

Исследования теплофизических и реологических свойств сливочно-растительного спреда

Александр Н. Остриков,¹ oan@vsuet.ru
Анастасия В. Горбатова,¹ gorbatova.nastia@yandex.ru
Павел В. Филипцов¹ pavel.filiptsov@mail.ru

¹кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронеж. гос. ун-т. инж. техн., пр-т Революции, 19, г. Воронеж

Реферат. Исследования теплофизических и реологических свойств сливочно-растительных спредов необходимо для научного обоснования процесса их получения, а именно процессов перемешивания и кристаллизации. В качестве объекта исследования был выбран сливочно-растительный спред, имеющий следующий состав: масло арахисовое 10%; масло зародышей пшеницы 10%; масло льняное 20%; сливочное масло 59,8%; эмульгатор 0,2%. С помощью полученных данных, в процессе исследования реологических свойств сливочно-растительного спреда, можно в последующем сформировать рекомендации по оптимизации технологических режимов производства. В частности, обосновано решать вопросы интенсификации гидромеханических и тепловых процессов, проводя их при такой температуре и частоте вращения, при которых будет достигаться максимальное сохранение структуры производимого продукта. Определение теплофизических характеристик осуществлялось на установке для исследования теплофизических и реологических характеристик вязкоупругих жидкостей Coesfeld RT-1394H. Реологические исследования сливочно-растительного спреда проводились на вискозиметрах серии SV-10 и PB-8m. По опытным данным были построены графики зависимости динамической вязкости спреда от температуры, и зависимость эффективной вязкости спреда и растительных масел от скорости сдвига. Полученные данные позволяют рационально выбирать оборудование для переработки и производства сливочно-растительного спреда, моделировать процессы происходящие в процессе производства, обоснованно решать вопросы интенсификации тепловых и гидромеханических процессов, проводя процесс производства при температурах, не вызывающих разрушение структуры продукта.

Ключевые слова: спред, теплофизические свойства, коэффициент температуропроводности, массовая удельная теплоемкость, коэффициент теплопроводности, реология, градиент скорости, эффективная вязкость, динамическая вязкость, термостатирование

Researches on thermal and rheological properties of cream- and vegetable spread

Alexander N. Ostrikov,¹ oan@vsuet.ru
Anastasia V. Gorbatova,¹ gorbatova.nastia@yandex.ru
Pavel V. Filiptsov¹ pavel.filiptsov@mail.ru

¹Department of Technology of fats, processes and apparatuses of chemical and food industries, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution av., 19 Voronezh, Russia

Summary. Researches of thermal and rheological properties of cream- and vegetable spread are necessary for the scientific substantiation of their obtaining process, namely mixing and crystallization processes. As the object of research, we chose a cream- and vegetable spread, with the following composition: peanut butter 10%; wheat germ oil 10%; linseed oil 20%; butter 59.8%; emulsifier 0.2%. With the data obtained in the course of research of the rheological properties of cream- and vegetable spread, one can subsequently generate recommendations for optimization of technological modes of production. In particular, one can solve problems of intensification of hydro-mechanical and thermal processes by carrying them out at such a temperature and speed when the maximum preservation of the produced product structure will be achieved. Determination of thermal characteristics was carried out in the apparatus for the study of thermal and rheological properties of viscoelastic liquids Coesfeld RT-1394H. Rheological researches of cream- and vegetable spread were carried out on a series of viscometers SV-10 and PB-8m. The graphs of spread dynamic viscosity dependence on the temperature, and the dependence of the effective viscosity of the spread and vegetable oils on the shear rate were built according to experimental data. The data obtained is rational to choose the equipment for processing and production of cream- and vegetable spread, to simulate processes taking place in the production process, to solve problems of intensification of thermal and hydro-mechanical processes reasonably, by conducting the production process at temperatures that do not cause the destruction of the product structure.

Keywords: spread, thermal properties, coefficient of temperature conductivity, mass specific heat, thermal conductivity, rheology, the velocity gradient, the effective viscosity, dynamic viscosity, temperature control

Для цитирования

Остриков А. Н., Горбатова А. В., Филипцов П. В. Исследования теплофизических и реологических свойств сливочно-растительного спреда // Вестник ВГУИТ. 2016. № 2. С 22–27. doi:10.20914/2310-1202-2016-2-22-27

For citation

Ostrikov A. N., Gorbatova A. V., Filiptsov P. V. Researches of heatphysical and rheological properties of creamy and vegetable spread. *Vestnik VSUET* [Proceedings of VSUET]. 2016. no 2 pp. 22–27 (in Russ.). doi:10.20914/2310-1202-2016-2-22-27

Введение

Создание новых рецептур спредов на основе купажа растительных масел является перспективным направлением развития эмульсионных продуктов, с позиции улучшения их жирно-кислотного состава [1]. Выбор оптимальных параметров процесса получения сливочно-растительных спредов невозможен без знания его теплофизических и реологических свойств. Режим работы используемого оборудования также зависит от его реологических и теплофизических характеристик [2–4, 7, 8]. В процессе производства на спреды воздействуют различными видами обработки, такими как охлаждение, нагрев, перемешивание, транспортирование по трубопроводам, истечение из дозирующего устройства и нагнетание и др.

В качестве объекта исследования был выбран сливочно-растительный спред, имеющий следующий состав: масла арахисовое 10%, зародышей пшеницы 10%, льняное 20%, сливочное 59,8%; эмульгатор 0,2%.

Теплофизические свойства были исследованы на установке Coesfeld RT-1394H (National Instruments) (рисунок 1). Измерительное устройство состоит из двух коаксиально расположенных цилиндров 1 и 2 (рисунок 2). Внутренний цилиндр 1 изготовлен из капролона. Он состоит из трёх коаксиальных цилиндрических слоёв и установлен соосно по отношению к наружному цилиндру 2 при помощи подшипников 9.



Рисунок 1. Coesfeld RT-1394H (National Instruments)

Figure 1. Coesfeld RT-1394H (National Instruments)

Термопреобразователь сопротивления и электрический нагреватель намотаны по спирали медным и манганиновым проводом на внешней

поверхности внутреннего коаксиального цилиндрического слоя. Через канал на наружной поверхности цилиндра пропущены выводы от электрического нагревателя и термического преобразователя сопротивления, подключённые к разъёму 8. От анализируемого продукта термопреобразователь сопротивления и нагреватель отделены гильзой, изготовленной из капролона 4.

Нижний торец 5 внутреннего цилиндра выполнен полусферическим. Такое конструкторское решение способствует наиболее устойчивому режиму течения вязкоупругих жидкостей в зазоре между коаксиальными цилиндрами.

Измерительная установка для исследования теплофизических свойств пищевых продуктов выполнена в соответствии со схемой, изображённой на рисунке 3.

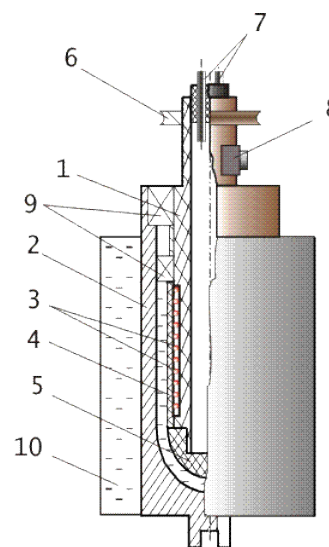


Рисунок 2. Измерительное устройство

Figure 2. Measuring device

Методика проведения исследований теплофизических характеристик включает в себя следующие действия. В полусферическое расширение внешнего цилиндра установки помещают навеску заданной массы (15 г.) исследуемого образца спреда. После чего устанавливают внутренний цилиндр и включают термостат. Приводят во вращение внешний цилиндр измерительного устройства с угловой скоростью $\omega = 0,1 \text{ с}^{-1}$, которая даёт возможность создания в слое исследуемой жидкости заданной скорости сдвига $\gamma = 2,5 \text{ с}^{-1}$. Затем включают нагреватель измерительного устройства и выполняют регистрацию установившейся средней интегральной температуры в слое нагревателя измерительного устройства через заданный промежуток времени $\Delta t = 10 \text{ мин}$. После чего необходимо отключить привод внешнего цилиндра при достижении стационарной температуры.

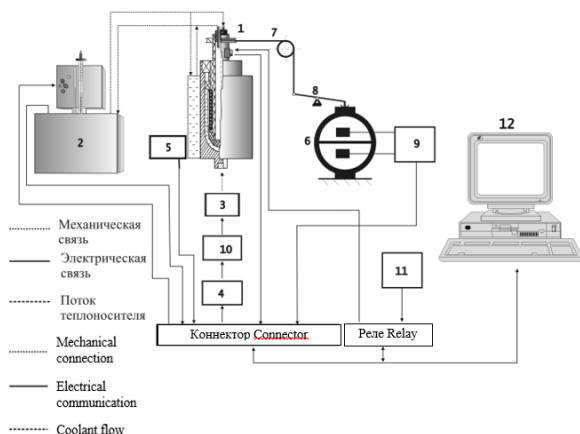


Рисунок 3. Функциональная схема измерительной установки: 1 – измерительное устройство; 2 – жидкостный термостат; 3 – электродвигатель постоянного тока; 4 – усилитель мощности У-13Н; 5 – преобразователь угловой скорости; 6 – вибросредоточный преобразователь; 7 – трос; 8 – рычажная система; 9 – усилитель; 10 – выпрямитель; 11 – блок питания; 12 – компьютер, оснащённый многофункциональной платой сбора данных PCI MIO-16E-1

Figure 3. Functional scheme of measuring setup: 1 – measuring device; 2 – liquid thermostat; 3 – the direct current motor; 4 – power amplifier U-13H; 5 – angular velocity converter; 6 – vibration-frequency power converter; 7 – cable; 8 – lever system; 9 – amplifier; 10 – straightener; 11 – power supply; 12 – PC with data acquisition multi-function card PCI MIO-16E-1

Если все эти операции проделаны, то можно определить теплофизические характеристики исследуемого спреда по экспериментальной информации с использованием расчётных данных, которые получают в процессе решения обратной задачи теплопроводности с применением пакета программ Lab View 7.0.

Реологические исследования сливочно-растительного спреда проводились на вибровискозиметре серии SV-10 (рисунок 4). Принцип его работы основан на использовании метода камерной вибрации. Главным отличием от других ротационных вискозиметров является то, что без замены сенсорных пластин возможно непрерывно измерять динамическую вязкость в широких диапазонах.

Реологические свойства сливочно-растительных спредов трансформируются не только при изменении температуры, но и при различных скоростях градиента скорости сдвига. Среди основных реологических свойств наиболее существенное влияние на гидромеханические процессы при выработке спредов оказывают их вязкостные свойства [4, 5].

Реологические исследования сливочно-растительного спреда, а также входящих в его состав

растительных масел (арахисовое, льняное и масло зародышей пшеницы), были дополнительно произведены на ротационном полусфероцилиндрическом вискозиметре РВ-8м (рисунок 5).



Рисунок 4. Вибровискозиметр SV-10

Figure 4. Vibroviscometer SV-10

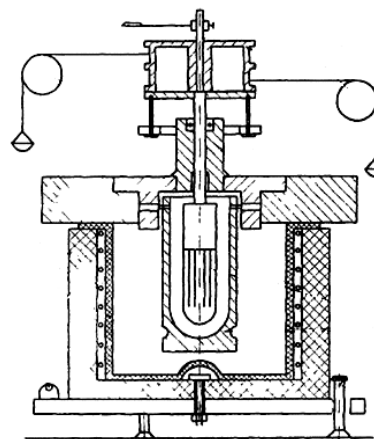


Рисунок 5. Вискозиметр РВ-8м

Figure 5. Vibroviscometer RV-8m

Принцип определения вязкости на ротационном вискозиметре РВ-8м основан на измерении скорости вращения внутреннего цилиндра (при неподвижном внешнем) в испытуемом материале под действием определённого груза.

Теплофизические свойства спреда, полученные во время эксперимента сопоставлены графически с литературными данными для маргарина, приведёнными в [6].

Зависимость коэффициента температуропроводности сливочно-растительного спреда и маргарина, представлена на рисунке 6. На рисунке 7 представлена зависимость коэффициента теплопроводности образца сливочно-растительного спреда и маргарина от температуры. На рисунке 8 представлена зависимость удельной теплоёмкости образца спреда и маргарина от температуры.

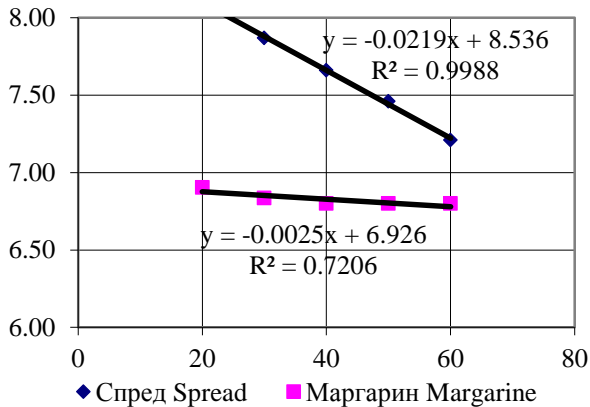


Рисунок 6. Зависимость коэффициента температуропроводности спреда и маргарина

Figure 6. The dependence of spread and margarine thermal diffusivity

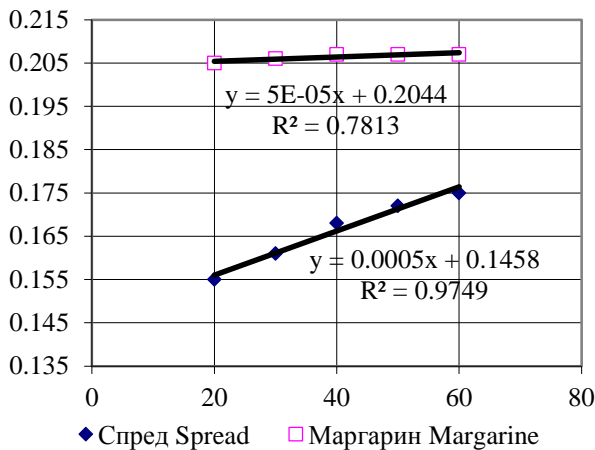


Рисунок 7. Зависимость коэффициента теплопроводности спреда и маргарина от температуры

Figure 7. The dependence of spread and margarine thermal conductivity coefficient from temperature

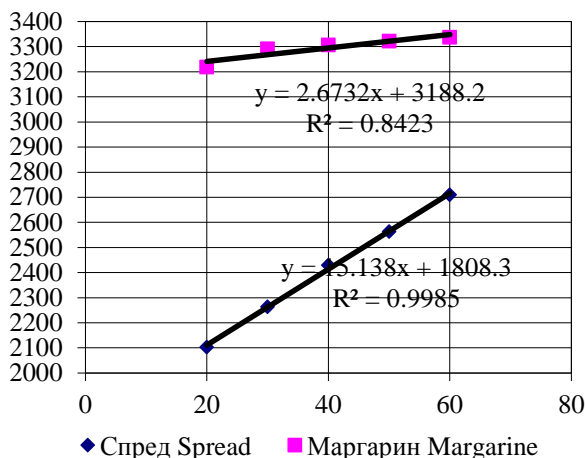


Рисунок 8. Зависимость удельной теплоёмкости спреда и маргарина от температуры

Figure 8. The dependence of spread and margarine specific heat capacity from temperature

Во время эксперимента было получено, что с подъёмом температуры происходит увеличение таких теплофизических характеристик, как удельной теплоёмкости и коэффициента теплопроводности. Следовательно, можно сделать вывод о том, что способность сливочно-растительного спреда проводить теплоту возрастает по мере увеличения его температуры. Это обуславливается уменьшением плотности продукта. Повышение температуры единицы объёма сливочно-растительного спреда в результате притока тепла снижается с уменьшением температуры, это следует из того, что коэффициент температуропроводности образца сливочно-растительного спреда по мере роста температуры уменьшается. Это также происходит с уменьшением плотности продукта.

Полученные данные в результате исследований на вибровязкозиметре были обработаны и представлены в виде графика. График зависимости динамической вязкости сливочно-растительного спреда от температуры представлен на рисунке 9.

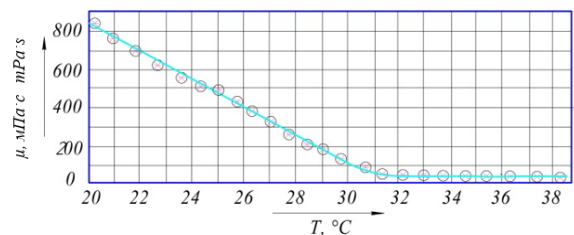


Рисунок 9. Изменение динамической вязкости сливочно-растительного спреда в зависимости от температуры

Figure 9. The change of dynamic viscosity creamy-plant spread, depending from temperature

Характер изменения вязкости имеет степенную зависимость. В дальнейшем возможен выбор необходимых режимов движения и температур обработки сливочно-растительных спредов в процессе производства и транспортировки готового продукта, с учётом полученных значений динамической вязкости.

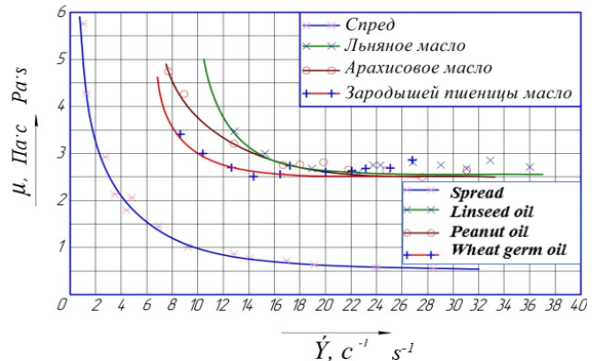


Рисунок 10. Зависимость эффективной вязкости спреда и растительных масел от скорости сдвига

Figure 10. Dependence of effective viscosity spread and plant oils shear rate

Данные, полученные во время эксперимента на вискозиметре РВ-8м, представлены в виде графика зависимости эффективной вязкости исследуемых продуктов от скорости сдвига при комнатной температуре 20 °С (рисунок 10).

Заключение

Полученные данные позволяют рационально выбирать оборудование для переработки

ЛИТЕРАТУРА

1 Остриков А. Н., Горбатова А. В. Исследование теплофизических свойств спреда функциональной направленности // Известия высших учебных заведений Пищевая технология. 2013. № 2–3. С. 101–103

2 Василенко В. Н., Копылов М.В., Фролова Л.Н., Таркаев Ю.В. Инновационные композиции растительных масел с оптимизированным жирно-кислотным составом // Актуальная биотехнология. 2012. № 4 (3). С. 8–10.

3 Бараненко Д. А., Салами М. Изменение белковой фракции говядины в цикле «замораживание-хранение-тепловая обработка» // Вестник Международной академии холода. 2014. № 4. С. 15–18.

4 Арет В. А., Забровский Г. П., Николаев Б. Л., Николаев Л. К. Инженерная реология жиросодержащих пищевых продуктов. СПб, 2002. 294 с.

5 Остриков А. Н., Смирных А. А., Горбатова А. В. Комплексное исследование реологических свойств спреда функциональной направленности // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2013. № 1. С. 37–39.

6 Гинзбург А. С., Громов М. А., Красовская Г. И. Теплофизические характеристики пищевых продуктов: справочник. М.: Агропромиздат, 1990. 287 с.

7 Khanafer K., Vafai K. A critical synthesis of thermophysical characteristics of nanofluids // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2011. V. 54. №. 19. P. 4410–4428. doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2011.04.048

8 Ghadimi A., Saidur R., Metselaar H. S. C. A review of nanofluid stability properties and characterization in stationary conditions // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2011. V. 54. №. 17. P. 4051–4068. doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2011.04.014

и производства сливочно-растительного спреда, моделировать процессы, происходящие во время технологических операций, обоснованно решать вопросы интенсификации тепловых и гидромеханических процессов производства при температурах, не вызывающих разрушение структуры продукта.

REFERENCES

1 Ostrikov A.N., Gorbatova A.V. Study the physical properties of the heat-spread functional orientation. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya*. [Proceedings of the higher educational institutions Food technology]. 2013, no. 2–3, pp. 101–103/ (in Russian).

2 Vasilenko V. N., Kopylov M.V., Frolova L.N., Tarkaev Yu. V. Innovative formulations with vegetable oils optimized nym fatty acid composition. *Aktual'naya biotekhnologiya*. [Current biotechnology], 2012, no. 4 (3), pp. 8–10. (in Russian).

3 Baranenko D.A., Salami M. Changes of beef protein fraction in “freezing - storage - heat treatment” cycle. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. [Proceedings of the International Academy of Refrigeration] 2014, no. 4, pp. 15–18. (in Russian).

4 Aret V.A., Zabrovskii G.P., Nikolaev B.L., Nikolaev L.K. *Inzhenernaya reologiya zhirosoderzhashchikh pishchevykh produktov* [Engineering rheology of fat-containing foods]. Saint-Petersburg, 2002. 294 p. (in Russian).

5 Ostrikov A.N., Smirnov A.A., Gorbatov A.V. A comprehensive study of the rheological properties of the spread functional orientation. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceedings of Altai State Agrarian University]. 2013, no. 1, pp. 37–39. (in Russian).

6 Ginzburg A.S., Gromov M. A., Krasovskaya G. I. *Teplofizicheskie kharakteristiki pishchevykh produktov* [Thermal characteristics of foodstuffs]. Moscow, Agropromizdat, 1990. 287 p. (in Russian).

7 Khanafer K., Vafai K. A critical synthesis of thermophysical characteristics of nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2011, vol. 54, no. 19, pp. 4410–4428. doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2011.04.048

8 Ghadimi A., Saidur R., Metselaar H. S. C. A review of nanofluid stability properties and characterization in stationary conditions. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2011, vol. 54, no. 17, pp. 4051–4068. doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2011.04.014

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Александр Н. Остриков профессор, заведующий кафедрой технологии жиров процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронеж. гос. ун-т. инж. техн., пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, oan@vsuet.ru

Анастасия В. Горбатова ассистент, кафедра технологии жиров процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронеж. гос. ун-т. инж. техн., пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, gorbatova.nastia@yandex.ru

Павел В. Филиппов магистрант, кафедра технологии жиров процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронеж. гос. ун-т. инж. техн., пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, pavel.filipsov@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Александр Н. Остриков предложил методику проведения эксперимента и консультировал в ходе исследования

Анастасия В. Горбатова написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Павел В. Филиппов обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провел эксперимент, выполнил расчеты

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 19.04.2016

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 17.05.2016

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Alexander N. Ostrikov professor, head of Department of Technology of fats, processes and apparatuses of chemical and food industries, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, Russia, oan@vsuet.ru

Anastasia V. Gorbatova assistant, Department of Technology of fats, processes and apparatuses of chemical and food industries, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, Russia, gorbatova.nastia@yandex.ru

Pavel V. Filiptsov graduate student, Department of Technology of fats, processes and apparatuses of chemical and food industries, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, Russia, pavel.filipsov@mail.ru

CONTRIBUTION

Alexander N. Ostrikov proposed a scheme of the experiment and consultation during the study

Anastasia V. Gorbatova wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Pavel V. Filiptsov review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 4.19.2016

ACCEPTED 5.17.2016