



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013133706/28, 18.07.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
18.07.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 18.07.2013

(45) Опубликовано: 10.11.2014 Бюл. № 31

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: Кивилис, С.С., Плотномеры, М.:  
Энергия, стр. 279, 1980. JP 0057019027 A  
01.02.1982. SU 197250 A1 31.05.1967. SU  
1099245 A1 23.06.1984. SU 1741017 A1  
15.06.1992. Рабинович Е.З., Гидравлика, М.,  
Недра, стр. 34-35, 1980

Адрес для переписки:

392000, г.Тамбов, Советская, 106, ФГБОУ ВПО  
"ТГТУ", Патентный отдел

(72) Автор(ы):

Мордасов Михаил Михайлович (RU),  
Шишкина Галина Викторовна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

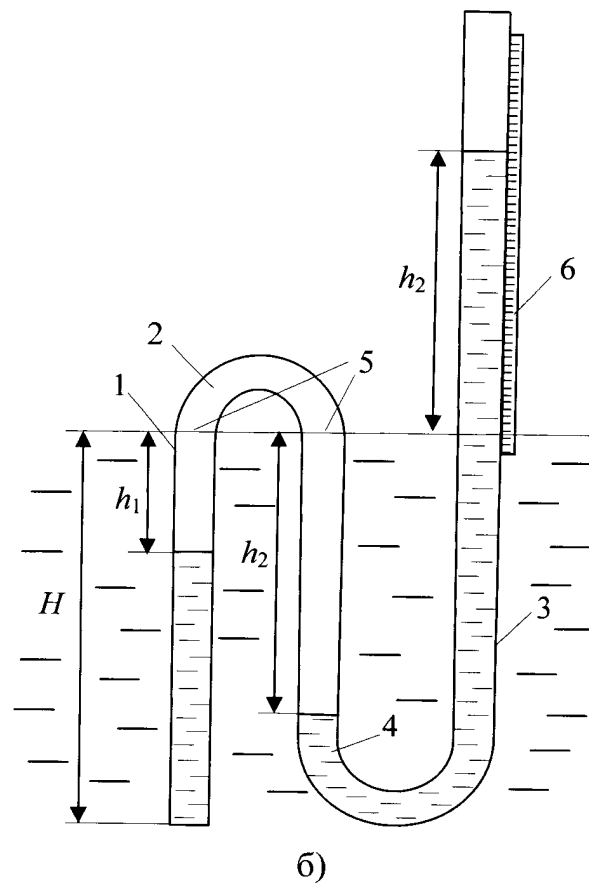
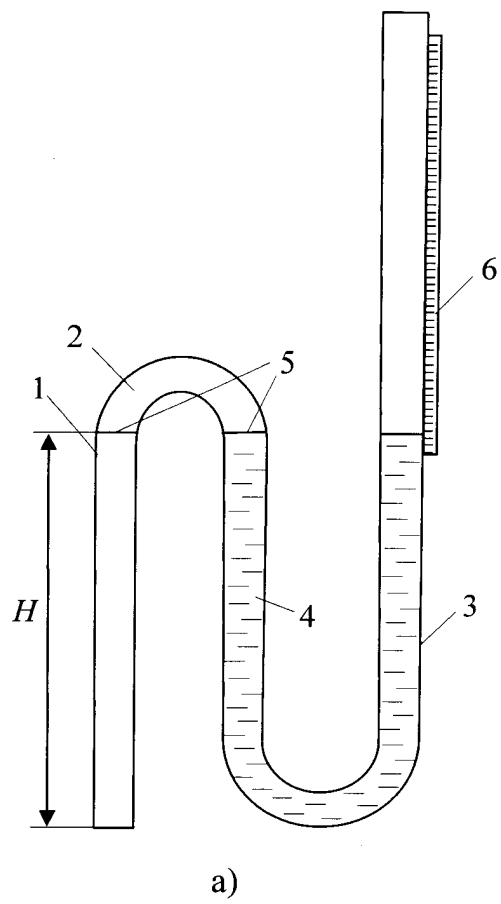
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
"Тамбовский государственный технический  
университет" ФГБОУ ВПО "ТГТУ" (RU)

## (54) ГИДРОСТАТИЧЕСКИЙ ПЛОТНОМЕР

(57) Реферат:

Изобретение относится к области  
измерительной техники, в частности к  
гидростатическим устройствам для измерения  
плотности жидкостей, и может найти применение  
в различных отраслях промышленности.  
Гидростатический плотномер для жидкостей,  
выполненный в виде двух U-образных трубок,  
первая из которых заполнена жидкостью с  
известной плотностью и снабжена измерителем  
уровня со шкалой. Ко второму колену первой

трубки присоединено первое колено второй U-  
образной трубки, а второе колено выполнено в  
виде колокола, погружаемого в контролируемую  
жидкость. Техническим результатом является  
повышение точности (при H=1 м погрешность не  
превышает 0,5%), обеспечение оперативности  
контроля жидкостей, находящихся в емкостях без  
отбора пробы в условиях действующих  
производств. 1 ил.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2013133706/28, 18.07.2013**(24) Effective date for property rights:  
**18.07.2013**

Priority:

(22) Date of filing: **18.07.2013**(45) Date of publication: **10.11.2014** Bull. № 31

Mail address:

**392000, g.Tambov, Sovetskaja, 106, FGBOU VPO  
"TGTU", Patentnyj otdel**

(72) Inventor(s):

**Mordasov Mikhail Mikhajlovich (RU),  
Shishkina Galina Viktorovna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe  
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego  
professional'nogo obrazovanija "Tambovskij  
gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet"  
FGBOU VPO "TGTU" (RU)**(54) **HYDROSTATIC DENSITY METER**

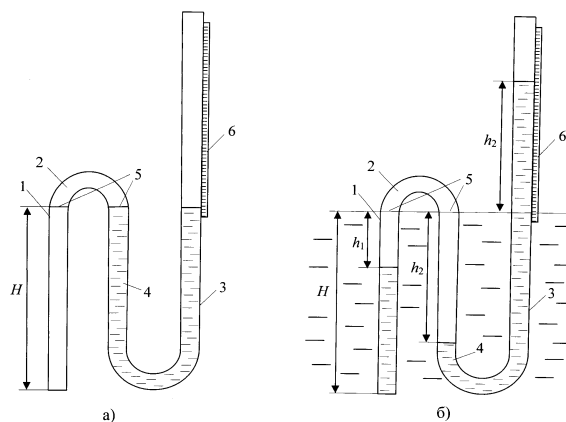
(57) Abstract:

FIELD: measurement equipment.

SUBSTANCE: invention relates to measurement equipment, and namely to hydrostatic devices for liquid density measurement, and can be used in different branches of industry. A hydrostatic liquid density meter made in the form of two U-shaped tubes, the first one of which is filled with liquid with known density and equipped with a level meter with a scale. The first elbow of the second U-shaped tube is connected to the second elbow of the first tube, and the second elbow is made in the form of a bell submerged into test liquid.

EFFECT: improving accuracy (error does not exceed 0,5% at  $H=1$  m), providing flexibility of test of liquids contained in tanks without any sampling under conditions of acting production works.

1 dwg



Фиг. 1

Изобретение относится к области измерительной техники, в частности к гидростатическим устройствам для измерения плотности жидкостей, и может найти применение в различных отраслях промышленности.

Известен гидростатический плотномер [Мордасов М.М. Физические основы измерения плотности и поверхностного натяжения пневматическими методами / М.М. Мордасов, С.В. Мищенко, Д.М. Мордасов. - Тамбов: Изд-во Тамб. гос.техн. ун-та, 1999. - С.27-28], содержащий колокол, выполненный в виде трубки, погруженный в контролируемую жидкость на заданную глубину, сосуд с постоянным уровнем и манометр, измеряющий давление как функцию плотности жидкости.

Недостатком такого плотномера является невысокая точность и сложность измерения относительной плотности жидкости.

Наиболее близким, принятым за прототип, является устройство для измерения относительной плотности жидкостей [Кивилис С.С. Плотномеры. / С.С. Кивилис. - М.: Энергия, 1980. - 279 с.], выполненное в виде двух U-образных трубок одинакового диаметра, в одну из которых налита контролируемая жидкость плотностью  $\rho_1$ , а в другую - жидкость с известной плотностью  $\rho_2$ . В трубках одновременно создают некоторую разность давлений и измеряют изменения уровней  $H$  и  $h$  в коленах U-образных трубок с контролируемой и известной жидкостью, соответственно.

Относительную плотность  $d$  по измеренным величинам  $H$  и  $h$  определяют по формуле

$$d = \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{h}{H}.$$

Такое гидростатическое устройство не может быть применено для контроля плотности жидкостей, находящихся в аппаратах.

Технической задачей является обеспечение оперативности контроля жидкостей, находящихся в емкостях без отбора пробы в условиях действующих производств.

Данная техническая задача решается тем, что в известном гидростатическом плотномере, выполненном в виде двух U - образных трубок, первая из которых заполнена жидкостью с известной плотностью, со шкалой, ко второму колену первой трубки присоединено первое колено второй U - образной трубки, а второе колено выполнено в виде колокола, погружаемого в контролируемую жидкость.

На фиг.1 схематически изображен гидростатический плотномер до начала измерения (фиг.1, а) и при измерении (фиг.1, б).

Гидростатический плотномер состоит из измерительной трубки 1 (колокола), к верхней части которой подключена с помощью соединительной трубки 2 U - образная трубка 3, заполненная жидкостью 4 с известной плотностью  $\rho_2$ . Уровень жидкости 4 совпадает с рисками 5, которые нанесены на трубки 1 и 3. На правом колене U - образной трубки 3, являющемся уровнемерным стеклом, закреплена шкала 6.

Процесс измерения начинается с погружения плотномера в контролируемую жидкость с плотностью  $\rho_1$  до уровня  $H$ , соответствующего рискам на трубках 1 и 3. На момент погружения состояние газа в общем объеме  $V_0 = V_1 + V_2$ , где  $V_1$  - объем газа в трубке 1,  $V_2$  - объем газа в соединительной трубке 2 до поверхности жидкости трубки 3, будет описываться уравнением Менделеева-Клапейрона

$$P_a \cdot V_0 = \theta \cdot R \cdot T, \quad (1)$$

где  $P_a$  - абсолютное давление в окружающем пространстве над поверхностью жидкости, Па;  $\theta$  - масса газа, кг;  $R$  - универсальная газовая постоянная, Дж/кгК;  $T$  -

абсолютная температура, К.

После погружения устройства в контролируемую жидкость состояние газа изменится. Уровень жидкости в измерительной трубке 1 примет значение  $h_1$ , а в трубке 3 -  $h_2$ . В соответствии с этим давление изменится на величину

$$\delta P = \rho_1 g h_1 = 2 \rho_2 g h_2, \quad (2)$$

где  $g$  - ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ .

Из уравнения (2) может быть определено соотношение между уровнями в трубках 1 и 3 в виде

$$h_1 = 2 \frac{\rho_2}{\rho_1} h_2 = 2 d^{-1} h_2, \quad (3)$$

где  $d$  - относительная плотность контролируемой жидкости.

Новому состоянию газа будет соответствовать уравнение

$$2 P_a h_2 d^{-1} S_1 + P_a V_2 + F_a h_2 S_2 + 4 \rho_2 g d^{-1} h_2^2 S_1 + \rho_2 g h_2 S_1 V_2 + 2 \rho_2 g h_2^2 S_2 = \theta \cdot R \cdot T, \quad (4)$$

где  $S_1$  и  $S_2$  - площади сечения трубок 1 и 3, соответственно,  $\text{м}^2$ .

Приравнявая левые части уравнений (1) и (4), после преобразования получим квадратное уравнение

$$h_2^2 + \frac{(2 P_a d^{-1} S_1 + P_a S_2 + 2 \rho_2 g V_2)}{(2 \rho_2 S_2 g + 4 \rho_2 g S_1 d^{-1})} h_2 - \frac{P_a V_1}{(2 \rho_2 S_2 g + 4 \rho_2 g S_1 d^{-1})} = 0 \quad (5)$$

Решение уравнения (5), при условии, что  $h_2$  всегда больше нуля, будет иметь вид

$$h_2 = -\frac{1}{2} \cdot \frac{2 P_a d^{-1} S_1 + P_a S_2 + 2 \rho_2 g V_2}{2 \rho_2 S_2 g + 4 g S_1 d^{-1}} + \sqrt{\frac{1}{4} \cdot \frac{(2 P_a d^{-1} S_1 + P_a S_2 + 2 \rho_2 g V_2)^2}{(2 \rho_2 S_2 g + 4 \rho_2 g S_1 d^{-1})^2} + \frac{P_a V_1}{(2 \rho_2 S_2 g + 4 \rho_2 g S_1 d^{-1})}} \quad (6)$$

После разложения в степенной ряд Тейлора второго слагаемого и элементарных преобразований получим

$$h_2 = \frac{H}{2 d^{-1} + \left( \frac{S_2}{S_1} + \frac{2 \rho_2 g V_2}{S_1 P_a} \right)}. \quad (7)$$

Учитывая, что  $\frac{V_1}{S_1} = H = \text{const}$ , при условии  $S_1 = S_2$  и  $\frac{2 \rho_2 g V_2}{S_1 P_a} \ll 1$  уравнение (7)

запишем в виде

$$h_2 = \frac{H}{2 d^{-1} + 1}. \quad (8)$$

Если  $\rho_1 = \rho_2$ , то этому состоянию будет соответствовать, как видно из уравнения (8), значение уровня

$$h_{20} = \frac{H}{3},$$

которое для данной конструкции измерительного устройства является постоянной величиной и может являться нулевой отметкой шкалы. Поэтому относительная плотность жидкости может определяться отклонением  $\Delta h_2$  уровня  $h_2$  от значения, принятого за ноль шкалы  $h_{20}$

$$\Delta h_2 = h_2 - h_{20} = H \left[ \frac{1}{2d^{-1}} - \frac{1}{3} \right]. \quad (9)$$

Предложенный гидростатический метод контроля относительной плотности жидкости отличается простотой, обладает хорошей точностью (при  $H=1$  м погрешность не превышает 0,5%) и оперативностью контроля жидкостей, находящихся в емкостях без отбора пробы в условиях действующих производств. Невысокая стоимость реализующего предложенный метод устройства также является достоинством.

#### Формула изобретения

Гидростатический плотномер, выполненный в виде двух U-образных трубок, первая из которых заполнена жидкостью с известной плотностью и снабжена измерителем уровня со шкалой, отличающийся тем, что ко второму колену первой трубки присоединено первое колено второй U-образной трубки, а второе колено выполнено в виде колокола, погружаемого в контролируемую жидкость.