

DOI: 10.26730/1999-4125-2017-4-126-129

УДК 532.137

## СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТЕЙ МАЛЫХ ОБЪЕМОВ METHOD FOR DETERMINING THE VISCOSITY OF SMALL VOLUME FLUIDS

Шахматов Кирилл Сергеевич<sup>1</sup>,

врач, e-mail: shahmatovkirill@gmail.com

Shahmatov Kirill S.<sup>1</sup>, physician

Доня Денис Викторович<sup>2</sup>,

кандидат техн. наук, доцент

Dony Denis V.<sup>2</sup>, C. Sc. (Engineering), Associate Professor

Басова Галина Григорьевна<sup>3</sup>,

кандидат мед. наук, доцент, e-mail: basova\_g\_g@mail.ru

Basova Galina G.<sup>3</sup>, C. Sc. (Medical), Associate Professor

<sup>1</sup> Кемеровская областная клиническая офтальмологическая больница, 650066 Россия, Кемерово, пр. Октябрьский 22 «а»

<sup>1</sup>Kemerovo Regional Ophthalmologic Hospital, 650066, Russian Federation, Kemerovo, pr. Otktyabrsky, 22a,

<sup>2</sup> Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет), кафедра «Прикладная механика», 650056, Россия, Кемерово, б-р Строителей 47

<sup>2</sup>Kemerovo Technological Institute of Food Industry (University) 650056, Russian Federation, Kemerovo, Boulevard Stroiteley, 47

<sup>3</sup> Кемеровский государственный медицинский университет, кафедра офтальмологии, 650056 Россия, Кемерово, ул. Ворошилова 22 «а»

<sup>3</sup>Kemerovo State Medical University, 650056, Russian Federation, Kemerovo, ul. Voroshilova, 22a

**Аннотация.** На современном этапе развития технологий, измерение вязкости сплошных сред является актуальной задачей в различных отраслях жизнедеятельности человека: нефтегазовая, авиационная, пищевая, при синтезе искусственных и синтетических полимеров, медицинская и т.д. С целью совершенствования технологического процесса, разработка новых способов исследования и расчетов вязкости остается одной из приоритетных задач. В статье представлено описание детали для ротационного вискозиметра «Rheotest - 2» с целью определения вязкости жидкостей малых объемов. Для определения вязкости необходимый объем исследуемого материала составляет всего от 0,1 до 0,3 мл. Деталь разработана на кафедре «Прикладная механика» ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)». Деталь состоит из насадки и подложки. Отличием от ротационного вискозиметра «Rheotest -2» является то, что днище корпуса имеет в центре выемку диаметром 10 мм для исследуемого материала, герметичная крышка снабжена эластичной прокладкой по периметру и замковыми механизмами. Апробация детали проведена с веществом с известной вязкостью. Для этого использовали глицерин, было проведено 5 измерений, во всех экспериментах вязкость соответствовала заявленным параметрам.

**Abstract.** At the present stage of technology development, continuous medium viscosity measurements are relevant in various fields of human life: oil and gas industry, aviation, food industry, in the synthesis of man-made and synthetic polymers, healthcare industry etc. In order to improve the technological process, one of the priority tasks is the development of new research methods and viscosity calculations. The article presents the description of a part of "Rheotest – 2" rotational viscometer that is used for determining the viscosity of a small volume liquid. To determine the test material viscosity, volume from 0.1 to 0.3 ml is required. The part was developed at the Department of Applied Mechanics of the FSBEI HE "Kemerovo Institute of the Food Science and Technology (University)". The part consists of a nozzle and a base coat. The difference from the "Rheotest-2" rotary viscometer is that the bottom of the body structure has a recess of 10 mm in diameter in the center for investigated material, the sealed cover is provided with an elastic sealing along the perimeter and latch mechanisms. The approbation of the part was carried out using the substance with known viscosity. Glycerol was used, 5 measurements were made, in all experiments the viscosity corresponded to the declared parameters.

**Ключевые слова:** вязкость, ротационный, вискозиметр, «Rheotest - 2», малый объем.

**Keywords:** viscosity, viscometer, rotary, "Rheotest - 2", small volume.

### Актуальность

Для решения ряда важных технологических задач необходимо определение вязкости. Вискозиметрия востребована при очистке буровых растворов (газ, нефть, уголь) с целью улучшения их потребительских свойств [1,2,5,6,16]. Транспортировка буровых растворов, как сложный технологический процесс, также невозможна без изучения вязкости [3,4,13,14]. Измерение вязкости проводится при синтезе искусственных и синтетических полимеров, очистке технических жидкостей, сточных грязей [7,8,9]. В поиске энергоэффективных гидродинамических смазок показатель вязкости является ведущим параметром [10,12]. Такие отрасли как медицина и фармация не являются исключением, где изучение вязкости используют в косметологии, стоматологии и при изготовлении лекарственных препаратов. Разнообразие физико-химических свойств сплошных сред, технологий, побуждает к совершенствованию, как способов исследований вязкости, так и способов ее расчета [11,14,15].

**Цель исследования:** разработать способ определения вязкости жидкостей малых объемов.

**Материалы и методы:** на базе ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)», кафедра «Прикладная механика» доц., к.т.н. Д.В. Доня разработана деталь для «Rheotest – 2» для исследования вязкости жидкости в малых объемах (0.1 – 0.3 мл.). Получен патент на полезную модель №169522, №169523, №169577.

**Результат и обсуждение:** Деталь состоит из насадки и подложки (рис.1.). Отличием от вискозиметра «Rheotest - 2» в том, что днище корпуса имеет в центре выемку диаметром 10 мм для исследуемого материала, герметичная крышка снабжена эластичной прокладкой по периметру и замковыми механизмами.

Корпус прибора показан 1, днище корпуса с

выемкой показано 2, при этом диаметр выемки обозначен  $D$ . Цилиндр, закрепленный с возможностью вращения 3 закреплен на валу 4 и работает от элемента питания 6, встроенного в крышку 5. Крышка 5 корпуса 1 загерметизирована эластичной прокладкой (не показано). В качестве эластичной прокладки может быть использован любой эластичный материал, обладающий свойствами герметичности. Порт для соединения с компьютером и измерительными приборами обозначен 7. Материал помещают в выемку днища прибора 2 диаметром 10 мм, затем опускают крышку 5 плотно прижимая материал цилиндром, закрепленным с возможностью вращения 3. Резиновая прокладка плотно герметизирует крышку 5, замковые механизмы на крышке (не показаны) защелкивают. В качестве замковых механизмов возможно использование любых защелок, фиксирующих положение крышки. Признаки «эластичная прокладка» и «замковый механизм» позволяют обеспечить надежность выполнения измерений прибором, исключить сбои, что очень важно при измерении материалов в малых объемах. Вискозиметр работает от элемента питания 6, который приводит в движение вал вращения 4, и через порт 7 на компьютер передается информация о скорости вращения, либо передаются данные на измерительную аппаратуру.

При подключении прибора приводится в движение вал вращения 4 с закрепленным на нем цилиндром 3. Расчетно при определении вязкости определяют величину крутящего момента, возникающего при вращении цилиндра с радиусом  $R$ :

$$M_{nl} = \frac{2}{3} \pi R^2 \theta, \quad (1)$$

где  $\theta$  - напряжение сдвига, Па.

Все данные о скорости вращения и возникающем напряжении в электронном виде передаются на компьютер для дальнейшего расчета показателей скорости сдвига, вязкости и т.д.

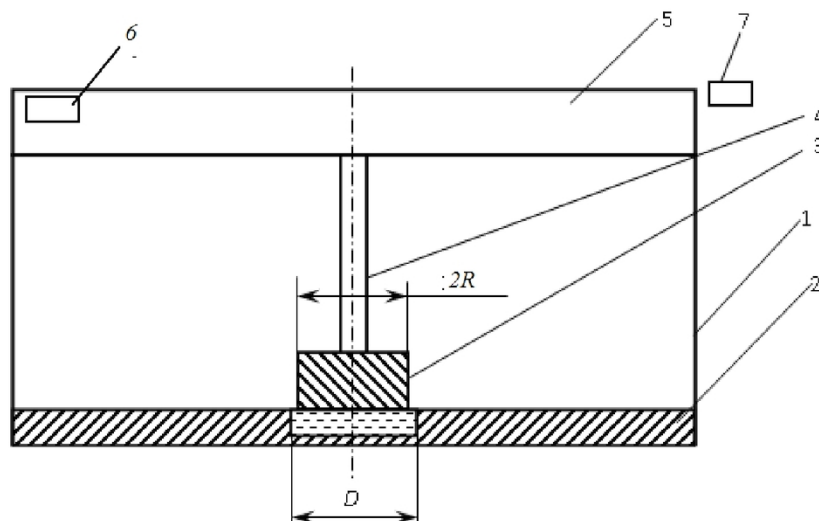


Рис.1. Схема детали для «Rheotest – 2»  
Fig. 1. Scheme of the part for "Rheotest – 2"

Проведена апробация работы данной детали с раствором известной вязкости – глицерином, проведено 5 измерений. Во всех исследованиях вязкость соответствовала заявленным параметрам.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Изучение реологических свойств и подбор математической модели реологического поведения водоугольной суспензии при транспортировке и хранении/ Буянтуев С.Л., Кондратенко А.С., Хмелев А.Б., Чукреев Д.А., Сандаков И.М., Благодичнов С.А. - Инновационные технологии в науке и образовании. Материалы 4-й международной научно-практической конференции. - 2015. С. 156-162.
2. Analysis of characteristics of coal-water slurries obtained by plasma and electric discharge methods/ Buyantuev S., Kondratenko A., Khmelev A. // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2014. Vol. 9, № 11. P. 2102–2105.
3. Гаврилов А.А., Рудяк В.Я. Моделирование коэффициента молекулярной вязкости вязкопластичных жидкостей в турбулентных течениях. Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. 2013. № 2 (21). С. 55-66.
4. Gavrilo A.A., Rudyak V.Ya. A Model of averaged molecular viscosity for turbulent flow of non-newtonian fluids. Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Математика и физика. 2014. Т. 7. № 1. С. 46-57.
5. Лабораторная работа «Изучение вязкого течения неньютоновских жидкостей»/ Евдокимов И.Н., Елисеев Н.Ю., Лосев А.П., Фесан А.А. Современный физический практикум. 2016. № 14. С. 212-213.
6. Никитин В.И. Механика жидкостей и газов: Учеб. Пособ./ В.И. Никитин. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2016- 66 с.
7. Леваничев В.В. Анализ полной реологической модели течения расплава полимера. - Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2015. Т. 2. № 6 (74). С. 11-16.
8. Леваничев, В. Модель течения расплава полимера [Текст] / В. Леваничев // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – Т. 4, № 7 (64). – С. 39–41. – Режим доступа: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/16685/14175>
9. Кирсанов Е.А., Тимошин Ю.Н. Неньютоновское течение структурированных систем. X. Пределы неньютоновского поведения - Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2014. Т. 14. № 2. С. 74-82.
10. Колодежнов В.Н. Моделирование начальной стадии течения неньютоновской жидкости, учитывающей пороговое «подключение» фактора поперечной вязкости. - В сборнике: Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики сборник трудов международной научно-технической конференции. 2016. С. 338-340.
11. Инерционный способ измерения коэффициента динамической вязкости гибридной наномодифицированной жидкости./Корнаев А.В., Савин Л.А., Корнаева Е.П., Антонов П.Г. Известия Юго-Западного государственного университета. 2013. № 1 (46). С. 139-146.
12. Определение эффективной вязкости и числа Рейнольдса для упруго-вязко-пластичной массы./Лукиянов Н.А., Степанов М.А., Королёв А.А. Механизация строительства. 2013. № 4 (826). С. 28-29.
13. Рудяк В.Я. Современное состояние исследований вязкости наножидкостей. - Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Физика. 2015. Т. 10. № 1. С. 5-22.
14. Хайрисламов К.З. Течение Пуазейля для жидкости с переменной вязкостью. - Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математика. Механика. Физика. 2013. Т. 5. № 2. С. 170-173.
15. Хизбуллина С.Ф. Математическая модель течения Куэтта неньютоновской аномально термовязкой жидкости. - В сборнике: Труды Шестой Российской национальной конференции по теплообмену 2014. С. 301-305.
16. Цивинский Д.Н. Расчет динамики течения жидкости и гидравлического сопротивления при проведении спускоподъемных операций в скважине Учебное пособие. — Самара: Самар, гос. техн. ун-т, 2015. — 216 с.

## REFERENCES

1. Izuchenie reologicheskikh svojstv i podbor matematicheskoy modeli reologicheskogo povedeniya vodougol'noj suspenszii pri transportirovke i hranenii/ Bujantuev S.L., Kondratenko A.S., Hmelev A.B., Chukreev D.A., Sandakov I.M., Blagochinov S.A. - Innovacionnye tehnologii v nauke i obrazovanii. Materialy 4-j mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. - 2015. p. 156-162.
2. Analysis of characteristics of coal-water slurries obtained by plasma and electric discharge methods/ Buyantuev S., Kondratenko A., Khmelev A. // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2014. Vol. 9, № 11. pp. 2102–2105.

3. Gavrilov A.A., Rudjak V.Ja. Modelirovanie koeficienta molekularnoj vjazkosti vjazkoplastichnyh zhidkostej v turbulentnyh techenijah. Doklady Akademii nauk vysshej shkoly Rossijskoj Federacii. 2013. № 2 (21). pp. 55-66.
4. Gavrilov A.A., Rudyak V.Ya. A Model of averaged molecular viscosity for turbulent flow of non-newtonian fluids. Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Serija: Matematika i fizika. 2014. T. 7. № 1. pp. 46-57.
5. Laboratornaja rabota «Izuchenie vjazkogo techenija nen'jutonovskih zhidkostej»/ Evdokimov I.N., Eliseev N.Ju., Losev A.P., Fesan A.A. Sovremennyy fizicheskij praktikum. 2016. № 14. pp. 212-213.
6. Nikitin V.I. Mehanika zhidkostej i gazov: Ucheb. Posob./ V.I. Nikitin. – Samara: Samar. gos. tehn. un-t, 2016- p.66.
7. Levanichev V.V. Analiz polnoj reologicheskoy modeli techenija rasplava polimera. - Vostochno-Evropejskij zhurnal передовых технологий. 2015. T. 2. № 6 (74). pp. 11-16.
8. Levanichev, V. Model' techenija rasplava polimera [Tekst] / V. Levanichev // Vostochno-Evropejskij zhurnal передовых технологий. – 2013. – T. 4, № 7 (64). – S. 39–41. – Rezhim dostupa: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/16685/14175>
9. Kirsanov E.A., Timoshin Ju.N. Nen'jutonovskoe techenie strukturirovannyh sistem. X. Predely nen'jutonovskogo povedenija - Zhidkie kristally i ih prakticheskoe ispol'zovanie. 2014. T. 14. № 2. pp. 74-82.
10. Kolodezhnov V.N. Modelirovanie nachal'noj stadii techenija nen'jutonovskoj zhidkosti, uchityvajushhej porogovoe «podkljuchenie» faktora poperechnoj vjazkosti. - V sbornike: Aktual'nye problemy prikladnoj matematiki, informatiki i mehaniki sbornik trudov mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii. 2016. pp. 338-340.
11. Inercionnyj sposob izmerenija koeficienta dinamicheskoy vjazkosti gibridnoj nanomodificirovannoj zhidkosti./Kornaev A.V., Savin L.A., Kornaeva E.P., Antonov P.G.Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. 2013. № 1 (46). pp. 139-146.
12. Opređenje jeffektivnoj vjazkosti i chisla Rejnol'dsa dlja uprugov-vjazko-plastichnoj massy./Luk'janov N.A., Stepanov M.A., Korol'ov A.A. Mehanizacija stroitel'stva. 2013. № 4 (826). pp. 28-29.
13. Rudjak V.Ja. Sovremennoe sostojanie issledovanij vjazkosti nanozhidkostej. - Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Fizika. 2015. T. 10. № 1. pp. 5-22.
14. Hajrislamov K.Z. Techenie Puazejlja dlja zhidkosti s peremennoj vjazkost'ju. - Vestnik Juzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Matematika. Mehanika. Fizika. 2013. T. 5. № 2. pp. 170-173.
15. Hizbullina S.F. Matematicheskaja model' techenija Kujetta nen'jutonovskoj anomal'no termovjazkoj zhidkosti. - V sbornike: Trudy Shestoj Rossijskoj nacional'noj konferencii po teploobmenu 2014. pp. 301-305.
16. Civinskij D.N. Raschet dinamiki techenija zhidkosti i gidravlicheskogo soprotivlenija pri provedenii spuskopodzemnyh operacij v skvazhine Uchebnoe posobie. — Samara: Samar, gos. tehn. un-t, 2015. — p.216

*Поступило в редакцию 7 июня 2017*

*Received 7 June 2017*