тех пор, пока в процессе растяжения сильфона не обеспечится необходимое расстояние между соплом и заслонкой, при котором деформационные усилия сильфона уравнивают изменение веса контролируемой среды в чувствительном элементе, вызванное изменением ее плотности. Сигнал, пропорциональный давлению в измерительной системе, создающему компенсационное усилие, воспринимается вторичным прибором 23, шкала которого проградуирована в единицах измерения плотности. Следует отметить, что использование компенсационной схемы измерения в данной конструкции плотномера является его достоинством, так как она обеспечивает в момент измерения неизменность начального положения чувствительного элемента и минимизирует деформацию сильфона.

В процессе дальнейшего исследования определялась конструкция чувствительного элемента весового плотномера, обладающего достоинствами чувствительного элемента с петлеобразной формой, но не засоряющегося удлиненными инородными включениями. Графическое моделирование позволило установить, что указанным требованиям отвечает в значительной мере коромыслообразная форма чувствительного элемента весового плотномера, приближенная одновременно и к петлеобразной, и к прямолинейной формам (рис.4). Данная форма чувствительного элемента имеет ряд преимуществ по сравнению с петлеобразной:

- чувствительный элемент не изменяет направления движения контролируемой среды в процессе измерения;
- он не имеет зон выполненных в виде полуокружности, что исключает возможность «застревания» в нем инородных включений в виде щепы;
- может устанавливаться в разрыве трубопровода без изменения конфигурации последнего.

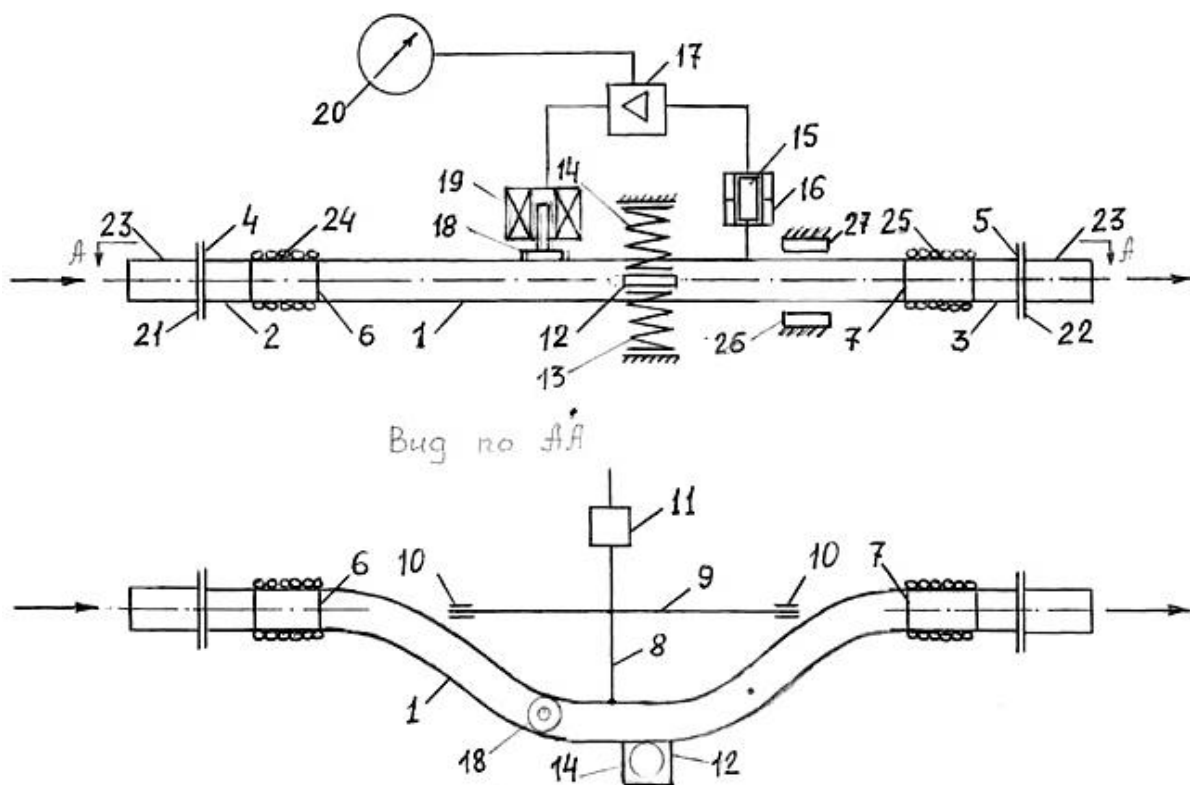


Рис. 4 – Упрощенная схема весового плотномера с чувствительным элементом, выполненным в виде коромыслообразного участка трубопровода

Кроме того, коромыслообразный чувствительный элемент (1) крепится на оси (9), установленной в подшипниках (10), являющейся продолжением оси технологического трубопровода 23. Такое крепление, с одной стороны, полностью разгружает эластичные муфты, исключая их прогиб под действием веса чувствительного элемента с контролируемой средой. С другой стороны, позволяет уравновесить чувствительный элемент при помощи груза 11, перемещающегося с возможностью закрепления в любом конкретном положении на рычаге 8, закрепленном одновременно и на чувствительном элементе 1, и на оси 9.

Весовой плотномер содержит подвижный коромыслообразный патрубок 1, неподвижные патрубки 2 и 3, на которых закреплены фланцы 4 и 5, эластичные муфты 6 и 7, соединяющие подвижный патрубок 1 с неподвижными патрубками 2,3, рычаг 8, жестко соединенный с подвижным патрубком 1 и с осью 9, установленной в подшипниках 10 (или на керновых

опорах), груз 11, перемещающийся и закрепляющийся в любом положении на рычаге 8, опорную пластину 12, жестко соединенную с подвижным патрубком 1, равноценные пружины 13, 14, установленные по разные стороны опорной пластины 12, дифтрансформаторный преобразователь, состоящий из плунжера 15, закрепленного на подвижном патрубке 1, и катушки 16, усилительно-преобразовательный блок 17, магнитоэлектрический силовой механизм, состоящий из сердечника 18 и электромагнита 19, вторичный прибор 20. Чувствительный элемент плотномера при помощи фланцев 21 и 22 устанавливается в разрыве технологического трубопровода 23, эластичные муфты 6, 7 армированы с внешней стороны (с целью минимизации толщины муфт, изменения их объема при изменении давления и улучшения качества деформационных свойств) спиралью 24, 25 из пружинной проволоки. Для минимизации отклонений от начального положения чувствительного элемента и деформационных нагрузок на муфты и спиральные элементы использованы ограничители хода 26 и 27.

Работа плотномера осуществляется следующим образом.

Через чувствительный элемент плотномера непрерывно движется (полностью заполняя его поперечное сечение) контролируемая жидкость. При помощи груза 11 измерительная и компенсационная система настраивается на значение плотности, равное начальной отметке шкалы вторичного прибора 20. При этом плунжер 15 находится на нейтрали катушки 16, пружины 13 и 14 равноценно нагружены, магнитоэлектрический силовой механизм не формирует тяговое усилие. Если плотность жидкости в проточной системе плотномера увеличивается, возрастает ее вес в подвижном патрубке 1, данный патрубок поворачивается на оси 9 и опирается на ограничитель хода 26. Вследствие этого растягивается пружина 14, сжимается пружина 13, плунжер 15 смещается с нейтрали катушки 16 вниз. В катушке образуется сигнал разбаланса, который после усиления в усилительно-преобразовательном блоке 17 увеличивает ток в катушках электромагнита 19 до тех пор, пока создаваемое электромагнитом усилие не уравновесит вес жидкости в подвижном патрубке.

При достижении равновесия плунжер 15 устанавливается на нейтрали катушки 16, вследствие чего ее выходной сигнал становится равным 0, выравнивается нагрузка на пружины 13 и 14. Одновременно усилительно-преобразовательный блок формирует выходной сигнал, пропорциональный тяговому усилию электромагнита. Данный сигнал поступает на вход вторичного прибора 20 со шкалой, проградуированной в единицах измерения плотности, что позволяет измерять текущее значение плотности контролируемой жидкой среды, протекающей через подвижный патрубок 1.

При уменьшении плотности жидкой среды в проточной системе плотномера плунжер 15 перемещается вверх, в катушке 16 возникает сигнал разбаланса противоположной фазы, вследствие чего все вышеописанные операции повторяются в обратном направлении до возвращения плунжера на нейтраль катушки.

Выводы

Эксперименты показали, что:

- армирование эластичных муфт, соединяющих подвижный и неподвижные патрубки чувствительного элемента весового плотномера, спиралью из пружинной стали позволяет максимально уменьшить толщину и жесткость муфт, в результате чего возрастает их чувствительность к изменению плотности контролируемой среды в подвижном патрубке;

- наличие у подвижного (коромыслообразного) патрубка прямолинейных участков, соосных с неподвижными патрубками чувствительного элемента исключает влияние колебаний давления в технологическом трубопроводе на результаты измерения, так как изменение объемов эластичных муфт не приводит к возникновению усилий, приводящих к перемещению подвижного патрубка;

- использование в качестве компенсирующего элемента плотномера преобразователя электрической аналоговой ветви с силовой компенсацией, реагирующего на перемещения подвижного патрубка в несколько мкм,

позволяет измерять плотность пульпы с погрешностью менее 1,5 % от диапазона шкалы;

– использование в конструкции весового плотномера ограничителей перемещения, минимизирующих смещение подвижного патрубка от его заданного условиями измерения положения пределами 1,5 мм, следует считать рациональным, так как при резких изменениях плотности (в экспериментах использовались ступенчатые возмущения до 30 %) подвижный патрубок минимально воздействует на пружины, что способствует увеличению долговечности их «метрологических» свойств»;

– при необходимости чувствительный элемент плотномера может быть установлена под углом до 30 градусов к горизонту с целью исключения отложения и закрепления на внутренней поверхности подвижного патрубка частиц твердой фазы (при использовании разработанного плотномера на пульпах, суспензиях, шламах).

Список используемых источников:

1. Кулаков М. В. Технологические измерения и приборы для химических производств / М. В. Кулаков. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983. – 424 с.
2. Зубков Г. А. Автоматизация процессов обогащения цветных металлов / Г. А. Зубков, В.Л. Забелин, Г. В. Корндясев [и др.]; под ред. Г. А. Зубкова. – М. : Недра, 1967. – 483 с.

Резниченко Н.К., Дубовец А.Н. «Методы совершенствования чувствительных элементов весовых плотномеров».

В статье рассмотрены вопросы совершенствования конструкции и повышение чувствительности весового плотномера.

Ключевые слова: измерения плотности жидкой среды, рациональность конструкции, контролируемая среда, промышленные условия,

дифтрансформаторний преобразователь, скорость движения, реактивная сила, погрешность, компенсационная схема.

Резніченко М.К., Дубовець О.М. «Методи вдосконалення чутливих елементів вагових щільномірів».

В статті розглянуті питання вдосконалення конструкції і підвищення чутливості вагового щільноміра.

Ключові слова: вимірювання щільності рідкого середовища, раціональність конструкції, контрольована середа, промислові умови, дифтрансформаторний перетворювач, швидкість руху, реактивна сила, похибка, компенсаційна схема.

Reznichenko N.K., Dubovets A.N. "Methods of improving the sensitive elements of the weighted density meters."

The article considers the issues of improving the design and increase the sensitivity of the weighted density meter.

Key words: measure the density of the liquid medium, rational construction, controlled environment, industry conditions, differentially transformer converter, speed, reactive power, the error compensation scheme.

Стаття надійшла до редакції 20 жовтня 2010 р.