

УДК 536.17

## ВЯЗКОСТЬ И ПЛОТНОСТЬ МЕТИЛОВОГО ЭФИРА ПАЛЬМИТИНОВОЙ КИСЛОТЫ

© 2019 г. С. М. Расулов<sup>1</sup>, И. А. Исаев<sup>1</sup> \*, С. М. Оракова<sup>1</sup><sup>1</sup>Институт физики им. Х.И. Амирханова ДНЦ РАН, г. Махачкала, Россия

\*E-mail: isaevilyas@yandex.ru

Поступило в редакцию 26.09.2018 г.

После доработки 24.10.2018 г.

Принято к печати 25.12.2018 г.

Измерены вязкость и плотность одного из компонентов биотоплива — метилпальмитата в области температур от комнатной до 372 К при атмосферном давлении. Приведены аппроксимирующие уравнения.

DOI: 10.1134/S0040364419020170

### ВВЕДЕНИЕ

Загрязнение атмосферы многочисленными остаточными газами имеет серьезные последствия для здоровья человека и для окружающей среды из-за кислотных дождей, фотохимического смога и глобальных климатических изменений, вызванных “парниковым эффектом” [1]. Сжигание ископаемых видов топлива является главным источником многих загрязняющих газов [2]. В связи с этой проблемой и с истощением ископаемого топлива увеличивается потребность в альтернативных источниках топлива, в частности растительных маслах, которые являются возобновляемыми, меньше влияют на образование озона, чем обычное дизельное топливо, и не содержат серы и ароматических углеводородов [3]. Биотопливо имеет температуру воспламенения около 150°C против 50°C дизельного топлива, что удобно для транспортировки.

Биотопливо получают из растительных масел различного сырья [4, 5]. Для характеристики топлива и оптимизации работы двигателя необходимы данные о теплофизических свойствах [6, 7]. Как было указано в [8], плотность, динамическая вязкость, поверхностное натяжение, теплоемкость и давление насыщенных паров являются наиболее необходимыми свойствами. В литературе для метилового эфира пальмитиновой кислоты (метилпальмитата) содержится ограниченное количество данных, имеющих значительные неопределенности и несоответствия. Данные о плотности могут быть использованы для разработки модельной смеси биотоплива [9].

Целью настоящей работы является исследование плотности и вязкости одного из компонентов биотоплива — метилпальмитата. Аналогичные исследования проведены в [10–14]. В [13, 14]

представлены результаты исследования вязкости и плотности при атмосферном давлении в области температур 278.15–363.15 К многих компонентов биотоплива.

### ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Вязкость метилпальмитата измерялась с помощью стеклянного капиллярного вискозиметра ВПЖ-3 (рис. 1, размеры указаны в мм) с внутренним диаметром капилляра  $d = 0.43$  мм в области температур от 304 до 372 К с точностью 0.3%.

Это наиболее точный из вискозиметров, так как конструкция предусматривает образование “висячего уровня” при течении жидкости. Таким образом, время течения жидкости не зависит от гидростатического давления и количества жидкости, налитой в вискозиметр. Измерение вязкости основано на определении времени истечения через капилляр 2 объема жидкости из измерительного резервуара 1, ограниченного двумя метками  $M_1$  и  $M_2$ . Капиллярная трубка впаяна внутрь рубашки 3, имеющей два отвода 4: верхний и нижний. К прибору прилагается насадка 5 и промежуточная стеклянная трубка 6. Насадка имеет конус. Насадка и промежуточная трубка соединяются с рубашкой при помощи шлифов. При измерении промежуточная трубка через отверстие покровного стекла погружается в стакан с жидкостью. Для заполнения прибора жидкостью насадку соединяют с водоструйным насосом или резиновой грушей. Для поддержания необходимой температуры при измерении рубашку прибора соединяют с жидкостным циркуляционным термостатом.

Расчет вязкости проводился по формуле  $\eta = K\rho t$ , где  $K$  — постоянная вискозиметра, равная 0.01413;  $t$  — время истечения жидкости от верхней

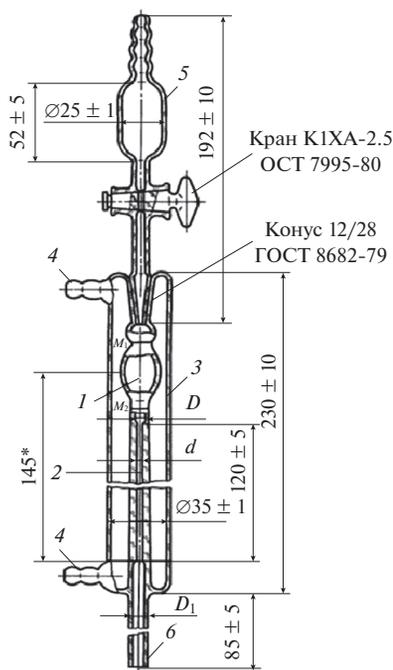


Рис. 1. Вискозиметр ВПЖ-3.

метки вискозиметра до нижней метки;  $\rho$  – плотность жидкости при данной температуре.

Определение плотности проводилось в стеклянных пикнометрах объемом 10 см<sup>3</sup>, откалиброванных по бидисциллированной воде, в температурном интервале от 304 до 372 К. Погрешность определения плотности не превышает 0.1%.

Экспериментальные значения плотности и вязкости метилпальмитата

$T, K$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$T, K$	$\eta, \text{мПа с}$
304.35	857.1	304.45	4.650
308.45	854	308.25	4.262
313.65	850.1	313.35	3.808
319.25	846	318.95	3.380
324.95	841.8	324.55	3.015
330.55	837.6	329.75	2.723
335.75	833.7	334.85	2.480
341.15	829.8	340.05	2.258
347.45	825	344.05	2.127
353.35	820.6	349.65	1.941
358.85	816.5	354.45	1.814
364.25	812.6	359.05	1.710
368.15	809.8	364.35	1.580
372.25	806.8	369.25	1.463
		372.45	1.400

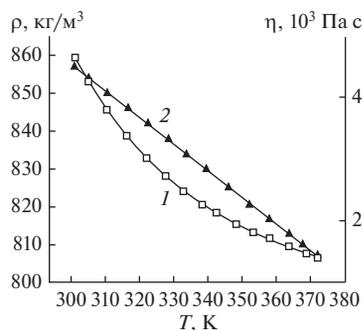


Рис. 2. Температурная зависимость вязкости (1) и плотности (2) метилпальмитата при атмосферном давлении.

Экспериментальные данные вязкости и плотности метилпальмитата при атмосферном давлении приведены в таблице 1 и на рис. 2.

Заданные температуры для вискозиметра и пикнометра поддерживались с точностью  $\pm 0.01$  К при помощи термостата (УН-16, Hoppler-Thermostat, NBE/NBER, Germany).

Экспериментальные значения вязкости описываются уравнением Френкеля–Андраде  $\eta = Ce^{U/RT}$ , где  $C$  – постоянная,  $R$  – газовая постоянная,  $T$  – температура и  $U$  – энергия активации вязкого течения. Для метилпальмитата значение  $U$ , найденное по экспериментальным данным вязкости, равно 17.464 кДж/моль, а  $C = 0.00469$ . Энергия активации вязкого течения служит косвенной характеристикой прочности структуры жидкости и равна отношению теплоты испарения жидкости при заданной температуре к координационному числу. Экспериментальные значения плотности метилпальмитата при атмосферном давлении описываются квадратичной функцией температуры  $\rho_T = 1044.016987 - 0.5067140T - 0.0003560T^2$ , где  $\rho_T$  – плотность в кг м<sup>-3</sup>,  $T$  – температура в К. Температурная зависимость плотности грубо можно аппроксимировать линейной функцией  $\rho_T = \rho_{308}(1 - \alpha\Delta T)$ , где  $\rho_{308}$  – плотность при  $T = 308$  К, а  $\alpha$  – изобарный коэффициент термического расширения, определенный по экспериментальным значениям плотности и равный для метилпальмитата  $8.588 \times 10^{-4}$  К<sup>-1</sup>. Максимальная погрешность аппроксимации данных по вязкости уравнением Френкеля–Андраде составляет  $\pm 0.24\%$ , максимальная погрешность аппроксимации данных по плотности квадратичной функцией равна  $\pm 0.1\%$ . Погрешность определения изобарного коэффициента термического расширения составляет  $\pm 1.2\%$ . Полученные значения хорошо согласуются с литературными данными [13].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методом капиллярного вискозиметра и пикнометрическим методом получены данные о вязкости и плотности метилпальмитата в температурной области от 304 до 372 К при атмосферном давлении. Полученные значения вязкости описываются уравнением Френкеля—Андрате, а плотности — квадратичной функцией температуры.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Sigrist M.* Air Monitoring by Spectroscopic Techniques. N.Y., 1994. 560 p.
2. *Schramm D.U., Sthel M.S., da Silva M.G., Carneiro L.O., Junior A.J.S., Souza A.P., Vargas H.* Application of Laser Photoacoustic Spectroscopy for the Analysis of Gas Samples Emitted by Diesel Engines // *Infrared Phys. Tech.* 2003. V. 44. P. 263.
3. *Demirbas A.* Biodiesel Fuels from Vegetable Oils via Catalytic and Non-Catalytic Supercritical Alcohol Transesterifications and Other Methods // *Energ. Convers. Manage.* 2003. V. 44. P. 2093.
4. *Knothe G., Van Gerpen J., Krahl J.* The Biodiesel Handbook. Champaign: AOCS Press, 2005. 302 p.
5. *Saraf S., Thomas B.* Influence of Feedstock and Process Chemistry on Biodiesel Quality // *Proc. Saf. Environ. Prot.* 2007. V. 85. P. 360.
6. *Castro M.P.P., Andrade A.A., Franco R.W.A., Miranda P.C.M.L., Sthel M.H.V., Constantino R., Baesso M.L.* Thermal Properties Measurements in Biodiesel Oils Using Photothermal Techniques // *Chem. Phys. Liquid.* 2005. V. 411. P. 18.
7. *Moron-Villarreyes J.A., Soldi C., Amorim A.M., Piz-zolatti M.G., Mendonca A.P., D'Oca M.G.M.* Diesel/Biodiesel Broportion for By-Compression Ignition Engines // *Fuel.* 2007. V. 86. P. 1977.
8. *Bacha J., Blondis L., Freely J., Hemighaus G., Hoekman K., Hogue N.* Diesel Fuels Technical Review (FTR-2), Chevron Products Company, a division of Chevron USA, Inc., 1998.
9. *Frenkel M., Chirico R., Diky V., Muzny C.D., Kazakov A., Magee J.W., Abdulagatov I.M., Jeong Won Kang.* NIST ThermoData Engine, NIST Standard Reference Database 103b- Pure Compound, Binary Mixtures, and Chemical Reactions. Version 5.0. Boulder, Colorado-Gaithersburg: National Institute Standards and Technology, 2010.
10. *Канель Г.И., Савиных А.С., Гаркушин Г.В., Разоренов С.В.* Оценка вязкости глицерина по ширине слабой ударной волны // *ТВТ.* 2017. Т. 55. № 3. С. 380.
11. *Хасанишин Т.С., Голубева Н.В., Самуйлов В.С., Щемелев А.П.* Акустические и термодинамические свойства бинарной жидкой смеси циклогексан + *n*-гексадекан // *ТВТ.* 2017. Т. 55. № 5. С. 698.
12. *Хуснутдинов Р.М., Мокшин А.В., Бельтюков А.Л., Олянина Н.В.* Вязкость расплава кобальта: эксперимент, моделирование и теория // *ТВТ.* 2018. Т. 56. № 2. С. 211.
13. *Pratas M.J., Freitas S., Oliveira M.B.S., Monteiro S.C., Lima Á.S., Coutinho J.A.P.* Densities and Viscosities of Fatty Acid Methyl and Ethyl Esters // *J. Chem. Eng. Data.* 2010. V. 55. P. 3983.
14. *Pratas M.J., Freitas S., Oliveira M.B., Monteiro S.C., Lima Á.S., Coutinho J.A.P.* Densities and Viscosities of Minority Fatty Acid Methyl and Ethyl Esters Present in Biodiesel // *J. Chem. Eng. Data.* 2011. V. 56. P. 2175.