

7. **Monk P. B.** Finite element methods for Maxwell's equations. Oxford: Univ. Press, 2003. P. 265—266.

8. **Jin J.** The Finite Element Method in Electromagnetics. N. Y.: Wiley, 2002.

9. **Марусина М. Я.** Коррекция неоднородности основного магнитного поля МР-томографа на постоянных магнитах: Автореф. дис. на соис. учен. степ. канд. техн. наук. СПб., 1993.

10. **Галайдин П. А.** Исследование и разработка элементов и устройств компьютерных магниторезонансных томографов: Автореф. дис. на соиск учен. степ. докт. техн. наук. СПб., 1996.

11. **Бобровников Г. Н.** Бесконтактные расходомеры. М.: Машиностроение, 1985.

Дата принятия 27.01.2014 г.

53.089.5

Состояние метрологического обеспечения измерений вязкости нефтепродуктов

А. А. ЦУРКО, А. А. ДЕМЬЯНОВ

Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева, С.-Петербург, Россия, e-mail: A. A. Tsurko@vniim.ru

Рассмотрен вопрос о расширении температурного диапазона воспроизведения единицы вязкости на реометре Physika MCR 301 фирмы Anton Paar, Австрия. Приведены результаты первого этапа исследования метрологических характеристик реометра и обоснована необходимость дальнейших исследований.

Ключевые слова: вязкость, эталон единицы кинематической вязкости, реометр, стандартный образец.

The problem of expanding the temperature range of viscosity unit reproduction on reometer Physika MCR 301 of Anton Paar company, Austria has been considered. The results of the first phase of MCR 301 metrological characteristics of study are presented. The necessity of further studies is proved.

Key words: standard of kinematic viscosity unit, rheometer, certified reference material, viscosity.

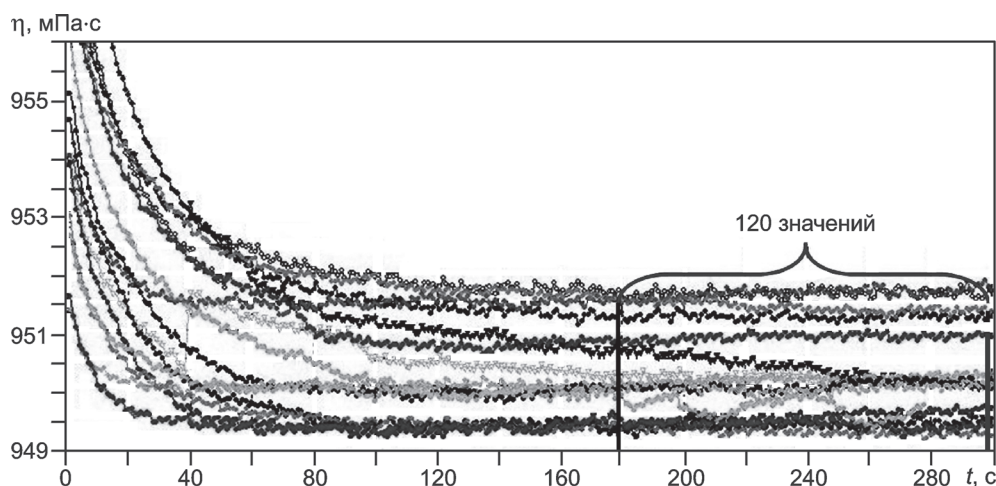
Государственный первичный эталон (ГПЭ) единицы кинематической вязкости жидкости ГЭТ 17—96, который хранится во ВНИИМ, создан на основе капиллярного метода измерений вязкости, реализуемого набором капиллярных вискозиметров с «висячим уровнем», и воспроизводит единицу кинематической вязкости в диапазоне $0,4—10^5$ мм²/с со средним квадратическим отклонением результата измерений не более $1,5 \cdot 10^{-4}$ и неисключенной систематической погрешностью, не превышающей $2 \cdot 10^{-3}$. Принцип действия эталона базируется на измерении времени, в течение которого поднимающаяся по капиллярной трубке жидкость заполняет полость известного объема.

Метрологические характеристики и степень эквивалентности ГЭТ 17—96 подтверждены международными сличениями, проведенными по программе сличений Консультативного комитета по массе и связанным с ней величинам МБМВ [1], а также КООМЕТ. По результатам сличений ГЭТ 17—96 находится на уровне эталонов ведущих стран, таких как Чехия, Германия и Япония. Государственный первичный эталон передает единицу кинематической вязкости эталонам 1-го разряда, стандартным образцам вязкости (СО) [2] и используется в исследованиях по расширению диапазона воспроизведения единицы вязкости.

Сегодня в России эксплуатируются десятки миллионов средств измерений (СИ) вязкости — капиллярные, ротационные, шариковые, колебательные и другие вискозиметры, поверка и калибровка которых проводится с использованием СО вязкости. Во ВНИИМ изготавливают и аттестуют СО вязкости жидкости в диапазоне $0,4—10^5$ мм²/с при температурах 20—100 °С [3]. Границы относительной погрешности при доверительной вероятности 95 % составляют $\pm 0,2$ % в диапазоне $0,4—10^4$ мм²/с и $\pm 0,3$ % в диапазоне $(3—10) \cdot 10^4$ мм²/с, что является наивысшей точностью для образцов вязкости, изготавливаемых на территории РФ.

Следует отметить, что не все образцы вязкости жидкости, которые предлагают другие фирмы, можно применять при поверках или калибровках СИ вязкости.

В настоящее время метрологически обеспечен довольно широкий диапазон измерений вязкости жидкости. Однако существует потребность в исследованиях и разработке новых СО для достижения высокой воспроизводимости и стабильности во времени значений вязкости в диапазоне температур от -35 до $+150$ °С. Область низких температур необходима для поверки таких СИ, как имитаторы холодной прокрутки двигателя, а область высоких температур — для



Зависимости вязкости от времени $\eta(t)$ для ГСО 8599—2004 РЭВ 1000 с аттестованным $\eta_{ат} = 950,197 \text{ мПа} \cdot \text{с}$ при $t = (20,00 \pm 0,05) ^\circ\text{C}$, $\Omega_{вр} = 100 \text{ мин}^{-1}$; $h = 0,29 \text{ мм}$

обеспечения единства измерений высоковязких жидкостей (асфальтены, битумы).

Для решения данной проблемы в 2011 г. во ВНИИМ проводили научные исследования по разработке методов воспроизведения единицы вязкости в широком диапазоне температур 10—150 °C. Рассматривали два метода — капиллярный (ГЭТ 17—96) и ротационный (реометр Physica MCR 301). По итогам работы было выявлено, что ротационный метод можно использовать для передачи и воспроизведения единицы вязкости жидкости после тщательного изучения влияния параметров процесса измерения вязкости на реометре — скорости вращения ротора, зазора между пластинами измерительной системы, оптимального объема образца, продолжительности измерений.

Чтобы определить оптимальные параметры измерения, были проведены эксперименты с использованием двух стандартных образцов: ГСО 8598—2004 РЭВ-600 и ГСО 8599—2004 РЭВ-1000 при температуре 20 °C с применением измерительной системы конус—плоскость. По известному аттестованному значению вязкости ГСО 8598—2004 РЭВ-600 (относительная погрешность $\pm 0,2 \%$) проводился подбор скорости вращения $\Omega_{вр}$ ротора при стандартном зазоре. Было выявлено, что при $\Omega_{вр} = 100 \text{ мин}^{-1}$ реометр определяет

установившееся и достаточно близкое к аттестованному значение вязкости. Далее при этой скорости для того же образца был подобран оптимальный зазор между пластинами измерительной системы $h = 0,29 \text{ мм}$.

Для подтверждения найденных параметров был применен образец ГСО 8599—2004 РЭВ-1000 с аттестованным значением динамической вязкости $950,197 \text{ мПа} \cdot \text{с}$ при 20 °C. При $h = 0,29 \text{ мм}$ и $\Omega_{вр} = 100 \text{ мин}^{-1}$ было выполнено 15 измерений со 120 наблюдениями. Максимальное отклонение от аттестованного значения составило 0,152 %, что находится в пределах расширенной неопределенности СО (см. рисунок).

Таким образом, результаты работы показывают перспективность применения реометра Physica MCR 301

для воспроизведения и передачи значений вязкости рабочим СИ и стандартным образцам.

В дальнейшем планируется тщательно исследовать и найти оптимальные, с точки зрения максимальной точности и стабильности, режимы измерений в требуемом диапазоне температур и значений вязкости; разработать и утвердить обновленное описание типа СИ; обосновать предложение о включении прибора в модернизированную государственную поверочную схему измерения вязкости в требуемом диапазоне значений в качестве рабочего эталона.

Л и т е р а т у р а

1. **Результаты** ключевых и дополнительных сличений [Электронный ресурс]. <http://kcdb.bipm.org> (дата обращения 15.12.2013 г.).

2. **ГОСТ 8.025—96.** ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений вязкости жидкости.

3. **Эталонные материалы ВНИИМ:** Каталог. СПб.: ВНИИМ, 2011.

Дата принятия 27.01.2014 г.