



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **39001** (13) **U**  
(51) **МПК (2009)**  
**G01N 1/16**  
**G01N 1/10**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

**(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РІДИН ТА РІДИННИХ СИСТЕМ**

1

2

(21) u200812613

(22) 28.10.2008

(24) 26.01.2009

(46) 26.01.2009, Бюл.№ 2, 2009 р.

(72) БУЛАВІН ЛЕОНІД АНАТОЛІЙОВИЧ, UA, НІКОЛАЄНКО ТИМОФІЙ ЮРІЙОВИЧ, UA

(73) БУЛАВІН ЛЕОНІД АНАТОЛІЙОВИЧ, UA, НІКОЛАЄНКО ТИМОФІЙ ЮРІЙОВИЧ, UA

(57) Пристрій для вимірювання реологічних характеристик рідин і рідинних систем, що містить у своєму складі циліндричну посудину, заповнену досліджуваною рідиною чи рідинною системою і закріплену одним з кінців нерухомо, та джерело періодичної у часі сили, який **відрізняється** тим,

що джерело періодичної у часі сили виконане у вигляді постійного магніту, першого генератора змінного струму та дрютяної рамки, яка закріплена на вільному кінці циліндричної посудини, електрично з'єднана з першим генератором змінного струму і розміщена в магнітному полі постійного магніту, додатково містить другий генератор змінного струму, а для реєстрації амплітуди коливань вільного кінця посудини на ньому закріплена плоска котушка, підключена до другого генератора змінного струму, а в площинах, паралельних до котушки, з двох її боків розміщені дві додаткові плоскі котушки, підключені до приладу вимірювання амплітуди електричного сигналу.

Пристрій для вимірювання реологічних характеристик рідин та рідинних систем відноситься до галузі вимірювання фізико-механічних властивостей рідких речовин, а саме - до дослідження таких характеристик, як в'язкість, зсувний модуль тощо і може бути застосований також в галузі медичних досліджень.

Відомий пристрій для визначення характеристик фізико-механічних властивостей рідин, зокрема кінематичної в'язкості, який містить капілярну трубку відомих розмірів, насос з привідним механізмом для прокачування досліджуваної рідини скрізь капілярну трубку, манометр для вимірювання перепаду тиску, систему трубопроводів, зливну трубку, термостатуючу ванну з мінеральним маслом та нагрівачі [Карташов Н.Н. Вискозиметры (обзор иностранных патентов), Труды ЦНИИПИ, Москва, - 1966. - №2. - С.3-26. Фіг.1 на с.5].

Недоліком капілярних вискозиметрів є можливість закупорювання капілярної трубки при дослідженні консистентних речовин, що обмежує їх використання.

Відомі ротаційні пристрої для визначення реологічних властивостей рідин, що містять циліндр, конус або пластину, які мають можливість обертатися в необмеженій рідині, та пристрій для вимірювання напруг, що виникають при роботі з в'язкопружними речовинами [Карташов Н.Н.

Вискозиметры (обзор иностранных патентов), Труды ЦНИИПИ, Москва, - 1966. - №2. - С.3 - 26. Фіг.6-12 на с.11-19].

Недоліком ротаційних пристроїв є суттєвий вплив на результати вимірювань власних коливань підвісної системи, які виникають при обертанні твердого тіла (циліндра, конуса чи пластини) в речовині з малою в'язкістю.

Придатними для визначення таких реологічних характеристик консистентних рідин, як в'язкість та зсувний модуль, є пристрої, що побудовані на використанні крутильного маятника. Відомий пристрій для вимірювання внутрішнього тертя і модуля зсуву матеріалів [А.С. СССР №332367. МПК<sup>2</sup> G01N11/16, бюл. №10, 1972р.] містить вакуумну камеру з розташованим у ній крутильним маятником зворотного типу, два захвати для кріплення досліджуваного зразка, один з яких зв'язано з віссю крутильного маятника і виконано у вигляді затравки, а другий захват виконано у вигляді тигля з затверділою речовиною зразка. Крім того, другий захват встановлено з можливістю переміщення в напрямку до першого захвату. За допомогою такого пристрою можна досліджувати реологічні характеристики зразків речовини, яка перебуває як в твердому, так і рідкому стані, а також в стані кристалізації.

(19) **UA** (11) **39001** (13) **U**

Недоліком такого пристрою є загроза руйнування внутрішньої структури досліджуваної консистентної рідини, яка знаходиться між першим та другим захватами, а також загроза неповної передачі зсувних напружень рідині під час роботи пристрою.

Відомий інший пристрій для вимірювання внутрішнього тертя та зсувного модуля матеріалів за методом затухання вільних коливань крутильного маятника [А.С. СССР №562751. МПК<sup>2</sup> G01N11/16, бюл. №23, 1977р.] містить крутильний маятник, інерційне тіло якого зв'язано з одним з затискачів досліджуваного зразка, електромагніт, що встановлено на одній вісі з інерційним тілом та розташовано над останнім, задавач сили, силувимірюючий перетворювач, регулятор струму, елемент порівнювання та систему збудження і реєстрації коливань. При вимірюванні внутрішнього тертя та зсувного модуля в'язких рідин у якості досліджуваного зразка використовують інертну основу, наприклад, нитку з твердого матеріалу, вкриту шаром досліджуваної рідини завтовшки 10...40мкм.

Недоліком такого пристрою є неможливість вимірювання зсувного модуля рідин з низькою в'язкістю або рідин, які швидко випаровуються у навколишнє середовище, оскільки в обох випадках шар досліджуваної рідини, нанесений на інертну основу з часом змінюватиме свої характеристики (товщину, загальну масу нанесеної рідини тощо).

Відомий більш досконалий пристрій для вимірювання коефіцієнта в'язкості рідини [Соловьев А. Н., Михайлов Л.Е., Похвалов Ю.Е., Томашевич Г.П. "Вискозиметр для легкоплавких металлов", журн. "Передовой научно-технический и производственный опыт", М., 1957г., тема 39, №П-57-96/7, с.3-17 (див. Фіг.1 на с.4, Фіг.2 на с.5 та Фіг.3 на с.6 даної статті та текст статті на с.3-12)], що містить крутильний маятник, підвішений за допомогою підвісної системи до основи, циліндричну металеву посудину (тигель) для досліджуваної рідини (розплаву), прикріплену своїм верхнім кінцем до стрижня підвісу крутильного маятника, який у свою чергу закріплено на пружній металевій нитці, та систему збудження та реєстрації коливань маятника. Циліндрична посудина виконана у вигляді стакану з сталі і розташована всередині трубчатої електричної печі, над якою знаходиться водяний екран для захисту пружної нитки підвісу від нагріву. Температуру досліджуваної рідини (розплаву) в циліндричній посудині вимірюють за допомогою додаткового тигля, розташованого нижче від неї. Вся система розміщена у вакуумному кожусі з водяним екраном.

Недоліком цього відомого пристрою є суттєва залежність точності одержуваних результатів від точності дотримання заданих параметрів при виготовленні циліндричної посудини (чистоти внутрішньої поверхні, сталого вздовж посудини з високою точністю внутрішнього діаметру тощо) та сталості пружних параметрів нитки підвісу посудини. Окрім цього, для вимірювань за допомогою такого пристрою необхідно використовувати значний об'єм рідини, що у випадку зміни властивостей рідини в ході вимірювання (наприклад, при фазовому переході) може значною мірою змінювати момент інерції системи і, як наслідок, спотворюва-

ти результати вимірювань. При коливанні циліндричної посудини з рідиною по поверхні контакту досліджуваної рідини із циліндричною посудиною виникають зсувні напруження. Оскільки рідини мають низьку міцність на зсув, внаслідок цього згодом напруження можуть відірвати рідину від поверхні циліндричної посудини, спотворюючи тим самим значення вимірюваного зсувного модуля рідини, що є основним недоліком пристрою, який обмежує його використання при дослідженні реологічних властивостей консистентних рідин.

Найбільш близьким до запропонованого за сукупністю ознак і технічному результату є пристрій для визначення реологічних характеристик рідин і рідинних систем, що містить основу, крутильний маятник та циліндричну посудину для досліджуваної рідини, закріплену своїм верхнім кінцем на металевому стрижні крутильного маятника, систему збудження та реєстрації коливань; циліндрична посудина для досліджуваної рідини виконана з еластичного матеріалу, а нижній її кінець закріплено нерухомо відносно основи [див. пат. України №78094 на винахід «Спосіб визначення реологічних характеристик консистентних рідин», МПК(2006) G01N11/16 (2007.01), G01N11/10, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Л.А. Булавін, Ю.Ф. Забашта, О.Ю. Актан, Т.Ю. Ніколаєнко. - Опубл.15.02.2007. Бюл. №2. Заявка u200502350 від 15.03.2005р.], який вибрано за прототип. Такий пристрій для визначення реологічних характеристик консистентних рідин на основі крутильного маятника з циліндричною посудиною для досліджуваної рідини дозволяє здійснювати затухаючі коливання крутильного маятника без відриву шарів досліджуваної рідини від поверхні циліндричної посудини при виникаючих напруженнях, запобігаючи тим самим спотворенню значення вимірюваного параметру, наприклад в'язкості або зсувного модуля рідини, що підвищує точність вимірювань.

Разом з тим, як показує практика, використання згаданого пристрою, при вимірюванні реологічних характеристик речовин з достатньо високою в'язкістю амплітуда вільних коливань крутильного маятника затухає настільки швидко, що стає неможливо зареєструвати її для такої кількості послідовних коливань, якої достатньо для надійного обчислення за наведеними у згаданому патенті формулами декременту затухання і уявної частини модуля зсуву. Це обмежує область застосування такого пристрою, причому таке обмеження не може бути усунене модифікацією системи реєстрації параметрів коливань, а обумовлене використанням в пристрої режиму вільних коливань.

В основу корисної моделі поставлено задачу створити такий пристрій для визначення реологічних характеристик рідин та рідинних систем з циліндричною посудиною для досліджуваної рідини, який би дозволяв здійснювати вимірювання коефіцієнта затухання коливань циліндричної посудини з достатньою точністю при вимірюванні реологічних характеристик речовин з суттєвими дисипативними властивостями.

Поставлена задача вирішується за рахунок того, що в пристрої для вимірювання реологічних характеристик рідин і рідинних систем, що містить

циліндричну посудину, заповнену досліджуваною рідиною чи рідинною системою, і закріплену одним з кінців нерухомо, та джерело періодичної у часі сили, останнє виконане у вигляді постійного магніту, першого генератора змінного струму та дрютяної рамки, яка закріплена на вільному кінці циліндричної посудини, електричне з'єднана з першим генератором змінного струму і розміщена в магнітному полі постійного магніту, додатково містить другий генератор змінного струму, а для реєстрації амплітуди коливань вільного кінця посудини на ньому закріплена плоска котушка, підключена до другого генератора змінного струму, а в площинах, паралельних до котушки, з двох її боків розміщені дві додаткові плоскі котушки, підключені до приладу вимірювання амплітуди електричного сигналу.

Таке технічне рішення забезпечує підвищення точності вимірювань реологічних характеристик рідин і рідинних систем завдяки можливості визначення коефіцієнта згашання коливань зразка шляхом апроксимації за методом найменших квадратів залежності амплітуди коливань вільного кінця циліндричної посудини від частоти джерела періодичної у часі сили, а також - розширює сферу застосування пристрою (зокрема, за допомогою цього пристрою можна вимірювати характеристики рідин та рідинних систем під час їх фазового переходу, та - сильно в'язких рідин), та спрощує автоматизацію процесу вимірювань.

Конструкція та принцип дії запропонованого пристрою пояснюються блок-схемою (Фіг.1).

Пристрій для вимірювання реологічних характеристик рідин і рідинних систем містить циліндричну посудину, наприклад трубку 1 з пластмаси, заповнену досліджуваною рідиною чи рідинною системою 2, тримач 3, в якому нерухомо закріплено один з кінців (лівий на Фіг.1) трубки 1, джерело періодичної у часі сили, та систему реєстрації амплітуди коливань вільного (правого на Фіг.1) кінця трубки.

Джерело періодичної у часі сили виконане у вигляді постійного магніту 4 (розташованого так, що напрямок вектора індукції магнітного поля В перпендикулярний до площини малюнка), дрютяної рамки 5 і першого генератора змінного струму 6. Дрютяна рамка 5 (розташована в площині малюнка) закріплена на вільному (правому на Фіг.1) кінці трубки 1, підключена до першого генератора змінного струму 6 і вміщена у магнітне поле постійного магніту.

Система реєстрації амплітуди коливань вільного кінця трубки 1 виконана у вигляді плоскої котушки 7, закріпленої на вільному кінці трубки 1 та підключеної до другого генератора змінного струму 8, та двох додаткових котушок 9 і 10, розміщених в площинах, паралельних до котушки 7, з двох її боків, та підключених до приладу для вимірювання амплітуди електричного сигналу 11. Останній може бути виконаний у вигляді ПЕОМ, що містить звукову плату. Котушки 9 і 10 виконані з однакового дрюту, мають однакові геометричні розміри і однакову кількість витків. Котушки 9 і 10 встановлені на однакових відстанях від котушки 7.

Пристрій для вимірювання реологічних характеристик рідин і рідинних систем працює наступним чином. Змінний струм заданої частоти со від

першого генератора змінного струму 6, проходячи дрютяною рамкою 5, взаємодіє з магнітним полем В постійного магніту 4. Внаслідок цього на рамку 5, закріплену на вільному кінці трубки 1, діє сила Ампера, пропорційна струмові, і направлена перпендикулярно до осі трубки. Таким чином, рамка 5, перший генератор змінного струму 6 і постійний магніт 4 утворюють та працюють як джерело періодичної у часі сили.

Заповнена досліджуваною рідиною 2 трубка 1 являє собою коливальну систему з розподіленими параметрами, яка характеризується основною власною частотою коливань  $\omega_0$  і коефіцієнтом згашання  $\beta$ . Як відомо з теорії коливань, зі зміною частоти  $\omega$  періодичної у часі сили, що діє на вільний кінець трубки з боку рамки 5, амплітуда А коливань вільного кінця трубки теж буде змінюватися, досягаючи максимуму при збігу  $\omega$  з резонансною частотою  $\sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}$  (резонансний ефект).

Для вимірювання реологічних характеристик рідини або рідинної системи 2 за допомогою запропонованого пристрою вимірюють залежність амплітуди А коливань вільного кінця трубки від частоти  $\omega$ , за результатами цих вимірювань знаходять основну власну частоту  $\omega_0$  і коефіцієнт згашання  $\beta$  коливальної системи, а за їх значеннями розрахунковим шляхом визначають шукані реологічні характеристики (комплексний модуль Юнга, в'язкість тощо) рідини або рідинної системи. При цьому вимірювання амплітуди А коливань вільного кінця трубки здійснюють за допомогою системи реєстрації амплітуди коливань вільного кінця трубки наступним чином. Змінний струм від другого генератора змінного струму 8 (частотою, наприклад, 2кГц) подається на плоску котушку 7, закріплену на вільному кінці трубки 1. Це призводить до виникнення довкола котушки 7 змінного магнітного поля, яке індукує е.р.с. в додаткових котушках 9 і 10, розміщених по обидва боки від котушки 7, причому, як показує розрахунок, різниця е.р.с. індукції котушок 9 і 10 є пропорційною до відхилення вільного кінця трубки 1 від положення рівноваги. Завдяки цій обставині амплітуда А коливань вільного кінця трубки пропорційна різниці е.р.с. індукції котушок 9 та 10 і тому вимірюється приладом для вимірювання амплітуди електричного сигналу 11.

При виконанні приладу для вимірювання амплітуди електричного сигналу 11 у вигляді ПЕОМ зі звуковою платою задавання частоти  $\omega$  першого генератора змінного струму 6 може бути виконано за допомогою цифрового інтерфейсу (схематично зображений на Фіг.1 зігнутою під кутом 90° стрілкою). В такому разі керування процесом вимірювань реалізується за допомогою спеціальної програми ПЕОМ.

Для того, щоб запобігти спотворенню коливальних характеристик трубки 1, дрютяна рамка 5 і котушка 7 повинні виконуватися з дрюту такого діаметру і мати такі геометричні розміри, щоб їх маса була значно меншою, ніж сумарна маса трубки 1 і досліджуваної рідини або рідинної системи 2 в ній.

Запропоноване технічне рішення дозволяє, у порівнянні з прототипом, підвищити точності вимірювань реологічних характеристик рідин і рідинних систем завдяки більшій точності визначення коефіцієнта затухання шляхом апроксимації за методом найменших квадратів залежності амплітуди коливань вільного кінця циліндричної посудини від

частоти періодичної у часі сили, розширити сферу застосування пристрою, зокрема за допомогою цього пристрою можна вимірювати характеристики рідин та рідинних систем під час їх фазового переходу та сильно в'язких рідин, спростити реалізацію автоматизації процесу вимірювань.

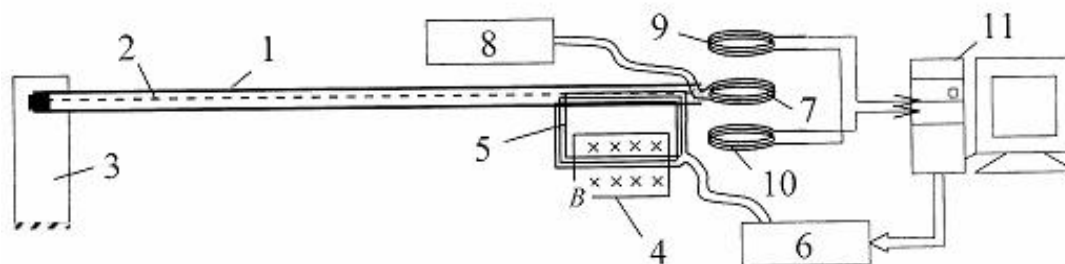


Fig. 1