

*А.Н. ДУБОВЕЦ*, канд. техн. наук, доц., УИПА, Харьков,  
*И.И. ЛИТВИНЕНКО*, канд. техн. наук, проф., НТУ "ХПИ",  
*И.Г. ЛЫСАЧЕНКО*, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ",  
*В.В. МОХОНЬКО*, студент, НТУ "ХПИ"

## **ВАРИАНТЫ МОДЕРНИЗАЦИИ МЕМБРАННОГО ПЛОТНОМЕРА**

В статье рассмотрены варианты модернизации мембранного плотномера, проанализированы его недостатки и предложены возможности и средства их устранения. Разработана новая конструкция мембранного плотномера, в которой предполагается применять способ компенсации.

**Ключевые слова:** мембрана, плотномер, компенсация, чувствительность, эластичность, метрология, минимизация, модернизация, среда, суспензия, шлам.

Мембранные плотномеры по сравнению с другими плотномерами, например пьезометрическими и гидростатическими, реализующими в процессе функционирования закон Паскаля, положительно отличаются тем, что исключают в процессе измерения подачу в контролируемую жидкую среду воздуха или воды. Указанное достигается за счет того, что мембрана является одновременно и чувствительным элементом, по величине прогиба которого судят о плотности контролируемой среды, и разделительным устройством, которое исключает контакт последующих элементов измерительной системы со средой, исключая агрессивное и абразивное влияние среды на их метрологические характеристики.

Недостатками мембранных плотномеров до настоящего времени считались (и продолжают считаться):

- изменение метрологических характеристик в результате старения мембраны – ее эластичности вследствие воздействия на поверхность мембраны физических свойств контролируемой среды и постоянного знакопеременного ее прогиба под действием изменяющейся плотности;

- возможность разрушения мембраны при резких изменениях давления, имеющих место при аварийных ситуациях;

наличие в плотномерах, реализующих компенсационные схемы, контакта жидкости (воды или масла) с элементами измерительной системы, что, во-первых, существенно усложняет конструкцию плотномера и, во-вторых,

© *А.Н. Дубовец, И.И. Литвиненко, И.Г. Лысаченко, В.В. Мохонько*, 2012

- требует решения вопроса о защите указанных элементов от воздействия жидкости, особенно воды.

Именно перечисленные недостатки привели к тому, что область использования мембранных плотномеров существенно сократилась, и они в настоящее время достаточно редко применяются для измерения плотности в промышленных условиях.

Достоинствами мембранных плотномеров, имеющих место благодаря использованию мембраны, являются:

- более высокая чувствительность к изменению плотности контролируемой жидкой среды, которая может увеличиваться до заданного предела посредством увеличения площади мембраны;

- исключение засорения чувствительного элемента (как в случае пьезометрических трубок, засоряемых твердой фазой жидких сред при измерении плотности пульп, суспензий, шламов).

Следует отметить, что в настоящее время имеются возможности и средства для устранения вышеназванных недостатков:

- создаются и широко используются эластичные материалы, эффективно функционирующие при контактах с агрессивными и абразивными жидкими средами и не теряющими эластичности - упругости в процессе эксплуатации;

- могут применяться металлические мембраны, например, из титана или мембраны из высококачественной резины с защитной пленкой, использование которых практически исключает отрицательное воздействие на мембраны агрессивных и абразивных свойств контролируемых жидких сред;

- изменение «метрологических характеристик» мембраны, как показывает практика, предельно минимизируется в случае создания условий, при которых прогиб мембраны на много меньше воздействующего на нее давления, что обеспечивается использованием компенсационных схем измерения.

В процессе разработки мембранного плотномера, исключающего известные недостатки существующих плотномеров подобных конструкций и использующего их достоинства, решались три задачи:

1) максимальное упрощение измерительной схемы;

2) обеспечение компенсационного воздействия на мембрану, позволяющего предельно минимизировать ее отклонение под действием изменения плотности от заданного измерительной схемой положения;

3) обеспечение компенсации давления контролируемой жидкости на

мембрану при помощи среды.

Предполагалось:

- упрощение измерительной схемы обеспечить посредством разгрузки мембраны от элементов, отслеживающих ее положение и непосредственно закрепленных на ее поверхности;

- использовать для формирования компенсирующего воздействия или устройства, выполненные по принципу преобразователей электрической аналоговой ветви с силовой компенсацией, или подобные пневматические преобразователи, так как они обеспечивают возможность определения отклонений мембраны от заданного положения, соизмеримые с порогом ее чувствительности;

- применить для компенсации усилий контролируемой среды на мембрану сухой воздух, используемый в системах пневматического контроля и регулирования.

В процессе проведения экспериментальных исследований было установлено, что существующие схемы компенсации осуществляют возвращение мембраны в заданное измерительной системой положение посредством воздействия на ее жесткий центр. Однако подобное решение не является идеальным так как, мембрана в этом случае реагирует на изменение давления контролируемой жидкости поверхностью, обладающей упругими свойствами, т.е. кольцеобразной поверхностью, которая находится за пределами жесткого центра. Кроме того, установка жесткого центра не позволяет отслеживать перемещение при изменении плотности контролируемой жидкости естественного центра мембраны, который под действием изменения плотности жидкости прогибается на большую величину. Очевидно, что подобное конструктивное решение уменьшает чувствительность мембраны к изменению плотности контролируемой среды, а для повышения чувствительности мембраны к изменению плотности контролируемой жидкости следует или вообще исключить жесткий центр, или выполнить его много меньшим по сравнению с общей площадью мембраны.

С учетом указанной информации создавалась конструкция мембранного плотномера, в которой предполагалось применять способ компенсации, обеспечивающий одновременное воздействие на большую часть поверхности мембраны, при максимальном уменьшении площади жесткого центра и обязательном исключении в процессе создания компенсационного усилия жидкости.

Схема предлагаемого мембранного плотномера представлена на рис. 1, на рис. 2 показано взаиморасположение трубчатого отвода пружины и мембраны с жестким центром в измерительной камере.

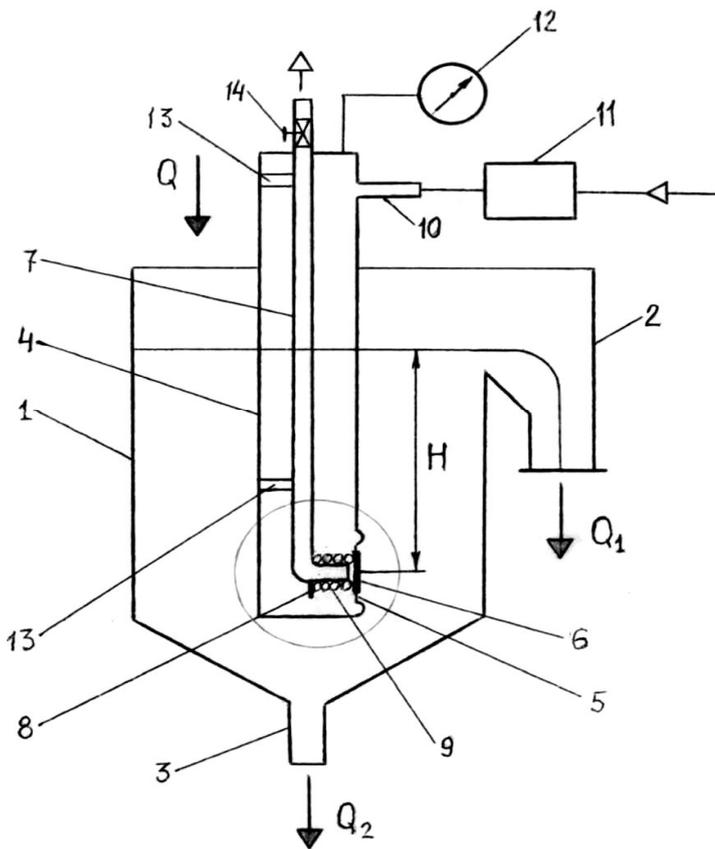


Рис. 1 – Схема мембранного плотномера

12 со шкалой, проградуированной в единицах измерения плотности. При этом: изогнутый под углом  $90^\circ$  нижний конец трубчатого отвода 7 расположен соосно с центром мембраны 5 на расстоянии  $\pi$  от жесткого центра 6;

трубчатый отвод закреплен внутри измерительной камеры в заданном положении при помощи кронштейнов 13; калиброванная пружина 9 установлена между ограничителем 8 и жестким центром 6 мембраны, а трубчатый отвод 7 снабжен регулирующим вентилем 14.

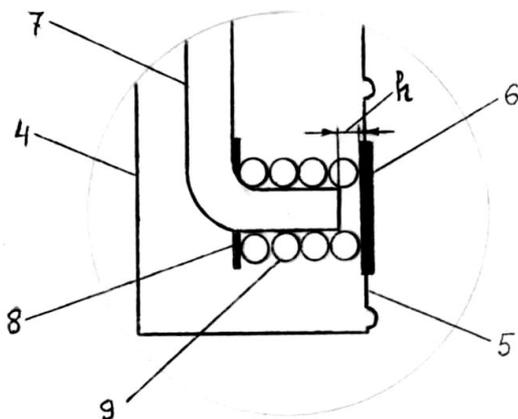


Рис. 2 – Измерительная камера

Мембранный плотномер содержит приемную емкость 1 с переливным устройством 2 и разгрузочным патрубком 3, измерительную камеру в виде прямоугольного параллелепипеда 4 с квадратным поперечным сечением, в стенку которого в нижней части вмонтирована мембрана 5 с жестким центром 6, а внутри установлены трубчатый отвод 7, нижний конец которого изогнут под углом  $90^\circ$ , ограничитель 8 и калиброванную пружину 9, питающий патрубок 10, закрепленный на корпусе измерительной камеры, блок регулирования расхода и давления 11 и вторичный прибор

Внутреннее пространство измерительной камеры 4 после установки всех ее элементов герметизировано. Измери-

тельная камера установлена в приемной емкости 1 таким образом, чтобы при заполнении емкости жидкой средой центр мембраны 5 находился на заданной глубине  $H$ .

Работа мембранного плотномера осуществляется следующим образом.

В приемную емкость 1 подается непрерывно количество контролируемой жидкой среды  $Q$ , (15-20)% которой уходит через переливное устройство 2, (80-85)% - через разгрузочный патрубок 3. Вследствие этого, в емкости поддерживается постоянный уровень среды, при котором центр мембраны находится на глубине  $H$ .

В соответствии с законом Паскаля контролируемая жидкая среда оказывает на мембрану давление

$$\rho = HS\rho g \quad (1)$$

где  $H$  – глубина погружения центра мембраны в жидкую среду;  $S$  – площадь мембраны;  $\rho$  – плотность контролируемой жидкой среды;  $g$  – ускорение свободного падения.

Из формулы (1) следует, что

$$\rho = P/HSg = P/m \quad (2)$$

где  $m = 1/HSg = const$ , так как  $H$ ,  $S$ ,  $g$  имеют постоянные значения, что позволяет, используя для измерения давления дифференциальный манометр 12 и проградуировав его шкалу в единицах измерения плотности, осуществлять непрерывный контроль плотности контролируемой жидкой среды.

При погружении центра мембраны 5 на глубину  $H$  давление, действующее на ее поверхность, перемещает мембрану к трубчатому отводу 7, что приводит к некоторому сжатию пружины 9 и уменьшению ширины кольцевого зазора  $p$  между трубчатым отводом и жестким центром 6 мембраны.

В измерительную камеру 4 через питающий патрубок 10 подается (при помощи блока регулирования 11) заданное количество воздуха при заданном его давлении. Воздух проходит через кольцевую щель между нижним концом трубчатого отвода 7 и жестким центром 6 мембраны. Вследствие этого на мембрану с противоположных сторон действуют два давления: столба

контролируемой жидкой среды высотой  $H$  – справа и давления воздуха в измерительной камере – слева. Их равновесие определяется равенством

$$P_B S = HS\rho g \quad (3)$$

где  $P_B$  – давление воздуха в измерительной камере.

Давление воздуха, поступающего в измерительную камеру из блока регулирования – стабилизации расхода и давления 11 выбирается больше максимального давления на мембрану столба контролируемой жидкости при максимальной ее плотности. Вследствие этого при увеличении плотности контролируемой среды мембрана 5 прогибается, сжимая жестким центром 6 пружину 9 в направлении справа налево, что приводит к уменьшению ширины кольцевой щели между трубчатым отводом 7 и жестким центром мембраны. В результате уменьшается расход воздуха через кольцевую щель и повышается давление воздуха в измерительной камере.

Указанное происходит до тех пор, пока давление в камере не повысится до предела, когда будет выполняться равенство (3). Данное равенство выполняется в случае, когда повышающееся при увеличении плотности контролируемой среды давление в измерительной камере 4, воздействуя на мембрану 5, не отодвинет ее жесткий центр 6 от конца трубчатого отвода 7, что приводит к увеличению ширины кольцевой щели на величину, при которой количество воздуха, поступающего в измерительную камеру и уходящего из нее через трубчатый отвод, не станут равными. Но каждому равновесному состоянию (3) будет соответствовать обязательно конкретное давление воздуха в измерительной камере 4, значение которого пропорционально плотности контролируемой жидкой среды.

Следует отметить, что при восстановлении равенства 3 давление внутри измерительной камеры действует в равной степени и на мембрану, и на ее жесткий центр, так как сжатый воздух свободно проходит через зазоры в витках калиброванной пружины 9. При внутреннем диаметре трубчатого отвода 8 мм диаметр жесткого центра мембраны не превышает 16 мм, что составляет при диаметре мембраны 80 мм 0,05 ее площади.

Поэтому предлагаемая конструкция мембранного плотномера:

1) не нагружает жесткий центр мембраны установкой на нем отдельных элементов измерительной системы;

2) не уменьшает ее чувствительность мембраны к изменению плотности контролируемой жидкой среды, так как площадь жесткого центра занимает незначительную часть площади мембраны;

3) в равновесном состоянии на мембрану и ее жесткий центр оказываются с противоположных сторон равновеликие, равномерно распределенные по их площади давления контролируемой среды и сжатого воздуха.

Давление в измерительной камере воспринимается вторичным прибором 12, шкала которого проградуирована в единицах измерения плотности ( $\text{кг/м}^3$ ).

Вторичный прибор – дифференциальный манометр 12, измеряющий плотность контролируемой среды, может быть выбран в соответствии с требуемыми функциями (показывающий, регистрирующий, сигнализирующий, регулирующий).

Представляет интерес использование отводного патрубка 7 и в качестве «сопла», и в качестве отвода из измерительной камеры сжатого воздуха.

В рассматриваемом чае количество воздуха, уходящего из камеры, можно регулировать вентилем 14, установленном на отводном патрубке.

Возможен также вариант, когда вентилем 14 будет управлять блок питания 11 измерительной системы.

По сравнению с известными предлагаемый мембранный плотномер имеет следующие достоинства:

1) простота конструкции;

2) максимальное использование площади мембраны при компенсации давления на ее поверхность контролируемой жидкой среды;

3) исключение отрицательного влияния на долговечность мембраны среды, используемой для создания компенсационного воздействия.

## **Выводы.**

1. Использование противодействия на мембрану, создаваемое воздухом и отводной трубки, выполняющей одновременно и функции сопла и отвода воздуха из измерительной камеры, позволяет предельно разгрузить мембрану и осуществлять компенсацию посредством оказания давления на всю ее площадь.

2. Замена резиновой мембраны на металлическую гофрированную (что осуществлялось в процессе эксперимента) не снижает порога чувствительности плотномера к изменению плотности контролируемой среды.

3. Дальнейшую модернизацию мембранного плотномера рационально продолжать в направлении минимизации зависимости результатов измерения от колебаний уровня среды.

**Список литературы:** 1. *Зубков Г.А.* Автоматизация процессов обогащения цветных металлов / [Г.А. Зубков, В.Л. Забелин, К.Д. Корендясов и др.]. – М.: Недра, 1967. – 417 с. 2. *Фарзани Н.Г.* Технологические измерения и приборы / Н.Г. Фарзани, Л.В. Илясов, А.Ю. Азим-заде. – М.: Высшая школа, 1989. – 456 с. 3. *Кулаков М.В.* Технологические измерения и приборы для химических производств / М.В. Кулаков. – М.: Машиностроение, 1983. – 424 с.

*Поступила в редколлегию 19.10.12*

УДК 66.02

**Варианты модернизации мембранного плотномера / А.Н. ДУБОВЕЦ, И.И. ЛИТВИНЕНКО, И.Г. ЛЫСАЧЕНКО, В.В. МОХОНЬКО** // Вісник НТУ «ХПІ». – 2012. – № 63 (969). – (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 39 – 46. – Бібліогр.: 3 назв.

У статті розглянуті варіанти модернізації мембранного щільноміра, проаналізовано його недоліки та запропоновано можливості і засоби їх усунення. Розроблено нову конструкцію мембранного щільноміра, в якій передбачається застосовувати спосіб компенсації.

**Ключові слова:** мембрана, щільномір, компенсація, чутливість, еластичність, метрологія, мінімізація, модернізація, навколишнє середовище, суспензія, шлам.

The paper considers options for the modernization of the membrane densitometer, analyzed its shortcomings and propose ways and means to address them. A new design of membrane-densitometer, which is supposed to apply the method of compensation.

**Keywords:** membrane, densitometer, compensation, sensitivity, flexibility, metrology, minimization, modernization, environment, slurry, sludge.