



УКРАЇНА

(19) UA (11) 17100 (13) U  
(51) МПК  
G01N 11/14 (2006.01)МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ  
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту

## (54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ В'ЯЗКОСТІ РІДИНИ

1

2

(21) u200602319

(22) 02.03.2006

(24) 15.09.2006

(46) 15.09.2006, Бюл. № 9, 2006 р.

(72) Науменко Юрій Васильович

(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВОДНОГО  
ГОСПОДАРСТВА ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

(57) 1. Спосіб визначення в'язкості рідини, який полягає у обертанні циліндричного барабана, частково заповненого рідиною, навколо горизонтальної осі, вимірюванні характерного параметра та визначенні в'язкості, який **відрізняється** тим, що швидкість обертання барабана плавно збільшують зі стану спокою до моменту переходу циркуляційного режиму течії досліджуваної рідини в режим пристінкового шару, вимірюють кутову швидкість обертання барабана при утворенні цього шару, а значення в'язкості визначають за величиною швидкості.

2. Спосіб за п.1, який **відрізняється** тим, що камеру барабана заповнюють досліджуваною рідиною на 0,1-0,9 її об'єму.

3. Спосіб за п.1, який **відрізняється** тим, що значення в'язкості визначають із співвідношення:

$$v = \frac{\omega \cdot R^2}{10^{\lg(\text{Re})}},$$

$$\lg(\text{Re}) = (-39,714 \cdot k^4 + 82,031 \cdot k^3 -$$

$$53,919 \cdot k^2 + 9,367 \cdot k + 2,449) \times [\lg(\text{Fr})]^2 + (48,177 \cdot k^4 -$$

$$98,958 \cdot k^3 + 64,245 \cdot k^2 - 11,885 \cdot k - 0,46) \times \lg(\text{Fr}) - 2,604 \cdot k^4 + 7,76 \cdot k^2 - 7,5 \cdot k + 3,173,$$

$$\text{Fr} = \frac{\omega^2 \cdot R}{g},$$

де  $v$  - кінематичний коефіцієнт в'язкості досліджуваної рідини,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;

$\omega$  - кутова швидкість барабана при переході циркуляційного режиму течії досліджуваної рідини в його камері в режим пристінкового шару під час прискорення обертання,  $1/\text{с}$ ;

$R$  - радіус камери барабана,  $\text{м}$ ;

$\text{Re}$  - число Рейнольдса;

$k$  - ступінь заповнення камери барабана досліджуваною рідиною;

$\text{Fr}$  - число Фруда;

$g$  - гравітаційне прискорення,  $\text{м}/\text{с}^2$ .

4. Спосіб за п.1, який **відрізняється** тим, що при дослідженні рідини із екстремальними значеннями в'язкості радіус камери змінного барабана збільшують, причому ступінь заповнення камери зменшують при дослідженні рідини з низькою в'язкістю, а при дослідженні рідини з високою в'язкістю ступінь заповнення збільшують.

5. Спосіб за п.1, який **відрізняється** тим, що при дослідженні обмеженого об'єму рідини радіус камери змінного барабана зменшують до досягнення величини ступеня заповнення діапазону за п.2.

Корисна модель належить до галузі дослідження властивостей текучих середовищ і може бути застосована для визначення в'язкості та інших реологічних характеристик рідин.

Відомий спосіб визначення реологічних властивостей текучих середовищ [1], який полягає у обертанні циліндричного барабана, частково заповненого сипким матеріалом, навколо горизонтальної осі, вимірюванні характерного параметра у вигляді кута нахилу до горизонталі вільної поверхні середовища та визначенні кута природного відкосу сипкого матеріалу.

Недоліком відомого способу є непридатність його для визначення в'язкості рідини, оскільки внаслідок абсолютної текучості кут нахилу до горизонталі її вільної поверхні прямує до нуля.

Відомий також, вибраний як прототип, спосіб визначення в'язкості рідини [2], який полягає у обертанні циліндричного барабана, частково заповненого рідиною, навколо горизонтальної осі, вимірюванні характерного параметра у вигляді кута повороту чутливого елемента та визначенні в'язкості за методом зрівноважування.

Недоліком відомого способу є низька точність визначення в'язкості внаслідок похибок у показах чутливого елемента, спричинених інерційністю та нестійкістю руху обертючих частин пристрою, а також вузький діапазон визначення в'язкості, обумовлений обмеженнями чутливості вимірюючого елемента при низькій та високій в'язкості рідини.

В основу корисної моделі поставлено задачу удосконалення існуючого способу визначення в'яз-

(13) U  
(11) 17100  
(19) UA

кості рідини шляхом вимірювання, як характерного параметра, швидкісної межі переходу, що візуалізується, режимів течії рідини в камері обертового барабана забезпечити підвищення точності визначення в'язкості за рахунок стійкості прояву параметра, що вимірюється, та запобігання впливу на нього інерційності системи, а також забезпечити розширення діапазону визначення в'язкості за рахунок чутливого реагування величини вимірюваного параметра на зниження і підвищення в'язкості та можливості змінювання радіуса і ступеня заповнення камери для підвищення чутливості.

Вирішення поставленої технічної задачі досягається тим, що в способі визначення в'язкості рідини, який полягає у обертанні циліндричного барабана, частково заповненого рідиною, навколо горизонтальної осі, вимірюванні характерного параметра та визначенні в'язкості, згідно корисної моделі, швидкість обертання барабана плавно збільшують зі стану спокою до моменту переходу циркуляційного режиму течії досліджуваної рідини в режим пристіночного шару, вимірюють кутову швидкість обертання барабана при утворенні цього шару, а значення в'язкості визначають за величиною швидкості. Це здійснення способу є таким, якому віддається перевага з точки зору підвищення точності визначення в'язкості шляхом підвищення стійкості прояву параметра, що вимірюється, та запобігання впливу на нього інерційності системи.

В окремих випадках здійснення корисної моделі камеру барабана заповнюють досліджуваною рідиною на 0,1-0,9 її об'єму. Це здійснення способу є таким, якому віддається перевага з точки зору підвищення точності визначення в'язкості шляхом спрощення візуалізації переходу режимів течії рідини в камері, оскільки при ступені заповнення нижче 0,1 внаслідок виникнення вторинних течій та плавності переходу режимів [3] визначення швидкісної межі утруднено, а при ступені вище 0,9 величина зазначеної межі суттєво зростає, що затруднює її вимірювання.

Крім того, значення в'язкості визначають із співвідношення:

$$v = \frac{\omega \cdot R^2}{10 \lg(Re)},$$

$$\lg(Re) = (-39,714 \cdot k^4 + 82,03 \cdot k^3 - 53,919 \cdot k^2 + 9,367 \cdot k + 2,449) \times [\lg(Fr)]^2 + (48,177 \cdot k^4 - 98,958 \cdot k^3 + 64,245 \cdot k^2 - 11,885 \cdot k - 0,46) \times [\lg(Fr) - 2,604 \cdot k^4 + 7,76 \cdot k^2 - 7,5 \cdot k + 3,173,$$

$$Fr = \frac{\omega^2 \cdot R}{g},$$

де  $v$  - кінематичний коефіцієнт в'язкості досліджуваної рідини,  $m^2/s$ ;

$\omega$  - кутова швидкість барабана при переході циркуляційного режиму течії досліджуваної рідини в його камері в режим пристіночного шару під час прискорення обертання,  $1/s$ ;

$R$  - радіус камери барабана,  $m$ ;

$Re$  - число Рейнольдса;

$K$  - ступінь заповнення камери барабана досліджуваною рідиною;

$Fr$  - число Фруда;

$g$  - гравітаційне прискорення,  $m/s^2$ . Це здійснення способу є таким, якому віддається перевага

з точки зору чисельного визначення в'язкості досліджуваної рідини на основі реєстрування швидкісної межі переходу режимів течії в обертовій камері із урахуванням нелінійного впливу критеріїв подібності руху - числа Рейнольдса, числа Фруда та ступеня заповнення камери.

Крім того, при дослідженні рідини із екстремальними значеннями в'язкості радіус камери змінного барабана збільшують, причому ступінь заповнення камери зменшують при дослідженні рідини з низькою в'язкістю, а при дослідженні рідини з високою в'язкістю ступінь заповнення збільшують. Це здійснення способу є таким, якому віддається перевага з точки зору розширення діапазону визначення в'язкості шляхом спрощення візуалізації переходу режимів течії, оскільки при дослідженні рідини у випадку малого радіуса та великого ступеня заповнення камери суттєво зростає величина швидкісної межі переходу режимів, що затрудняє її вимірювання, а при дослідженні рідини з високою в'язкістю у випадку малих радіуса та ступеня заповнення камери внаслідок виникнення вторинних течій визначення межі переходу режимів течії утруднено.

Крім того, при дослідженні обмеженого об'єму рідини радіус камери змінного барабана зменшують до досягнення величини ступеня заповнення діапазону 0,1-0,9. Це здійснення способу є таким, якому віддається перевага з точки зору підвищення точності визначення в'язкості малого об'єму рідини шляхом спрощення візуалізації переходу режимів, оскільки при ступені заповнення нижче 0,1 внаслідок вторинних течій визначення швидкісної межі утруднено.

Суть корисної моделі пояснюється графічними зображеннями:

на Фіг.1 показано схему циркуляційного режиму течії рідини в камері обертового барабана;

на Фіг.2 - схему режиму пристіночного шару течії рідини в камері;

на Фіг.3 - графіки меж переходу циркуляційного режиму течії рідини у камері в режим пристіночного шару при прискоренні обертання барабана.

На рідину, що частково заповнює камеру обертового барабана, діє гравітаційне та інерційне відцентрове силове поле. При низькій швидкості обертання барабана переважає гравітаційне поле і виникає циркуляційний режим течії переважно в нижній частині камери, показаний на фіг.1. При високій швидкості обертання переважає інерційне відцентрове поле і виникає режим течії у вигляді пристіночного шару, розподіленого по радіальній поверхні камери, показаний на фіг.2.

На Фіг.3 зображено одержані за допомогою чисельних та експериментальних методів [3] графіки меж переходу циркуляційного режиму течії у камері в режим пристіночного шару, під час прискорення обертання барабана, в логарифмічних осях число Рейнольдса  $Re = \omega \cdot R^2 / \nu$  та число Фруда  $Fr = \omega^2 \cdot R / g$  для п'яти значень ступеня заповнення камери  $k$ .

При великих  $Re$  перехід режимів течії є явно вираженим. При малих  $Re$  внаслідок прояву ефекту прилипання до стінки камери та злипання шарів рідини розвиваються вторинні циркуляційні течії у вигляді валика на поверхні шару. Внаслідок плав-

ності зміни течії у вигляді деформації вільної поверхні перехід режимів стає неявно вираженим. Тому точне визначення за допомогою візуалізації такої швидкісної межі переходу режимів течії суттєво утруднюється.

З метою визначення співвідношення для розрахунку в'язкості рідини застосовується інтерполя-

ція. За функцію двовимірної інтерполяції прийнято  $\lg(\text{Re})$  за аргументи  $-\lg(\text{Fr})$  та  $\kappa$ . Прийнято рівномірну сітку із п'ятнадцятьма вузлами з координатами:  $\lg(\text{Fr})=0, 1$  та  $2, \kappa=0,1, 0,3, 0,5, 0,7$  та  $0,9$ . В таблиці наведено прийняті значення функції у вузлах інтерполявання.

Таблиця

Значення функції у вузлах інтерполявання

№	Аргументи		Функція $\lg(\text{Re})$
	$\kappa$	$\lg(\text{Fr})$	
1	0,1	0	2,5
2	0,1	1	4,325
3	0,1	2	12
4	0,3	0	1,6
5	0,3	1	3,375
6	0,3	2	9,75
7	0,5	0	1,2
8	0,5	1	2,925
9	0,5	2	7,5
10	0,7	0	1,1
11	0,7	1	2,6125
12	0,7	2	6,5
13	0,9	0	1
14	0,9	1	2,3
15	0,9	2	5,5

Застосовано інтерполяційний многочлен Лагранжа. Інтерполяційна формула має вигляд

$$\lg(\text{Re})=(a_0 \cdot \kappa^4 + a_1 \cdot \kappa^3 + a_2 \cdot \kappa^2 + a_3 \cdot \kappa + a_4) \times [\lg(\text{Fr})]^2 + (b_0 \cdot \kappa^4 + b_1 \cdot \kappa^3 + b_2 \cdot \kappa^2 + b_3 \cdot \kappa + b_4) \times \lg(\text{Fr}) + (c_0 \cdot \kappa^4 + c_1 \cdot \kappa^3 + c_2 \cdot \kappa^2 + c_3 \cdot \kappa + c_4)$$

Остаточний вираз для  $v$  має вигляд

$$v = \frac{\omega \cdot R^2}{10^{\lg(\text{Re})}},$$

Після визначення коефіцієнтів  $a_0 \dots a_4, b_0 \dots b_4$  та  $c_0 \dots c_4$  за значеннями функції у вузлах інтерполявання вираз для інтерполяційної формули має вигляд

$$\lg(\text{Re})=(-39,714 \cdot \kappa^4 + 82,031 \cdot \kappa^3 - 53,919 \cdot \kappa^2 + 9,367 \cdot \kappa + 2,449) \times [\lg(\text{Fr})]^2 + (48,177 \cdot \kappa^4 - 98,958 \cdot \kappa^3 + 64,245 \cdot \kappa^2 - 11,885 \cdot \kappa - 0,46) \times \lg(\text{Fr}) - 2,604 \cdot \kappa^4 + 7,76 \cdot \kappa^2 - 7,5 \cdot \kappa + 3,173.$$

При  $\kappa < 0,1$  та  $\kappa > 0,9$  величина  $v$  визначається екстраполяванням.

Розрахувати величину в'язкості рідини можна за допомогою нескладних комп'ютерних програм.

Для здійснення заявленого способу може бути використаний пристрій, який включає декілька змінних барабанів із циліндричними камерами різного радіуса. З метою запобігання несприятливого впливу на точність вимірювання крайового ефекту на торцевих стінках, довжина кожної камери перевищує її діаметр. Для візуалізації течії в камері, торцеву стінку барабана виконано з прозорого матеріалу. Привод для обертання барабана навколо горизонтальної осі виконано із можливістю плавної зміни швидкості та обладнано датчиком кутової швидкості обертання барабана. Пристрій також обладнано приладом для вимірювання об'єму порції досліджуваної рідини.

Заявлений спосіб здійснюється таким чином.

Попередньо оцінюється величина в'язкості досліджуваної рідини. Вибирається барабан із каме-

рою відповідного радіуса. Вибирається ступінь заповнення камери та вимірюється об'єм порції рідини. Барабан з рідиною приводиться в обертання і через прозору стінку ведеться спостереження за течією в камері. Плавню збільшуючи швидкість обертання барабана зі стану спокою реєструється момент переходу циркуляційного режиму течії рідини у режим пристіночного шару та вимірюється величина кутової швидкості обертання, що відповідає межі переходу режимів. За значенням швидкості обертання, із урахуванням величин радіуса та ступеня заповнення камери, розраховується значення в'язкості досліджуваної рідини. При необхідності уточнення одержаного результату вибирається інша ступінь заповнення камери або змінний барабан із камерою іншого радіуса і повторюється зазначена послідовність дій.

Приклад 1 здійснення способу. За попередньою оцінкою величина в'язкості досліджуваної рідини середня. Прийнято барабан із камерою радіусом  $R=0,05\text{м}$ . Прийнято ступінь заповнення камери порцією рідини  $\kappa=0,45$ . Виміряна величина швидкості обертання барабана при переході режимів складає  $\omega=55\text{ 1/с}$ .

Величину кінематичного коефіцієнта в'язкості рідини  $\nu$  розраховують у такий спосіб:

$$\text{Fr} = \frac{55^2 \cdot 0,05}{9,81} = 15,418;$$

$$\lg(\text{Re})=(-39,714 \cdot 0,45^4 + 82,031 \cdot 0,45^3 - 53,919 \cdot 0,45^2 + 9,367 \cdot 0,45 + 2,449) \times [\lg(15,418)]^2 + (48,177 \cdot 0,45^4 - 98,958 \cdot 0,45^3 + 64,245 \cdot 0,45^2 - 11,885 \cdot 0,45 - 0,46) \times \lg(15,418) - 2,604 \cdot 0,45^4 + 7,76 \cdot 0,45^2 - 7,5 \cdot 0,45 + 3,173 = 3,699;$$

$$v = \frac{55 \cdot 0,05^2}{10^{3,699}} = 10^{-4,5607} \text{ і } 2 / \text{ї.}$$

Приклад 2. За попередньою оцінкою величина в'язкості низька. Прийнято:  $R=0,1\text{м}$ ,  $\kappa=0,15$ . Виміряно:  $\omega=53 \text{ 1/с}$ .

$$Fr = \frac{53^2 \cdot 0,1}{9,81} = 28,634;$$

$$\lg(Re) = (-39,714 \cdot 0,15^4 + 82,031 \cdot 0,15^3 - 53,919 \cdot 0,15^2 + 9,367 \cdot 0,15 + 2,449) \times [\lg(28,634)]^2 + (48,177 \cdot 0,15^4 - 98,958 \cdot 0,15^3 + 64,245 \cdot 0,15^2 - 11,885 \cdot 0,15 - 0,46) \times \lg(28,634) - 2,604 \cdot 0,15^4 + 7,76 \cdot 0,15^2 - 7,5 \cdot 0,15 + 3,173 = 1,5688;$$

$$Fr = \frac{53 \cdot 0,05^2}{10^{6,759}} = 10^{-7,0347} \text{ і } 2 / \text{ї.}$$

Приклад 3. За попередньою оцінкою величина в'язкості висока. Прийнято:  $R=0,15\text{м}$ ,  $\kappa=0,85$ . Виміряно:  $\omega=16 \text{ 1/с}$ .

$$Fr = \frac{16^2 \cdot 0,15}{9,81} = 9,9144;$$

$$\lg(Re) = (-39,714 \cdot 0,85^4 + 82,031 \cdot 0,85^3 - 53,919 \cdot 0,85^2 + 9,367 \cdot 0,85 + 2,449) \times [\lg(9,9144)]^2 + (48,177 \cdot 0,85^4 - 98,958 \cdot 0,85^3 + 64,245 \cdot 0,85^2 - 11,885 \cdot 0,85 - 0,46) \times \lg(9,9144) - 2,604 \cdot 0,85^4 + 7,76 \cdot 0,85^2 - 7,5 \cdot 0,85 + 3,173 = 1,5688;$$

$$v = \frac{16 \cdot 0,15^2}{10^{1,5688}} = 10^{-2,0125} \text{ і } 2 / \text{ї.}$$

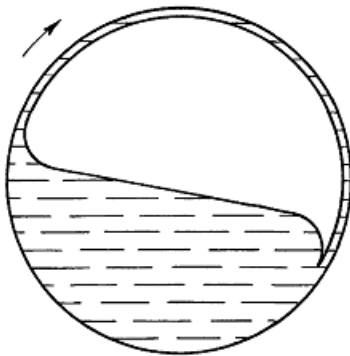
Здійснення заявленого способу дозволяє підвищити точність та розширити діапазон визначення в'язкості.

Джерела інформації:

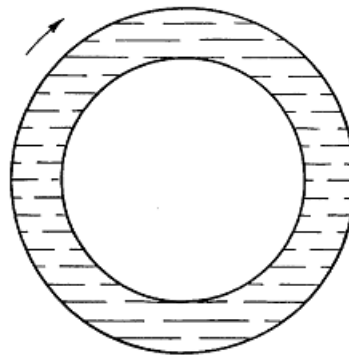
1. А.с. СРСР №478192, кл. G01F13/00, G01C9/00, 1975, Бюл. №27.

2. Пат. України №51256 С2, кл. G01N11/14, 2004, Бюл. №9.

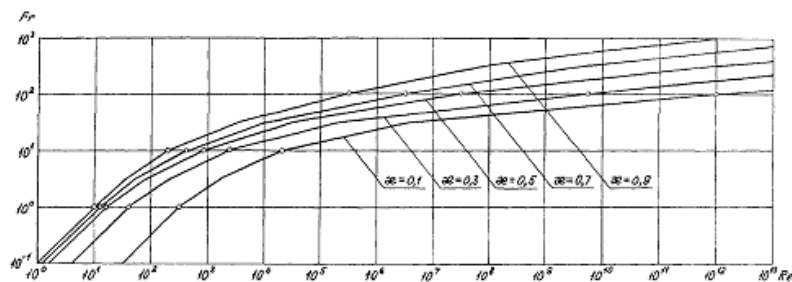
3. Науменко Ю.В. Режимный гистерезис вязкого течения со свободной поверхностью в горизонтальном вращающемся цилиндре // Приклад. гідромеханіка. - 2001. - Т.3(75), №2. - С.25-31.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3