DOI: 10.17117/na.2015.10.03.150

<http://ucom.ru/doc/na.2015.10.03.150.pdf>

Поступила (Received): 26.10.2015

Круподеров А.Ю., Ахмедов М.Х., Мерецкая А.А., Идрисов Н.И. Экспериментальный стенд на базе ротационного вискозиметра для исследования пускового режима оборудования

**Krupoderov A.Yu., Ahmedov M.H., Mereckaya A.A., Idrisov N.I.
Experimental stand based on the rotational viscometer
for investigating start-up mode of equipment**

Проведена модернизация ротационного вискозиметра М.П. Воляровича РВ-8. Приведенный математический аппарат позволяет рассчитать длительность пускового режима реометра при любых значениях динамического коэффициента вязкости, плотности, касательных напряжениях и зазоре между цилиндрами. Экспериментально получены зависимости частоты вращения внутреннего цилиндра от времени с момента пуска

Ключевые слова: реология, ротационный вискозиметр, пусковой период, вязкость

The possibility of upgrading rotational viscometer M.P. Volarovicha RV-8. The above mathematical tool allows you to calculate the duration of the rheometer start-up mode for any values of the coefficient of dynamic viscosity, density, shear stress, and the gap between the cylinders. Experimentally obtained dependence the inner cylinder rotation frequency on the time since the start

Key words: rheology, rotational viscometer, start-up period, viscosity

Круподеров Алексей Юрьевич

Аспирант

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики
г. Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Krupoderov Aleksey Yurievich

Graduate

St. Petersburg national research university of information technologies, mechanics and optics
St. Petersburg, Lomonosov st., 9

Ахмедов Мирзорахим Халимович

Бакалавр

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики
г. Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Ahmedov Mirzorahim Halimovich

Bachelor

St. Petersburg national research university of information technologies, mechanics and optics
St. Petersburg, Lomonosov st., 9

Мерецкая Анастасия Алексеевна

Магистрант

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики
г. Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Mereckaya Anastasiya Alekseevna

Graduate

St. Petersburg national research university of information technologies, mechanics and optics
St. Petersburg, Lomonosov st., 9

Идрисов Нусратуллохон Иззатуллоевич

Бакалавр

Санкт-Петербургский национальный
исследовательский университет информационных
технологий, механики и оптики

г. Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Idrisov Nusratullohon Izzatulloevich

Bachelor

St. Petersburg national research university of
information technologies, mechanics and optics
St. Petersburg, Lomonosov st., 9

Ротационный вискозиметр М.П. Воляровича РВ-8 [1, 2] легко поддается модернизации, что может быть использовано для более широкого исследования процессов в аппаратах типа «труба в трубе» с подвижным внутренним цилиндром, благодаря чему можно получить важные реологические параметры исследуемого пищевого сырья и биотехнологических процессов.

Вискозиметр представляет собой цилиндрическую ёмкость, внутри которой соосно располагается вращающийся цилиндр. Вращение осуществляется под действием силы, значение которой не изменяется в процессе опыта. Пространство между цилиндрами заполняет модельная среда.

Для определения частоты вращения ротора используем электронный бесконтактный тахометр ИТ 5-ЧМ «Термит» новосибирского предприятия. С целью исключения краевых эффектов (влияние дна ротора и верхней границы среды в зазоре между цилиндрами на особенности течения) используется последовательность измерений с разной выстой залива среды в зазор между цилиндрами. Модернизация вискозиметра РВ-8 включает в себя использование внешних цилиндров разного радиуса, что позволяет изучить влияние величины зазора между неподвижным цилиндром и ротором.

Наибольшие трудности при измерениях на ротационных вискозиметрах возникают вследствие необходимости вносить поправки на особенности течения на дне внутреннего цилиндра. Для вискозиметра РВ-8 Волярович применял сферическое дно.

Существенной проблемой при теоретическом описании работы многих аппаратов и измерительного оборудования являются пусковые режимы оборудования. В ряде случаев не учёт влияния пусковых режимов может привести к неточности измерений, и к ошибкам в выборе режимов работы аппаратов и их конструировании. Следовательно, необходимо исследование параметров пускового режима [3, 4, 5].

Учитывая малую величину зазора между цилиндрами для теоретического описания процесса можно упростить гидродинамическую картину течения [6] рассматривая нестационарное течение в плоском зазоре:

$$\rho \left(\frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x} + \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \right) + \rho g_x. \quad (1)$$

где x, y, z – координаты; v_x, v_y, v_z – проекции скоростей течения; p – давление; ρ – плотность; τ – компоненты тензора напряжений (касательные напряжения); g_x – проекция ускорения свободного падения.

Решение задачи (1) позволяет математически исследовать развитие профиля скоростей течения в зазоре и определить время пускового режима вискозиметра:

$$v_x(y, t) = \frac{\tau_H}{\eta} \left[\left(\frac{y}{H} \right) - \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1,3,\dots}^{\infty} \frac{\sin\left(\frac{n\pi}{2}\right)}{n^2} e^{-\frac{\nu n^2 \pi^2 t}{4H^2}} \sin\left(\frac{n\pi y}{2H}\right) \right]. \quad (2)$$

1 – $v_x(0,6, y)$; 2 – $v_x(0,07, y)$; 3 – $v_x(0,03, y)$; 4 – $v_x(0,001, y)$

где τ_H – постоянное напряжение, η – коэффициент динамической вязкости.

Результаты математического моделирования показывают, что при анализе начальной фазы работы любой пищевой машины и обработке экспериментальных данных сдвиговой реометрии необходимо учесть период пуска.

Для проведения опытов с неньютоновской жидкостью использован внешний цилиндр радиусом 0.019 м, при радиусе внутреннего цилиндра 0.016 м. Модельная реологическая пищевая среда представляла собой раствор 90 г муки в 100 г воды. Уровень заполнения пространства между цилиндрами составлял 0,062 м. Вращение внутреннего цилиндра осуществлялось под действием нагрузки 1,96 Н. Получены данные представленные на рисунке 1.

Рис. 1. Зависимость частоты вращения от времени при обработке модельной среды с неньютоновскими свойствами

Экспериментальные данные близки по характеру и могут быть описаны формулой (3), коэффициенты a и b для этой формулы получены при обработке данных с помощью программы CurveExpert.

$$\Omega = a(1 - e^{-bt}) \quad (3)$$

где, Ω – частота вращения подвижного цилиндра, с^{-1} ;

t – время, с ;

a, b – эмпирические коэффициенты, приведены в таблице 1.

С целью тарировки устройства другие опыты были проведены с использованием глицерина.

Опыты показали, что модернизированный вискозиметр Воларовича является удобным прибором для изучения пускового режима ротационного реометра и в некоторых случаях имеет преимущество по сравнению с немецким

прибором типа Реотест. Например, для исследования предельного напряжения сдвига.

Таблица 1. Результаты опытов и обработки данных

№ пп	Среда	Диаметр ротор, м	Диаметр статора, м	Эмпирические коэффициенты		Коэффициент корреляции	Средне- квадратичное отклонение
				a	b		
1	Неньют. среда	0.032	0.038	0.856	5.17	0.964	0.0607
2	Глицерин	0.032	0.038	0.516	5.55	0.957	0.0425
3	Глицерин	0.032	0.146	0.512	3.74	0.981	0.0263

Список используемых источников:

1. Волярович М.П., Лазовская Н.В. Определение реологических характеристик торфа с помощью ротационного вискозиметра РВ-4. Новые физические методы исследования торфа. М., 1960. С. 110-118.
2. Волярович М.П., Лазовская Н.В. Ротационные вискозиметры для исследования реологических свойств дисперсных систем и высокомолекулярных соединений (Обзор) // Коллоидный журнал. 1966. Т. 28. Вып. 2. С. 198-213.
3. Володин Ю.Г., Федоров К.С. Теплоотдача и трение в пусковых режимах энергетических установок. СПб.: Инфо-да, 2009. 132 с.
4. Байченко Л.А., Кондратов А.В., Зеленков В.К., Арет В.А. Математическое моделирование пускового режима пищевого оборудования и реометров // Процессы и аппараты пищевых производств. СПб., 2014. №3. С. 21-28.
5. Арет В.А., Николаев Б.Л., Николаев Л.К. Физико-механические свойства сырья и готовой продукции. СПб.: ГИОРД, 2009. 537 с.
6. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1973. 848 с.

© 2015, Круподеров А.Ю., Ахмедов М.Х.,
Мерецкая А.А., Идрисов Н.И.
Экспериментальный стенд на базе
ротационного вискозиметра для исследования
пускового режима оборудования

© 2015, Krupoderov A.Yu., Ahmedov M.H.,
Mereckaya A.A., Idrisov N.I.
Experimental stand based on the rotational
viscometer for investigating start-up mode of
equipment