

УДК 536.17

ВЯЗКОСТЬ И ПЛОТНОСТЬ МЕТИЛОВОГО ЭФИРА ПАЛЬМИТИНОВОЙ КИСЛОТЫ

© 2019 г. С. М. Расулов¹, И. А. Исаев¹ *, С. М. Оракова¹¹Институт 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

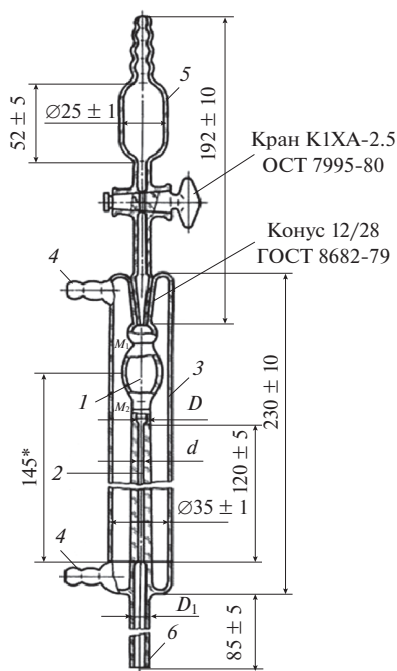


Рис. 1. Вискозиметр ВПЖ-3.

метки вискозиметра до нижней метки; ρ – плотность жидкости при данной температуре.

Определение плотности проводилось в стеклянных пикнометрах объемом 10 см³, 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 |

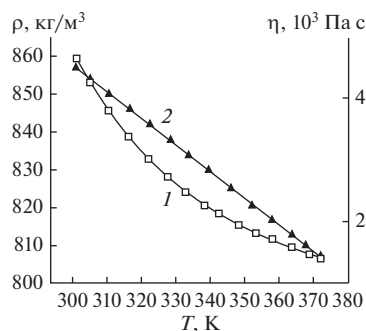


Рис. 2. Температурная зависимость вязкости (1) и плотности (2) метилпальмитата при атмосферном давлении.

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 ± 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 ρ_T – плотность в кг м⁻³, T – температура в К. Температурная зависимость плотности грубо можно аппроксимировать линейной функцией $\rho_T = \rho_{308}(1 - \alpha\Delta T)$, где ρ_{308} – плотность при $T = 308$ К, а α – изобарный коэффициент термического расширения, определенный по экспериментальным значениям плотности и равный для метилпальмитата 8.588×10^{-4} К⁻¹. 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., Самуилов 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.