

УДК 532.13

ПРИБОР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГЕТЕРОГЕННЫХ СРЕД

© 2012 Е.Н. Политов, С.Ф. Яцун, Д.И. Сафаров

Юго-Западный государственный университет, г. Курск

Поступила в редакцию 27.11.2012

В статье предлагается конструктивная схема прибора для исследования реологических свойств гетерогенных сред, основанного на изучении кольцевого сдвигового течения. Особое внимание уделяется средам, изменяющим свои свойства за малый промежуток времени, соизмеримый со временем проведения измерений.

Ключевые слова: прибор, гетерогенная среда, реологические свойства

Исследование реологических параметров гетерогенных сред является важной задачей во многих отраслях промышленности: пищевой, автомобильной, химической, в медицине. Принципиальным является обеспечение непрерывного контроля за свойствами продукта при высокой точности и автоматизации измерений. В данной работе предлагается принципиальная схема устройства для мониторинга реологических параметров таких веществ, как загрязнённые автомобильные масла, пищевые продукты, различные коллоидные растворы и т.п. Гетерогенными называют неоднородные среды, включающие вещества в разных агрегатных состояниях (фазах) [1]. В такой среде, как правило, можно выделить границы раздела, отделяющую одну непрерывную фазу от другой, причём при переходе через такие границы свойства среды меняются скачкообразно. Обобщённо материал представляет собой неньютоновскую жидкость с наличием твёрдых, жидких и газообразных включений, тензор напряжений которой представляет собой зависимость от таких параметров, как скорости деформаций, объёмная концентрация включений, окружающая температура. Существенные изменения в исходные реологические характеристики гетерогенной среды вносит наличие твёрдой фазы и изменение во времени её удельной объёмной концентрации. На сегодняшний день актуальными являются вопросы изучения свойств сил невязкого трения различного происхождения в гетерогенной среде и их влияние на вязкость и другие реологические свойства, исследование реологических характеристик материала в широком диапазоне градиентов сдвиговых скоростей, изучение свойств неустойчивых сред и др.

Если свойства среды (например, вязкость μ) существенно изменяются за время, сопоставимое со временем исследования (см. рис. 1а), то такую

среду считают неустойчивой в отличие от устойчивой, измеряемые параметры которой остаются приблизительно неизменными в течение сравнительно продолжительного промежутка времени (рис. 1б). Если для устойчивой среды измеряемый в течение малого промежутка времени τ параметр μ остаётся неизменным в течение длительного периода жизнедеятельности среды T , то для неустойчивой среды определяется усреднённое значение измеряемого параметра, которое зависит от интервала времени, на котором осуществляются измерения. На рис. 1а показано влияние интервала времени τ на среднюю величину параметра μ ; на рис. 1б – пример устойчивой среды.

$$\mu_{\infty} = \frac{\int_0^T \mu dt}{T} \quad \mu_{\tau_1} = \frac{\int_0^{\tau_1} \mu dt}{\tau_1} \quad \mu_{\tau_2} = \frac{\int_0^{\tau_2} \mu dt}{\tau_2}, \quad (1)$$

где μ_{∞} – реологический параметр среды в течение длительного промежутка времени; μ_{τ_1} – реологический параметр, измеренный за время τ_1 ; μ_{τ_2} – реологический параметр, измеренный за время τ_2 ; T – время жизнедеятельности среды ($\tau_i < T$).

Очевидно, что для устойчивой среды (рис. 1б) $\mu_{\infty} = \mu_{\tau}$ в то время как для неустойчивой среды (рис. 1а) вообще говоря $\mu_{\infty} \neq \mu_{\tau}$. Кроме того, возможны случаи когда $\mu_{\infty} \gg \mu_{\tau}$ или $\mu_{\infty} \ll \mu_{\tau}$. В связи с этим возникает вопрос выбора временного интервала измерения параметров неустойчивой среды. Примерами неустойчивых сред являются среды типа «вода-песок», многие пищевые продукты, коллоидные растворы и т.п. при соответствующих условиях.

С целью расширения круга исследовательских вопросов при динамических испытаниях гетерогенных сред предлагается метод центробежного моделирования, сущность которого заключается в получении зависимости напряжений сдвига от скорости деформации среды, находящейся в кольцевом зазоре между двумя коаксиальными цилиндрами для различных значений центростремительного ускорения. Такая технология измерений возможна при обеспечении вращения обоих цилиндров от независимых приводов. Схема прибора приведена на рис. 2.

Политов Евгений Николаевич, кандидат технических наук, доцент. E-mail: polotovuevgeny@rambler.ru
Яцун Сергей Фёдорович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической механики и мехатроники. E-mail: teormeh@inbox.ru
Сафаров Джамил Илдир Оглы, кандидат технических наук, доцент

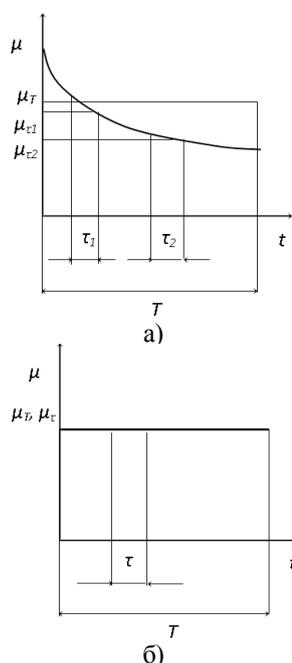


Рис. 1. Изменение реологического параметра среды: а – неустойчивая среда; б – устойчивая среда

Предложенный метод позволяет осуществлять воздействие на исследуемый материал, управляемым за счёт регулирования относительной скорости вращения цилиндров центробежным полем, что даёт возможность исследования реологических параметров среды в широком диапазоне градиентов скоростей сдвига и профилей течения. В частности, появляется возможность обеспечения малой (или даже квазиуравновешенной) относительной угловой скорости цилиндров при близких абсолютных скоростях вращения, что существенно, в частности, для продуктов резко меняющих реологические свойства при перемешивании.

Исследование поведения среды в центробежном поле позволяет исследовать влияние объёмной концентрации твёрдых и других включений на реологические свойства вещества в целом. Воздействие управляемого центробежного поля позволяет проследить изменение свойств среды при осаждении твёрдых включений на стенках наружного цилиндра под действием инерционных сил, и как следствие, изменению объёмной концентрации этих включений по слоям жидкости.

При моделировании в ротационном вискозиметре центробежные силы, развиваемые в каждой точке исследуемого материала вследствие вращения, можно рассматривать как модель поля сил тяжести. Таким образом, центробежное моделирование поведения среды устанавливает подобие процессов течения сред в кольцевых зазорах при различных величинах ширины зазора, а также позволяет как бы сжать процесс во времени и предсказать изменение реологических свойств материала. Если инерционные силы значительно превышают по величине гравитационные силы ($\omega^2 R \gg g$), то $t_c \gg 1$, что позволяет анализировать поведение среды при переменной реологии в значительно более короткий промежуток времени.

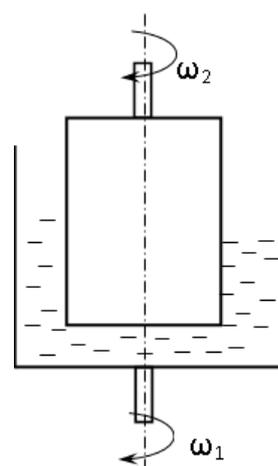


Рис. 2. Схема прибора для измерения реологических параметров

Предлагаемый прибор представляет собой ротационный вискозиметр, рабочей областью которого являются два коаксиальных цилиндра, каждый из которых приводится во вращение двигателем постоянного тока. Электронно-механическая схема прибора приведена на рис. 3.

Вискозиметр содержит наружный цилиндр 1, заполненный исследуемой средой, приводимый во вращение посредством реверсивного двигателя постоянного тока 2 и упругой муфты 3, и внутренний цилиндр 4 приводимый во вращение от двигателя 5. На внешнюю поверхность цилиндров 1 и 4 нанесены чередующиеся светлые и тёмные полосы; а диск 6 ведущего вала 7 имеет прорези. Число прорезей строго соответствует числу светлых полос, и в исходном положении диск 6 и цилиндр 1 располагаются синфазно, т.е. нулевому положению соответствует центр прорези и соответственно центр светлой полосы. Источник оптопары 8 с открытым оптическим каналом, работающим на просвет, подаёт сигналы на поверхность диска 6, которые либо проходят через прорези диска, либо отражаются от его поверхности и поступают в приёмник оптопары. Источник оптопары 9 с открытым оптическим каналом, работающим на отражение, подаёт сигналы на поверхность цилиндра 1. Отражённые от поверхности сигналы, имеющие различную интенсивность вследствие различия степени отражения сигнала от светлых и тёмных полос, поступают в приёмник оптопары 9. Аналогично работает оптопара 10 внутреннего цилиндра 4.

Усиленные с помощью усилителей-преобразователей 11 и 12 сигналы оптопар 8 и 9, поступают в фазовый детектор 13, после чего, проходя через фильтр низких частот 14, поступают в микроконтроллер 15. Сигнал с усилителя 16 оптопары 9 внутреннего цилиндра 4 также поступает в контроллер 15. Сигналы с оптопар 7 и 8 представляют собой сигналы одинаковой частоты, но сдвинутые по фазе вследствие деформации упругого элемента 3, вызываемой сопротивлением среды. Разфазировка сигналов определяется фазовым детектором 13, который выдаёт импульсы, скважность которых пропорциональна разности фаз.

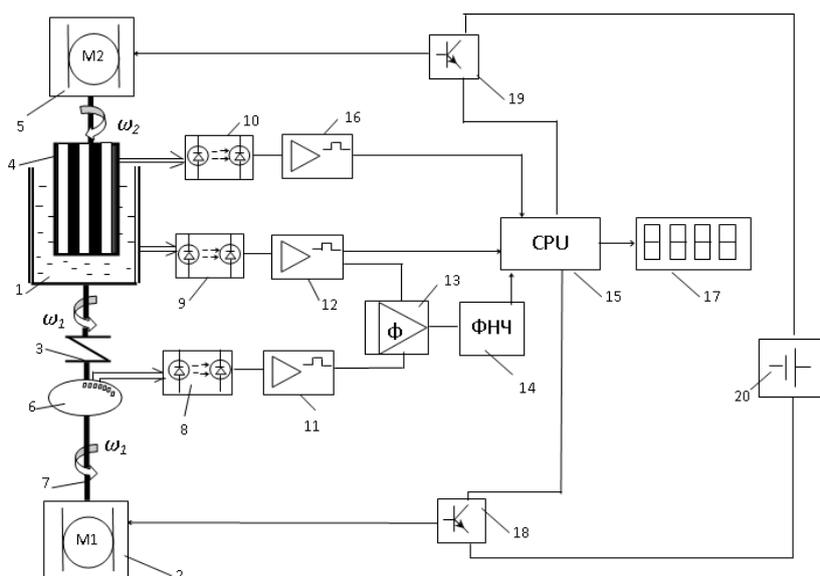


Рис. 3. Электронно-механическая схема прибора

Подсчёт импульсов в единицу времени определяет частоту вращения соответственно наружного и внутреннего цилиндра, а разность фаз является величиной, пропорциональной моменту сопротивления среды. Микроконтроллер 15 обрабатывает полученные сигналы, подсчитывает угловые скорости вращения цилиндров и момент сопротивления. Результаты измерений отображаются индикатором 17. Микроконтроллер через ключи 18, 19 коммутируется с блоком питания 20 и с целью обеспечения постоянства заданных угловых скоростей цилиндров имеет обратную связь с двигателями. Конечным результатом является график зависимости разности угловых скоростей $\Delta\omega$ от момента сопротивления вращению M_c , который пропорционален сдвигу фаз $\Delta\varphi$: $\Delta\omega = f(M_c)$. Полученный график фактически отражает зависимость касательных напряжений T_{12} от скорости сдвига среды D_{12} . Контроллер запрограммирован на различные режимы работы и может проводить комплекс непрерывных измерений в широком диапазоне скоростей вращения обоих цилиндров.

Вывод: предлагаемое устройство является автономным прибором для непрерывного измерения реологических параметров гетерогенной среды и может быть рекомендовано для использования в различных областях промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Лойцянский, Л.Г. Механика жидкости и газа. – Учеб. для вузов. – М.: Наука, 1987. 840 с.
2. Патент на полезную модель 36527 Россия, МКИ G 01 N 11/00. Ротационный вискозиметр дифференциального типа / С.Ф. Яцун, Е.Н. Политов, В.А. Шеполухин – Оpubл. 10.03.2004, Бюл. № 7.
3. Патент на полезную модель 43648 Россия, МКИ G 01 N11. Бироторный вискозиметр / С.Ф. Яцун, Е.Н. Политов, Д.Ю. Шоренков – Оpubл. 27.01.2005 Бюл. № 3.
4. Патент на полезную модель 63532 Россия, МПК G01 N 11/00. Бироторный вискозиметр / С.Ф. Яцун, Е.Н. Политов, Ю.А. Горин, М.С. Нефёдов – Оpubл. 27.07.07, Бюл. № 15.
5. Патент на полезную модель 86011 Россия, МПК G01 N 11/00. Бироторный вискозиметр / С.Ф. Яцун, Е.Н. Политов, М.С. Нефёдов, опубл. 20.08.09.
6. Яцун, С.Ф. Методика определения реологических параметров жидких сред посредством численной аппроксимации / С.Ф. Яцун, Е.Н. Политов // Известия Курского государственного технического университета. 2005. № 1 (14). С. 12-17.
7. Политов, Е.Н. Экспериментальное исследование динамики бироторного вискозиметра / Е.Н. Политов, Ю.А. Горин // Вибрационные машины и технологии: в 2 ч. Ч. 2: сб. науч. тр.; Курск. гос. техн. ун-т. – Курск, 2005. С. 129-132.

THE DEVICE FOR RESEARCH THE RHEOLOGICAL PROPERTIES OF HETEROGENEOUS MEDIUMS

© 2012 E.N. Politov, S.F. Yatsun, D.I. Safarov
South-West State University, Kursk

In article constructive scheme of the device for research the rheological properties of the heterogeneous mediums, based on the ring shift current is offered. The special attention is given to the mediums, changing the properties for a small period, commensurable over time of carrying out the measurements.

Key words: device, heterogeneous medium, rheological properties

Evgeniy Politov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. E-mail: politovyevgeny@rambler.ru; Sergey Yatsun, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Theoretical Mechanics and Mechatronics. E-mail: teormeh@inbox.ru; Jamil Safarov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor