

Средства технологических измерений плотности жидкостей (плотномеры)

Плотность – это масса единицы объема, измеряется в кг/м³:

$$D(\rho) = m/V$$

$$\text{Dim}[D] = M \cdot L^{-3}$$

Классификация по принципу действия

- 1. Поплавковые плотномеры;**
- 2. Весовые;**
- 3. Гидростатические;**
- 4. Радиоизотопные;**
- 5. Вибрационные**

Поплавковые плотномеры (ареометры)

Принцип действия основан на законе Архимеда: на тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила, которая равна весу вытесненной жидкости.

Математическая модель измерения:

$$F_A = \rho g S x,$$

F_A – сила Архимеда, x - глубина погружения поплавка, ρ - плотность жидкости, g –ускорение свободного падения, S – площадь сечения поплавка.

$$\rho = F_A / g S x = A(1/x),$$

Принцип действия ПП основан на зависимости глубины погружения поплавка от плотности жидкости

Портативный поплавковый погружной плотномер DM-230.1A (фирма Lemis. Латвия)

- диапазон рабочих температур (-40...+85°С);
 - * Компактный, портативный и эргономичный;
 - * Ударостойкий;
 - * Измерения нефти и других вязких продуктов;
 - * Автоматическая температурная коррекция;
 - * диапазон 0.65 - 1.1 г/см³;





Весовые плотномеры

Принцип действия основан зависимости веса сенсора от плотности протекающей жидкости

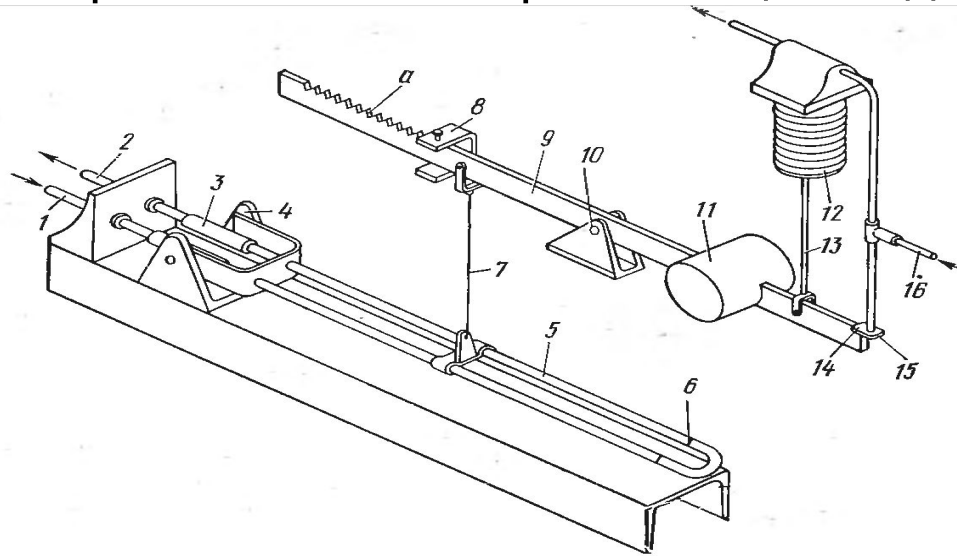


Рис. 32.4. Схема весового плотномера с пневматическим преобразователем

Исследуемая жидкость поступает в прибор по трубе 1 и выходит по трубе 2. Входная и выходная трубы гибкими резиновыми патрубками или металлическими сильфонами 3 соединены с петлеобразной трубой 5. Для чистки петли предусмотрено съемное колено 6. Петлеобразная труба укреплена в вилке, которая может свободно поворачиваться на оси скобы 4. Тягой 7 петля соединена с рычагом 9, который поворачивается на оси 10. На правом плече рычага помещены противовес 11 (уравновешивающий систему, когда петля заполнена жидкостью с начальной плотностью) и тяга 13, связанная с сильфоном обратной связи 12 пневматического преобразователя. Устройство и принцип действия пневматического преобразователя аналогичны показанным на рис. 10.3.

При увеличении плотности возрастает масса петли, рычаг 9

$$p = \rho g H, \quad (32.5)$$

где ρ — плотность жидкости; g — ускорение свободного падения.

Из формулы (32.5) следует, что давление столба жидкости постоянной высоты H является мерой плотности жидкости.

В плотномерах этого типа давление столба жидкости обычно измеряют косвенно непрерывным продуванием через жидкость инертного газа (воздуха), давление которого пропорционально давлению столба жидкости (пьезометрические плотномеры). Такой метод измерения давления столба жидкости позволяет легко передавать показания на расстояние. Инертный газ выбирают в зависимости от свойств жидкости, плотность которой измеряют.

Расход продуваемого инертного газа должен быть небольшим и постоянным, так как колебания расхода могут вызвать дополнительную погрешность измерения.

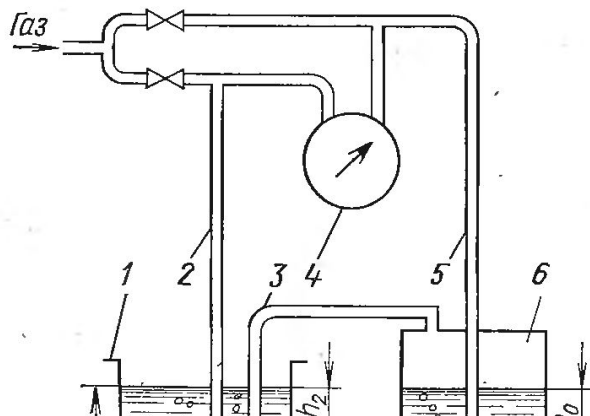
Обычно измеряют разность давлений двух столбов жидкости разной высоты (дифференциальный метод). Это позволяет исключить влияние на точность измерения колебаний уровня исследуемой жидкости. Из формулы (32.5)

$$p_1 - p_2 = \rho g (H_1 - H_2) \quad (32.6)$$

$$\text{или } \Delta p = \rho g \Delta H,$$

где p_1 и p_2 — давление столбов жидкости; H_1 и H_2 — высота соответствующих столбов жидкости.

В пьезометрическом дифференциальном двухжидкостном плотномере с непрерывной продувкой инертного газа (рис. 32.5) исследуемая жидкость непрерывно протекает через сосуд 1,



в котором поддерживается постоянный уровень. Сосуд 6 постоянного уровня заполнен эталонной (сравнительной) жидкостью с известной плотностью. Инертный газ по трубке 2 проходит через слой исследуемой жидкости постоянной высоты и выходит из прибора. Тот же инертный газ по трубке 5 проходит через слой постоян-

Математическая модель весового плотномера

В точке x действует сила

$$F = G_{\text{т}} + G_{\text{ж}} + \Delta G - G_{\text{г}} \frac{q}{n},$$

где $G_{\text{т}}$ — сила тяжести пустой трубы; $G_{\text{ж}}$ — сила тяжести жидкости в трубе при минимальной плотности; ΔG — изменение силы тяжести контролируемой жидкости в трубе; $G_{\text{г}}$ — приведенная к точке x сила тяжести груза.

Условие равновесия системы относительно положения опорной призмы b (точка x_1) без учета упругих элементов определяется выражением

$$(G_{\text{т}} + G_{\text{ж}} + \Delta G - G_{\text{г}}q/n) \frac{L_{\text{ц}}}{l-a} = G_0 \frac{b}{a}, \quad (32.3)$$

где a — расстояние от опоры 7 до точки x_1 ; b — расстояние от центра подвижной катушки электрического силового преобразователя до центра 7 ; G_0 — изменение компенсационного усилия, создаваемого преобразователем.

При $G_{\text{т}} + G_{\text{ж}} = G_{\text{г}}q/n$ (настройка начала шкалы) выражение (32.3) примет вид

$$GL_{\text{ц}}/(l-a) = G_0b/a. \quad (32.4)$$

Изменение силы тяжести жидкости в трубе

$$\Delta G = 0,25\pi d^2 (\pi R + 2L) (\rho - \rho_0) g,$$

где d — внутренний диаметр трубы; R — радиус изгиба трубы; ρ_0 — начальное значение плотности жидкости; ρ — текущее значение плотности жидкости.

Компенсационное усилие

$$F_0 = 0,102\pi D_{\text{ср}}\omega B I_{\text{вых}},$$

где $D_{\text{ср}}$ — средний диаметр подвижной катушки преобразователя; ω — число витков катушки; B — магнитная индукция в воздушном зазоре преобразователя; $I_{\text{вых}}$ — сила выходного тока катушки.

Выходной ток $I_{\text{вых}}$ создает на постоянном резисторе падение напряжения, пропорциональное измеряемой плотности жидкости и регистрируемое вторичным прибором (электронный автоматический потенциометр) $U_{\text{вых}} = I_{\text{вых}}R$. Диапазон измерения плотности $1-2,5$ г/см³, диапазон изменения температуры жидкости $5-80$ °С.

В качестве примера на рис. 32.4 показан весовой плотномер с пневматическим преобразователем.

§ 32.3. ГИДРОСТАТИЧЕСКИЕ ПЛОТНОМЕРЫ

Принцип действия гидростатических плотномеров основан на том, что давление p в жидкости на расстоянии H от ее поверхности определяется выражением

$$p = \rho g H, \quad (32.5)$$

где ρ — плотность жидкости; g — ускорение свободного падения.

Из формулы (32.5) следует, что давление столба жидкости постоянной высоты H является мерой плотности жидкости.

В плотномерах этого типа давление столба жидкости обычно измеряют косвенно непрерывным продуванием через жидкость инертного газа (воздуха), давление которого пропорционально давлению столба жидкости (пьезометрические плотномеры). Такой метод измерения давления столба жидкости позволяет легко передавать показания на расстояние. Инертный газ выбирают в зависимости от свойств жидкости, плотность которой измеряют.

Расход продуваемого инертного газа должен быть небольшим и постоянным, так как колебания расхода могут вызвать дополнительную погрешность измерения.

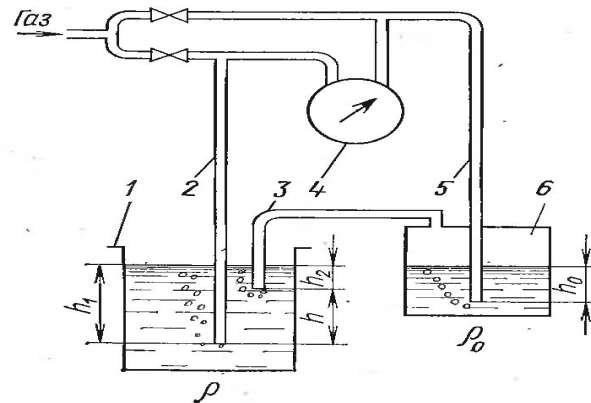
Обычно измеряют разность давлений двух столбов жидкости разной высоты (дифференциальный метод). Это позволяет исключить влияние на точность измерения колебаний уровня исследуемой жидкости. Из формулы (32.5)

$$p_1 - p_2 = \rho g (H_1 - H_2) \quad (32.6)$$

$$\text{или } \Delta p = \rho g \Delta H,$$

где p_1 и p_2 — давление столбов жидкости; H_1 и H_2 — высота соответствующих столбов жидкости.

В пьезометрическом дифференциальном двухжидкостном плотномере с непрерывной продувкой инертного газа (рис. 32.5) исследуемая жидкость непрерывно протекает через сосуд 1,



в котором поддерживается постоянный уровень. Сосуд 6 постоянного уровня заполнен эталонной (сравнительной) жидкостью с известной плотностью. Инертный газ по трубке 2 проходит через слой исследуемой жидкости постоянной высоты и выходит из прибора. Тот же инертный газ по трубке 5 проходит через слой постоян-

Рис. 32.5. Схема пьезометрического дифференциального плотнера с непрерывной продувкой газа

Радиоизотопные плотномеры

Рис. 32.8. Схема расположения источника и приемника излучения в радиоизотопных плотномерах

Радиоизотопный метод позволяет также определять содержание твердой фазы в жидкости. В этом случае γ -излучение ослабляется жидкостью, стенками трубы и твердыми частицами, которые в общем случае могут иметь различный минералогический состав. С учетом этих факторов поглощения выражение (32.8) можно записать в виде

$$J = J_0 e^{-\mu_{\Sigma} d - 2\mu_c \delta},$$

где μ_c — линейный коэффициент ослабления γ -лучей материалом стенок трубы; δ — толщина стенки трубы; d — внутренний диаметр трубы; μ_{Σ} — суммарный коэффициент ослабления γ -лучей жидкостью и твердыми частицами.

Коэффициент μ_{Σ} можно представить в виде

$$\mu_{\Sigma} = C_{ж} \mu_{ж} / \rho_{ж} + \sum (C_i \mu_i / \rho_i);$$

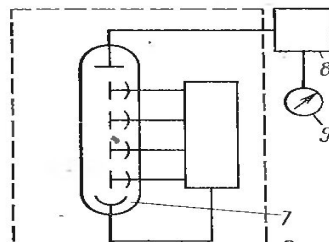
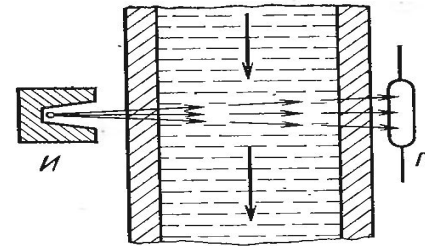
здесь $\mu_{ж}$ — линейный коэффициент ослабления γ -лучей жидкостью; μ_i — коэффициент ослабления γ -лучей твердыми частицами; $\rho_{ж}$ и ρ_i — плотность жидкой и твердой фаз суспензии; $C_{ж}$ и C_i — массовая концентрация жидкой и твердой фаз суспензии.

Если пренебречь неоднородностью минералогического состава твердой фазы суспензии, то линейный коэффициент ослабления можно выразить через массовую концентрацию твердых частиц:

$$\mu_{\Sigma} = \mu_{ж} \left(1 + C \frac{\mu_t - \mu_{ж}}{\mu_{ж}} \right) / \left(1 - C \frac{\rho_t - \rho_{ж}}{\rho_t} \right),$$

где μ_t и ρ_t — линейный коэффициент ослабления γ -лучей и плотность твердой фазы.

При выборе радиоактивного источника, обладающего максимальной энергией, учитывают также период его полураспада. Наиболее полно удовлетворяют указанным требованиям источ-

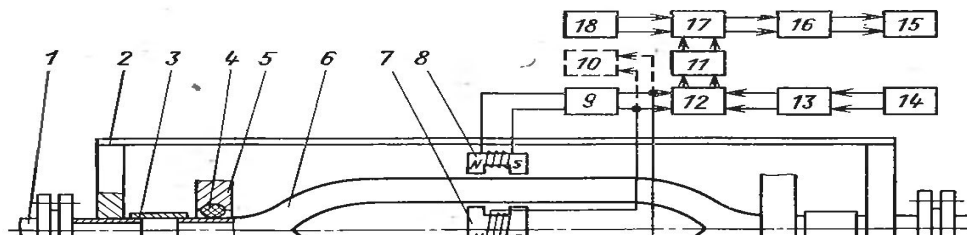


Вибрационные плотномеры

возможности прибора в целом. Резонатор отделен от опор 5 резиновыми манжетами 4, а жидкость подводится к нему по эластичным элементам 3, которые предотвращают передачу продольных колебаний опор камертона датчика 2 корпусу и технологическому трубопроводу 1. Кроме того, элементы 3 защищают камертон от воздействия температурных деформаций корпуса и трубопровода.

Выходной сигнал датчика в виде зависящей от плотности частоты переменного тока может регистрироваться цифровым частотомером 10, подключаемым к выходу усилителя 9.

Если от плотномера требуется получить аналоговый сигнал в виде напряжения или силы тока, прибор обеспечивают рядом дополнительных устройств, которые входят в схему преобразователя. Девиация частоты датчика при изменении плотности среды в рабочем диапазоне обычно не превышает 10 % собственной частоты резонатора. В связи с этим необходимой чувствительности и точности измерения полезного сигнала достигают применением дифференциальной схемы. Пассивный (сравнительный) канал такой схемы содержит кварцевый генератор 14 опорной частоты с блоком 13, который делит частоту генератора до величины, близкой к частоте резонатора в начале рабочего диапазона. Сигналы активного и пассивного каналов схемы сравниваются в смесителе 12, и разностная частота выделяется низкочастотным фильтром 11. Прецизионный частотомер 17 преобразует дискретный сигнал в аналоговый, который можно регистрировать стандартным записывающим устройством 15. Аналоговый сигнал, соответствующий разности начальной частоты датчика и опорной частоты, компенсируется блоком установки нуля 18. Поправка к показаниям прибора при изменении температуры измеряемой среды вводится автоматически термокомпенсатором 16, представляющим собой неравновесный мост с терморезистором в одном из плеч, помещенным в анализируемую среду. Показания плотномера не зависят от вязкости контролируемой среды, так как на резонансную частоту датчика влияет только масса жидкости, находящейся внутри резонатора.



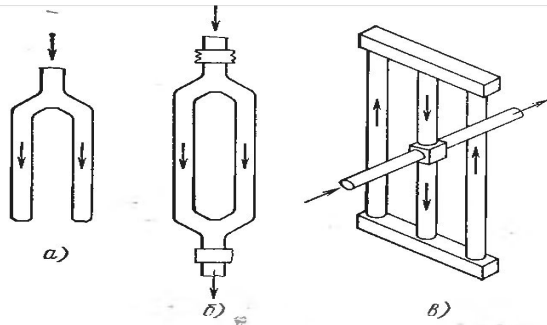


Рис. 32.6. Камертонные резонаторы разомкнутого (а) и замкнутого (б, в) типа

ности определяется шириной шкалы и способом линеаризации. В некоторых случаях вибрационные плотнометры снабжают специализированной электронной приставкой, линеаризующей градуировочную характеристику.

В общем случае частота колебаний резонаторов зависит не только от плотности протекающей жидкости, но и от ее температуры.

Температурную погрешность вибрационного датчика можно определить из выражения

$$\Delta f_t = \frac{f_{t0}}{2(q + \rho)} [q(\gamma - \alpha) + \rho(2\alpha - \beta + \gamma)] \Delta t,$$

где f_{t0} — частота колебаний резонатора с жидкостью при начальной температуре t_0 ; α — температурный коэффициент линейного расширения материала трубки; β — температурный коэффициент объемного расширения жидкости; γ — температурный коэффициент модуля упругости материала трубки; Δt — отклонение температуры жидкости от начального значения.

Экспериментальные исследования показывают, что частота колебаний трубчатых резонаторов не зависит от давления и вязкости протекающей жидкости.

В качестве резонаторов применяют механические камертонные осцилляторы, отличающиеся малым рассеянием колебательной энергии в узлах их закрепления. На рис. 32.6 показаны камертонные резонаторы разомкнутого и замкнутого типов. Последние обладают рядом преимуществ (по сравнению с разомкнутыми), к которым можно отнести отсутствие позиционной ошибки, зависящей от расположения резонатора в пространстве, и большую начальную частоту колебаний при тех же габаритных размерах, что обуславливает более высокую чувствительность датчика к изменению плотности контролируемой жидкости.

На рис. 32.7 приведена схема резонаторного плотнометра проточного типа, выполненного в виде сдвоенного трубчатого камертона. Ветви камертона 6 приводятся в режим автоколебаний в противофазе системой возбуждения, состоящей из возбуждителя колебаний 7, приемника колебаний 8 и усилителя 9. Камертон служит звеном положительной обратной связи, и стабильность его собственной резонансной частоты, определяемая добротностью колебательной системы, характеризует точностные воз-

Рабочие диапазоны плотномеров

1. Поплавковые плотномеры 0.....1,1 г/см³
2. Весовые 1.....2,5 г/см³;
3. Гидростатические ? ;
4. Радиоизотопные 50...500кг/м³ ;
5. Вибрационные 0...100кг/м³