



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **114243** (13) **C2**  
(51) МПК

**G01N 13/02** (2006.01)

**C09K 8/58** (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД**

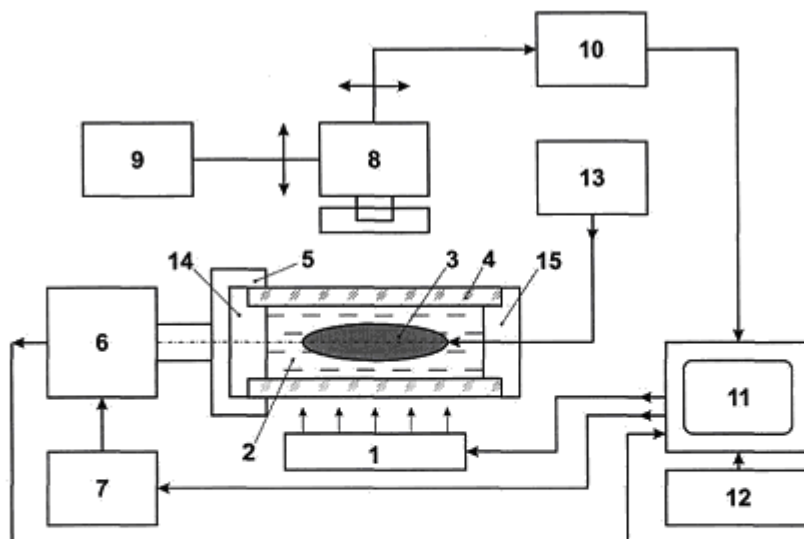
<p>(21) Номер заявки: <b>а 2015 11107</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>12.11.2015</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: <b>10.05.2017</b></p> <p>(41) Публікація відомостей про заявку: <b>10.06.2016, Бюл.№ 11</b></p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>10.05.2017, Бюл.№ 9</b></p>	<p>(72) Винахідник(и): <b>Кісіль Ігор Степанович (UA), Кучірка Юрій Михайлович (UA), Барна Оля Борисівна (UA)</b></p> <p>(73) Власник(и): <b>ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ,</b> вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019 (UA)</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 39871 U, 10.03.2009 UA 87766 C2, 10.08.2009 Оптимальний вибір поверхнево-активних речовин і їх концентрації у розчинах для інтенсифікації видобутку нафти і газу / Є.І. Крижанівський, І.С. Кісіль, Р.Т. Боднар, В.Б. Білішук, Р.І. Кісіль // ISSN 1993-9868. Нафтогазова енергетика. - 2009. - № 2(11). - С. 80-84 US 4644782 A, 24.02.1987 US 4250741 A, 17.02.1981</p>
--	---

**(54) СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ МІЖФАЗНОГО НАТЯГУ НА МЕЖІ РОЗДІЛУ ДВОХ НЕРОЗЧИННИХ ОДНА В ОДНІЙ РІДИН РІЗНОЇ ГУСТИНИ МЕТОДОМ ОБЕРТОВОЇ КРАПЛІ І ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ**

**(57) Реферат:**

Винахід належить до галузі вимірювальної техніки. Спосіб вимірювання міжфазного натягу на межі розділу двох нерозчинних одна в одній рідин різної густини методом обертової краплі за допомогою пристрою для його реалізації здійснюють вимірюванням довжини обертової краплі заданого об'єму, кутової швидкості її обертання, розрахунку і забезпечення відповідного співвідношення між довжиною обертової краплі і заданим об'єктом краплі знаходиться у діапазоні 24-120, яке контролюється і забезпечується електронно-обчислювальним блоком, в якому є відповідне програмне забезпечення для розрахунку міжфазного натягу. Винахід забезпечує процес вимірювання міжфазного натягу на межі розділу двох рідин методом обертової краплі при низьких кутових швидкостях обертання краплі до утворення в центральній частині краплі строго циліндричної ділянки.

UA 114243 C2



1 - Джерело монохромного світла; 2 - важка досліджувана рідина; 3 - обертова крапля із легшої досліджуваної рідини; 4 - скляна трубка; 5 - цанговий тримач; 6 - електронний двигун; 7 - блок зміни довжини обертової краплі; 8 - вимірювальний електронний мікроскоп; 9 - вузол переміщення; 10 - пристрій введення відеосигналу; 11 - електронно-обчислювальний блок; 12 - клавіатура; 13 - блок формування краплі заданого об'єму; 14, 15 - пробки

Винахід належить до вимірювальної техніки, а саме: до приладів вимірювання міжфазного натягу (МН) на межі розділу двох нерозчинних одна в одній рідин різної густини.

Відомий спосіб визначення міжфазного натягу методом обертової краплі (Vonnegut B. Rotating Bubble Method for Determination of Surface and Interfacial Tension. - Rev. Sci. Instrum., No. 13, 1942, P. 6-9.), що включає вимірювання найбільшого видимого радіуса обертової краплі  $R_{\text{вид}}$ , попереднє визначення коефіцієнта збільшення  $M$  оптичної системи, що включає скляну циліндричну горизонтальну обертову трубку із більш важчою досліджуваною рідиною і краплю більш легшої досліджуваної рідини, кутової швидкості обертання трубки із досліджуваними рідинами  $\omega$ , різниці густин досліджуваних рідин  $\Delta\rho$ . Визначення МН  $\sigma$  здійснюють за залежністю:

$$\sigma = \frac{\Delta\rho \cdot \omega^2 \cdot R_{\text{вид}}^3}{4M^3}, \quad (1)$$

Недоліком цього способу є необхідність досягнення умови, щоб довжина краплі  $L$  перевищувала її видимий діаметр  $2R_{\text{вид}}$  більше, ніж в 4 рази. Цю умову важко досягти при значеннях МН більше 10 мН/м, оскільки необхідно досягати кутової швидкості обертання капіляру  $\omega$  понад 10000 об./хв (526 рад./с). При таких швидкостях обертання виникають вібрації у приладі, що реалізує такий спосіб, які впливають на проведення вимірювань, оскільки вібрація спотворює форму краплі у процесі її обертання. Крім того, є необхідність у попередньому визначенні коефіцієнта збільшення оптичної системи  $M$ . Цей коефіцієнт виникає внаслідок проходження світлових променів при вимірюванні  $R_{\text{вид}}$  через скляну трубку із досліджуваними рідинами не по осі цієї трубки і залежить від коефіцієнта заломлення важчої рідини і геометричних розмірів скляної трубки (внутрішнього і зовнішнього діаметра трубки), а також від діаметра обертової краплі. (Coucoulas L. M., Dawe R. A., Mahers E.G. The refraction correction for the spinning drop interfacial tensiometer. - J. of Colloid and Interface Science. Vol. 93, № 1, 1983, P. 281-284). Значення  $M$  може змінюватися в діапазоні від 1,332 до 1,37, що з урахуванням (1), викликає додаткову відносну похибку тільки у результаті невизначеності  $M$  у вказаному вище діапазоні зміни  $M$  до 9%. Визначення конкретного значення  $M$  згідно з Coucoulas L. M, Dawe R. A., Mahers E. G. The refraction correction for the spinning drop interfacial tensiometer. - J. of Colloid and Interface Science. Vol. 93, № 1, 1983, P. 281-284 вимагає значних додаткових попередніх досліджень.

Відомий спосіб визначення міжфазного натягу методом обертової краплі (Princen H. M, Zia I. Y. Z., Mason S. G. Measurement of Interfacial Tension from the Shape of a Rotating Drop. - J. Colloid Sci. No. 23, 1967, P. 99-107.), який включає вимірювання половини довжини обертової краплі  $L/2$  наперед відомого об'єму  $V$ , кутової швидкості обертання скляної трубки із досліджуваними рідинами  $\omega$ , різниці густин досліджуваних рідин  $\Delta\rho$ . При цьому розраховують відношення  $L/(2r)$ , де  $r = \sqrt[3]{3V/(4\pi)}$  - радіус кулі об'ємом  $V$ , і за допомогою відповідної таблиці у випадку, коли  $L/(2r) \leq 2,209$  для конкретного  $L/(2r)$  визначають значення безрозмірного параметра  $cr^3$ , де  $c = (\Delta\rho \cdot \omega^2)/(4\sigma)$ , на основі якого розраховують значення МН  $\sigma$ :

$$\sigma = \Delta\rho \omega^2 / (4c) . \quad (2)$$

40

У випадку, коли  $L/(2r) > 2,209$ ; що відповідає  $L^3/V > 20,5$ ; на основі залежності

$$\frac{L}{2r} = \frac{2(cr^3 + 1)}{3(cr^3)^{1/3}} \quad (3)$$

розраховують значення безрозмірного параметра  $cr^3$ , звідки при відповідних  $\Delta\rho$   $\omega$  на основі (2) розраховують значення МН  $\sigma$ . Слід відмітити, що в цьому випадку автори даного способу вважають, що центральна частина обертової краплі вже має строго циліндричну форму.

45

Вказаний спосіб не вимагає попереднього визначення конкретного значення  $M$ . Це пов'язано з тим, що довжину обертової краплі  $L$  вимірюють шляхом пропускання світлових променів строго перпендикулярно до осі обертової скляної трубки і в цьому випадку  $M=1$ .

Недоліками цього способу є незначний діапазон числових значень, приведених у вказаній таблиці (тільки для  $L/(2r) \leq 2,209$ , що характеризують безрозмірні геометричні розміри двох заокруглених кінців обертової краплі. Як показали нижче наведені розрахунки, параметр  $L/(2r)$  може змінюватися в діапазоні до 4,0; що відповідає  $L^3/V \leq 120$ , ще до досягнення строго циліндричної форми центральної частини обертової краплі. Використання залежності (3) рекомендується при наявності строго циліндричної форми центральної частини обертової краплі, що вимагає значних кутових швидкостей обертання трубки із досліджуваними рідинами (до 1000 рад/с і більше) при  $\sigma \geq 10$  мН/м, що призводить до вібрацій приладу, який реалізує такий спосіб і спотворення форми обертової краплі, суттєво впливаючи на результат вимірювання її довжини  $L$ .

З метою оцінки точності визначення  $MH_\sigma$  як на основі даних вказаної відомої таблиці, так і залежності (3) був здійснений розв'язок такої системи диференціальних рівнянь, яка описує обертову краплю (Русанов А. И. Межфазная тензиометрия./ А. И. Русанов., В. А. Прохоров. - С.-Петербург, "Химия".-1994.-400 с):

$$\begin{cases} \frac{d\varphi}{d(s/a)} = \frac{2}{R_0/a} - \frac{1}{2} \left(\frac{y}{a}\right)^2 - \frac{\sin \varphi}{y/a}, \\ \frac{d(y/a)}{d(s/a)} = \cos \varphi, \\ \frac{d(V/a^3)}{d(s/a)} = 2\pi \left(\frac{y}{a}\right)^2 \sin \varphi, \\ \frac{d(x/a)}{d(s/a)} = \sin \varphi, \end{cases} \quad (4)$$

де  $\varphi$  - кут між горизонтальною віссю  $x$  обертання краплі і нормаллю до будь-якої із точок на поверхні обертової краплі;  $a^3 = \sigma/(\Delta\rho\omega^2) = 1/(4c)$  - характерний параметр обертової краплі, який залежить від фізико-хімічних параметрів контактуючих рідин і кутової швидкості обертання краплі;  $s$  - довжина дуги поверхні обертової краплі;  $R_0$  - радіус кривизни поверхні обертової краплі у точці її перетину із горизонтальною віссю обертання  $x$ ;  $y$  - вертикальна координата точки на поверхні обертової краплі від осі  $x$ ;  $x$  - горизонтальна координата точки на поверхні обертової краплі від точки її перетину із горизонтальною віссю обертання  $x$ ;  $V$  - об'єм обертової краплі, який дорівнює сумі двох однакових об'ємів її кінців від точок перетину поверхонь краплі із горизонтальною віссю обертання  $x$  до площин, що проходять через точки на поверхні обертової краплі з обох її кінців і перпендикулярних до осі обертання  $x$ .

Початковими умовами при цьому є такі:

$$y = x = s = V = \varphi = 0, \quad 1/R_0 = 1/R_1 = 1/R_2, \quad (5)$$

а кінцевими такі:

$$R_a = 4^{1/3}, \quad R_0/a = 2 \cdot 4^{1/3}, \quad R/R_0 = 3/2, \quad (6)$$

де  $R_1$ , і  $R_2$  радіуси кривизни поверхні обертової краплі у взаємно перпендикулярних площинах у відповідній точці поверхні краплі;  $R$  - найбільший радіус обертової краплі відносно до осі обертання  $x$ .

Результати розрахунку безрозмірних параметрів обертової краплі  $R_0/a$ ,  $a^3/V$ ,  $L/2R$ ,  $L^3/V$ ,  $R/r$ ,  $cr^3$ ,  $L/(2r)$  методом Рунге-Кутта 4-го порядку шляхом розв'язку системи рівнянь (4) з урахуванням (5) і (6) для різних значень параметра  $R_0/a$  в діапазоні його зміни  $0 \div 1,05826736797879$  і для  $\varphi=90^\circ$  приведені в табл. 1.

## Результати розрахунку безрозмірних параметрів обертової краплі

№ точок	$R_0/a$	$a^3/V$	$L/2R$	$L^3/V$	$R/r$	$cr^3$	$L/(2r)$	Відносна похибка апрок- симації
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	0,000000000000000		0,541716			0,000000		-
2.	0,46415888336128	2,266536	1,013218	1,960563	0,995613	0,026332	2,017545	-
3.	0,58480354764257	1,071479	1,027978	2,017792	0,990774	0,055702	2,036987	-
4.	0,66943295008217	0,672155	1,044531	2,082836	0,985439	0,088794	2,058644	-
5.	0,73680629972808	0,471625	1,063341	2,157831	0,979489	0,126548	2,083061	-
6.	0,76630943239355	0,404379	1,073899	2,200318	0,976183	0,147592	2,096644	-
7.	0,79370052598410	0,350315	1,085372	2,246814	0,972620	0,170370	2,111310	-
8.	0,81932127060065	0,305881	1,097742	2,297493	0,968837	0,195119	2,127066	-
9.	0,84343266530175	0,268549	1,111421	2,353929	0,964685	0,222243	2,144342	-
10.	0,86623910534090	0,236699	1,126497	2,416782	0,960171	0,252148	2,163260	-
11.	0,88790400174260	0,209119	1,143261	2,487460	0,955226	0,285402	2,184146	-
12.	0,90856029641607	0,184906	1,162130	2,567976	0,949748	0,322775	2,207462	-
13.	0,92831776672256	0,163368	1,183683	2,661146	0,943598	0,365330	2,233842	-
14.	0,94726823718591	0,143956	1,208755	2,771091	0,936580	0,414592	2,264191	-
15.	0,96548938460563	0,126237	1,238481	2,903681	0,928453	0,472786	2,299742	-
16.	0,98304757249156	0,109806	1,274845	3,069066	0,918779	0,543534	2,342601	-
17.	1,000000000000000	0,094278	1,321194	3,284925	0,906862	0,633057	2,396283	-
18.	1,01639635681485	0,079195	1,384230	3,587466	0,891362	0,753626	2,467699	-
19.	1,03228011545637	0,063798	1,480911	4,070840	0,869024	0,935497	2,573895	-
20.	1,03539880544841	0,060560	1,507829	4,209546	0,863096	0,985517	2,602803	-
21.	1,03849882037022	0,057219	1,538985	4,372295	0,856383	1,043073	2,635923	-
22.	1,04158043730656	0,053735	1,575822	4,567773	0,848647	1,110686	2,674634	-
23.	1,04464392682232	0,050048	1,620798	4,810815	0,839480	1,192527	2,721254	-
24.	1,04768955317165	0,046059	1,678128	5,127570	0,828219	1,295799	2,779714	-
25.	1,05071757449858	0,041590	1,756397	5,572555	0,813570	1,435031	2,857904	-
26.	1,05222506232548	0,039062	1,809249	5,881074	0,804119	1,527902	2,909701	-
27.	1,05372824302963	0,036217	1,878276	6,293786	0,792278	1,647941	2,976233	-
28.	1,05522714724508	0,032839	1,977109	6,903756	0,776242	1,817442	3,069432	-
29.	1,05672180525872	0,028340	2,148741	8,016102	0,750706	2,105958	3,226145	-
30.	1,05731848624675	0,025779	2,275642	8,881803	0,733493	2,315199	3,338335	-
31.	1,05791449453884	0,021772	2,539470	10,799557	0,701550	2,741304	3,563129	-
32.	1,05803361564046	0,020446	2,651386	11,661504	0,689358	2,919123	3,655508	-
33.	1,05815270992508	0,018495	2,847239	13,239965	0,669686	3,227014	3,813512	-
34.	1,05821224701573	0,016841	3,051034	14,978013	0,651184	3,543837	3,973571	-
35.	1,05824201304897	0,015382	3,269247	16,948361	0,633278	3,880022	4,140684	-
36.	1,05825391899342	0,014366	3,448526	18,652734	0,619841	4,154436	4,275075	-
37.	1,05825987186518	0,013541	3,614611	20,301169	0,608291	4,407537	4,397473	-
38.	1,05826069000000	0,013389	3,647541	20,635986	0,606096	4,457612	4,421517	-
39.	1,05826094000000	0,013340	3,658355	20,746532	0,605381	4,474053	4,429398	-
40.	1,05826119000000	0,013289	3,669670	20,862493	0,604637	4,491248	4,437635	-
41.	1,05826144000000	0,013236	3,681486	20,983913	0,603863	4,509200	4,446228	-
42.	1,05826169000000	0,013181	3,693738	21,110194	0,603065	4,527813	4,455129	-
43.	1,05826194000000	0,013125	3,706554	21,242669	0,602234	4,547277	4,464429	-
44.	1,05826219000000	0,013066	3,719995	21,382040	0,601368	4,567686	4,474171	-
45.	1,05826244000000	0,013005	3,734124	21,529023	0,600462	4,589133	4,484400	-
46.	1,05826269000000	0,012942	3,749004	21,684344	0,599514	4,611715	4,495158	-
47.	1,05826294000000	0,012875	3,764634	21,848091	0,598524	4,635431	4,506445	-
48.	1,05826319000000	0,012806	3,781266	22,022983	0,597477	4,660659	4,518437	-
49.	1,05826344000000	0,012733	3,798899	22,209149	0,596375	4,687398	4,531133	-
50.	1,05826369000000	0,012656	3,817659	22,408053	0,595210	4,715839	4,544620	-
51.	1,05826394000000	0,012575	3,837733	22,621856	0,593974	4,746264	4,559028	-
52.	1,05826419000000	0,012488	3,859373	22,853443	0,592652	4,779051	4,574533	-
53.	1,05826444000000	0,012396	3,882830	23,105773	0,591232	4,814579	4,591307	-
54.	1,05826469000000	0,012298	3,908354	23,381884	0,589701	4,853224	4,609524	-

## Результати розрахунку безрозмірних параметрів обертової краплі

№ точок	$R_0/a$	$a^3/V$	$L/2R$	$L^3/V$	$R/r$	$cr^3$	$L/(2r)$	Відносна похибка апрок- симації
1	2	3	4	5	6	7	8	9
55.	1,05826494000000	0,012191	3,936384	23,686962	0,588038	4,895650	4,629485	-
56.	1,05826519000000	0,012075	3,967485	24,027738	0,586213	4,942706	4,651580	-
57.	1,05826544000000	0,011947	4,002410	24,413265	0,584189	4,995526	4,676327	-
58.	1,05826569000000	0,011805	4,042163	24,855768	0,581918	5,055622	4,704411	-0,00054
59.	1,05826594000000	0,011644	4,088375	25,375108	0,579319	5,125450	4,736950	-0,00031
60.	1,05826619000000	0,011458	4,143560	26,002221	0,576274	5,208792	4,775656	-8,3E-05
61.	1,05826644000000	0,011235	4,211987	26,790343	0,572583	5,312071	4,823426	0,000145
62.	1,05826669000000	0,010955	4,302137	27,846485	0,567857	5,448046	4,885995	0,000365
63.	1,05826694000000	0,010569	4,434309	29,431645	0,561192	5,647237	4,977001	0,000564
64.	1,05826719000000	0,009902	4,686718	32,580530	0,549267	6,027195	5,148518	0,000704
65.	1,05826736707000	0,007180	6,208348	54,975953	0,493645	8,312249	6,129435	0,000621
66.	1,05826736732000	0,007062	6,301242	56,533652	0,490918	8,451627	6,186788	-0,00113
67.	1,05826736757000	0,006893	6,438921	58,882718	0,486985	8,658191	6,271318	-0,00113
68.	1,05826736782000	0,006582	6,711838	63,681884	0,479546	9,067634	6,437267	-0,00109
69.	1,05826736797009	0,005781	7,549940	79,605536	0,459237	10,324878	6,934428	-0,00092
70.	1,05826736797034	0,005774	7,558256	79,772487	0,459052	10,337351	6,939272	-1,6E-05
71.	1,05826736797059	0,005766	7,566886	79,945949	0,458861	10,350297	6,944298	-7,1E-06
72.	1,05826736797084	0,005759	7,575957	80,128478	0,458660	10,363904	6,949579	2,45E-06
73.	1,05826736797109	0,005751	7,585154	80,313757	0,458457	10,377700	6,954931	1,25E-05
74.	1,05826736797134	0,005743	7,594603	80,504336	0,458248	10,391874	6,960428	2,25E-05
75.	1,05826736797159	0,005735	7,604241	80,698961	0,458036	10,406332	6,966033	3,28E-05
76.	1,05826736797184	0,005727	7,614698	80,910391	0,457806	10,422018	6,972111	4,33E-05
77.	1,05826736797209	0,005718	7,625155	81,122099	0,457577	10,437704	6,978187	5,46E-05
78.	1,05826736797234	0,005709	7,636368	81,349422	0,457331	10,454524	6,984699	6,58E-05
79.	1,05826736797259	0,005700	7,647518	81,575785	0,457088	10,471249	6,991172	7,77E-05
80.	1,05826736797284	0,005690	7,659487	81,819126	0,456827	10,489203	6,998116	8,94E-05
81.	1,05826736797309	0,005680	7,671582	82,065400	0,456564	10,507346	7,005131	0,000102
82.	1,05826736797334	0,005670	7,684685	82,332617	0,456279	10,527001	7,012726	0,000114
83.	1,05826736797359	0,005659	7,698102	82,606711	0,455989	10,547128	7,020499	0,000128
84.	1,05826736797384	0,005647	7,712339	82,898036	0,455682	10,568484	7,028742	0,000141
85.	1,05826736797409	0,005635	7,727584	83,210558	0,455353	10,591351	7,037564	0,000156
86.	1,05826736797434	0,005623	7,743269	83,532738	0,455017	10,614880	7,046635	0,000171
87.	1,05826736797459	0,005610	7,759774	83,872417	0,454664	10,639638	7,056174	0,000186
88.	1,05826736797484	0,005596	7,777223	84,232297	0,454291	10,665813	7,066251	0,000202
89.	1,05826736797509	0,005581	7,796059	84,621631	0,453891	10,694066	7,077122	0,000218
90.	1,05826736797534	0,005565	7,816406	85,043231	0,453460	10,724588	7,088855	0,000235
91.	1,05826736797559	0,005548	7,838202	85,496024	0,453000	10,757283	7,101414	0,000253
92.	1,05826736797584	0,005530	7,861321	85,977621	0,452514	10,791962	7,114723	0,000272
93.	1,05826736797609	0,005511	7,887149	86,517256	0,451974	10,830705	7,129577	0,000291
94.	1,05826736797634	0,005489	7,914867	87,098268	0,451397	10,872282	7,145501	0,000312
95.	1,05826736797659	0,005466	7,945797	87,748936	0,450757	10,918679	7,163251	0,000334
96.	1,05826736797684	0,005440	7,980886	88,490018	0,450035	10,971312	7,183360	0,000356
97.	1,05826736797709	0,005411	8,020131	89,322630	0,449233	11,030182	7,205819	0,00038
98.	1,05826736797734	0,005378	8,065740	90,295156	0,448308	11,098596	7,231877	0,000404
99.	1,05826736797759	0,005339	8,119349	91,445053	0,447231	11,179010	7,262446	0,000429
100.	1,05826736797784	0,005291	8,186754	92,901264	0,445891	11,280119	7,300794	0,000453
101.	1,05826736797809	0,005231	8,273372	94,789562	0,444192	11,410048	7,349927	0,000475
102.	1,05826736797834	0,005147	8,397851	97,536697	0,441795	11,596768	7,420256	0,00049
103.	1,05826736797854	0,005039	8,563025	101,242891	0,438693	11,844532	7,513075	0,000481
104.	1,05826736797874	0,004775	8,999145	111,362630	0,430902	12,498714	7,755492	0,000404
105.	1,05826736797875	0,004742	9,056786	112,736394	0,429913	12,585176	7,787252	-0,00022
106.	1,05826736797876	0,004704	9,125893	114,394568	0,428739	12,688836	7,825246	-0,00036
107.	1,05826736797877	0,004652	9,219631	116,663204	0,427167	12,829444	7,876637	-0,00054
108.	1,05826736797878	0,004577	9,359544	120,091031	0,424862	13,039315	7,953038	-0,00082
109.	1,05826736797879	0,004429	9,650649	127,382776	0,420223	13,475972	8,110851	-0,00131

Слід відмітити, що розрахунок був здійснений з похибкою кінцевих значень  $2,22 \cdot 10^{-16}$ , а у процесі розрахунку зберігалася 32-га розрядність числових значень всіх параметрів обертової краплі.

- 5 Отримані результати розрахунку  $a^3/V$  для діапазону  $L^3/V = 24 \div 120$ , що відповідає зміні  $L/(2R)$  в діапазоні  $4,0 \div 9,35$ ; були використані для отримання апроксимаційної залежності  $a^3/V = f(L^3/V)$  такого виду:

$$\frac{a^3}{V} = \frac{A(L^3/V)^2 + B(L^3/V) + C}{L^3/V + D}, \quad (7)$$

- 10 де  $A = -5,893 \cdot 10^{-6}$ ;  $B = 0,003261$ ;  $C = 0,259$ ;  $D = 3,648$ .  
Тоді значення МН  $\sigma$  може бути розраховане таким чином:

$$\sigma = \Delta\rho\omega^2V \left( \frac{A(L^3/V)^2 + B(L^3/V) + C}{L^3/V + D} \right), \quad (8)$$

- 15 Слід відмітити, що в цьому випадку обертова крапля в центральній частині не має строго циліндричної ділянки, а являє собою форму витягнутого еліпса.

Оцінку відносних методичних похибок  $\delta_{\text{мет.}}$  запропонованої апроксимаційної залежності (7) для всіх значень  $(L^3/V)_{\text{табл.}} = 24 \div 120$  було здійснено таким чином:

$$\delta_{\text{мет.}} \left( \left( \frac{a^3}{V} \right)_{\text{розрах.}} - \left( \frac{a^3}{V} \right)_{\text{табл.}} \right) / \left( \frac{a^3}{V} \right)_{\text{табл.}}, \quad (9)$$

- 20 де  $(a^3/V)_{\text{розрах.}}$  і  $(a^3/V)_{\text{табл.}}$  - розраховані згідно з залежністю (7) і табличні значення  $(a^3/V)$  відповідно для кожного із всіх значень  $L^3/V$  згідно з табл. 1 для діапазону  $24 \leq L^3/V \leq 120$ , що відповідає діапазону зміни  $L/(2R) = 4,0 \div 9,35$ . Вказані відносні методичні похибки приведені в табл. 1 і не перевищують  $-0,00131$ , що відповідає вимогам щодо точності результатів визначення МН  $\sigma$  методом обертової краплі.

- 25 Задачею запропонованого способу є забезпечення процесу вимірювання міжфазного натягу на межі розділу двох рідин методом обертової краплі при низьких кутових швидкостях її обертання до утворення в центральній частині краплі строго циліндричної ділянки. Це не буде приводити до вібрацій приладу, який реалізуватиме такий спосіб вимірювання, до спотворень форм обертової краплі, крім форми витягнутого еліпса.

- 30 Поставлена задача вирішується тим, що у способі вимірювання міжфазного натягу на межі розділу двох нерозчинних одна в одній рідин різної густини методом обертової краплі, що включає попереднє визначення різниці густин  $\Delta\rho$  цих рідин, вимірювання довжини  $L$  обертової краплі, сформованої із рідини меншої густини заданого об'єму  $V$ , кутової швидкості обертання краплі  $\omega$  додатково у процесі вимірювання розраховують співвідношення  $L^3/V$ , забезпечують знаходження цього співвідношення у діапазоні  $24 \div 120$ , а значення міжфазного натягу  $\sigma$   
35 розраховують за такою залежністю:

$$\sigma = \Delta\rho\omega^2V \left( \frac{A(L^3/V)^2 + B(L^3/V) + C}{L^3/V + D} \right),$$

- 40 де  $A = -5,893 \cdot 10^{-6}$ ;  $B = 0,003261$ ;  $C = 0,259$ ;  $D = 3,648$ .

Структурна схема приладу, що реалізує запропонований спосіб, приведена на фіг. 1 і таким чином дозволяє здійснити процес вимірювання міжфазного натягу методом обертової краплі.

Скляну трубку 4, знизу закриту пробкою 14, заповнюють спочатку більш важчою досліджуваною рідиною 2, наприклад водним розчином поверхнево-активної речовини, потім за допомогою блока формування краплі 13 більш легшої досліджуваної рідини, наприклад нафти, у трубку вводять краплю 3 легшої досліджуваної рідини строго заданого об'єму  $V$ . Як блок 13 може бути використаний дозуючий мікрошприц відповідного об'єму. Скляну трубку закривають пробкою 15, не допускаючи утворення всередині неї бульбашок повітря, і встановлюють її у горизонтальному положенні у цанговий тримач 5.

Після цього, за допомогою клавіатури 12 включають електронно-обчислювальний блок 11 і запускають процес вимірювання. В результаті на блок зміни довжини обертової краплі 7 надходить відповідна постійна напруга, що приводить до обертання вихідного вала двигуна 6 і скляної трубки 4 із досліджуваними рідинами з певною кутовою швидкістю обертання  $\omega$ . В цей же момент включається джерело монохроматичного світла 1, у результаті промені світла проходять через скляну трубку 4 із досліджуваними рідинами і на вхід вимірювального електронного мікроскопа 8 надходить відеосигнал про форму обертової краплі 3. З метою вимірювання загальної довжини  $L$  обертової краплі 3 дослідник-оператор вручну за допомогою вузла переміщення 9 встановлює таке положення вимірювального електронного мікроскопа 8, при якому зображення краплі на екрані монітора електронно-обчислювального блока 11, наприклад комп'ютера, яке туди надходить через пристрій введення відеосигналу 10, буде найбільш контрастним і в цей момент через клавіатуру 12 подає сигнал для вимірювання довжини  $L$  обертової краплі 3.

Обчислювальний блок 11 на основі інформації про об'єм  $V$  краплі і різницю густин досліджуваних рідин  $\Delta\rho$ , яку вводить оператор попередньо через клавіатуру, а також вхідної інформації про кутову швидкість обертання краплі  $\omega$  і її довжину  $L$  здійснює розрахунок співвідношення  $L^3/V$  і контролює знаходження цього співвідношення у діапазоні 24÷120. Якщо це співвідношення є меншим 24, то автоматично здійснюється збільшення напруги на вході блока 7, що приводить до збільшення кутової швидкості обертання краплі і таким чином до збільшення краплі  $L$ . Якщо співвідношення є більшим від 120, то зменшується напруга на вході блока 7, що приводить до зменшення  $\omega$  і відповідно  $L$ . Слід відмітити, що електронно-обчислювальний блок 11 інформує оператора через монітор про значення співвідношення  $L^3/V$ .

Якщо співвідношення  $L^3/V$  знаходиться в діапазоні 24÷120, то здійснюється розрахунок значення  $MN_{\sigma}$  згідно з апроксимаційною залежністю (8). Слід відмітити, що програмою передбачається проведення вимірювань  $MN_{\sigma}$  для різних значень співвідношення  $L^3/V$  у діапазоні 24÷120. Запуск такого режиму вимірювань здійснюється оператором додатково.

Після закінчення вимірювань на екрані монітора блока 11 видається інформація про значення параметрів  $L^3/V$ ,  $\omega$ ,  $\sigma$ ,  $\Delta\rho$ ,  $V$ ,  $L$ , а також формується відповідний документ з результатами вимірювань у базі даних.

Слід відмітити, що запропонований спосіб вимірювання  $MN_{\sigma}$  і пристрій, що його реалізує дозволяють провести вимірювання при низьких кутових швидкостях обертання краплі до утворення в центральній її частині строго циліндричної ділянки, можуть використовуватися також для отримання залежності міжфазного натягу на межі розділу двох рідин у часі, що є важливим при дослідженні і використанні розчинів поверхнево-активних речовин, наприклад в технологічних процесах нафтогазовидобутку.

#### ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

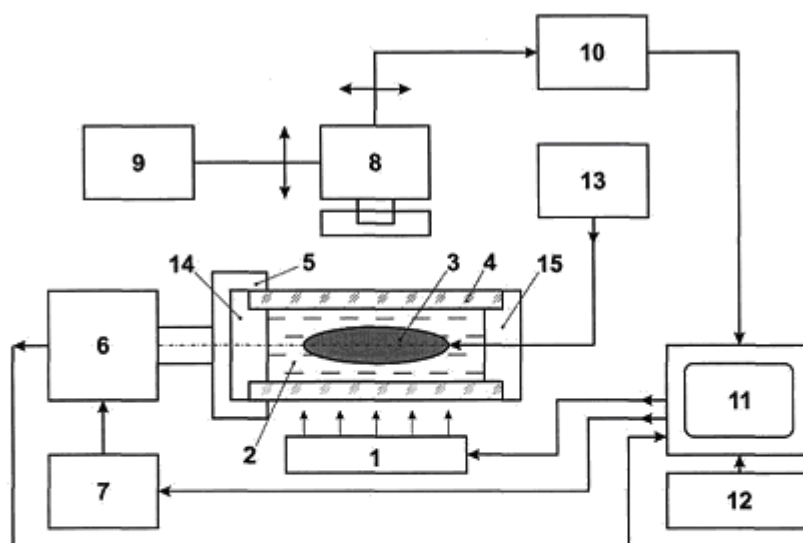
1. Спосіб вимірювання міжфазного натягу на межі розділу двох нерозчинних одна в одній рідин різної густини методом обертової краплі, що включає попереднє визначення різниці густин  $\Delta\rho$  цих рідин, вимірювання довжини  $L$  обертової краплі, сформованої із рідини меншої густини заданого об'єму  $V$ , кутової швидкості обертання краплі  $\omega$ , який **відрізняється** тим, що у процесі вимірювання розраховують співвідношення  $L^3/V$ , забезпечують знаходження цього співвідношення у діапазоні 24-120, а значення міжфазного натягу  $\sigma$  розраховують за такою залежністю:

$$\sigma = \Delta\rho \omega^2 V \left( \frac{A(L^3/V)^2 + B(L^3/V) + C}{L^3/V + D} \right),$$



де  $A = -5,893 \cdot 10^{-6}$ ;  $B = 0,003261$ ;  $C = 0,259$ ;  $D = 3,648$ .

2. Пристрій для вимірювання міжфазного натягу на межі розділу двох нерозчинних одна в одній рідин різної густини методом обертової краплі, що включає блок для формування краплі заданого об'єму із легшої рідини у скляній обертовій циліндричній трубці, попередньо заповненій більш важчою рідиною, вимірювальний електронний мікроскоп для безконтактного вимірювання довжини обертової краплі, механізм для обертання скляної трубки із досліджуваними рідинами, вузол переміщення вимірювального електронного мікроскопа у горизонтальному і вертикальному напрямках, джерело монохромного світла, електронно-обчислювальний блок, який **відрізняється** тим, що додатково включає блок зміни довжини обертової краплі  $L$  для забезпечення такого співвідношення  $L^3/V$  між нею і заданим об'єктом краплі  $V$ , що знаходиться у діапазоні 24-120, яке контролюється і забезпечується електронно-обчислювальним блоком, в якому є відповідне програмне забезпечення для розрахунку міжфазного натягу і забезпечення співвідношення  $L^3/V$  у вказаному діапазоні.



**1** - Джерело монохромного світла; **2** - важча досліджувана рідина; **3** - обертова крапля із легшої досліджуваної рідини; **4** - скляна трубка; **5** - цанговий тримач; **6** - електронний двигун; **7** - блок зміни довжини обертової краплі; **8** - вимірювальний електронний мікроскоп; **9** - вузол переміщення; **10** - пристрій введення відеосигналу; **11** - електронно-обчислювальний блок; **12** - клавіатура; **13** - блок формування краплі заданого об'єму; **14, 15** - пробки