

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ТОПЛИВОПОДГОТОВКИ БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА ПРИ УСЛОВИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕГО НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

**Д. В. Варнаков<sup>1</sup>, С. А. Симачков<sup>2</sup>, Е. П. Парлюк<sup>3</sup>, Д. О. Буров<sup>1</sup>**  
<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет»

(г. Ульяновск Российская Федерация)

<sup>2</sup>ФАУ «25 Государственный научно-исследовательский институт химмотологии Министерства обороны Российской Федерации», (г. Москва, Российская Федерация)

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»  
(г. Москва, Российская Федерация)

**Аннотация:** В статье рассмотрены вопросы триботехнических свойств биодизельного топлива на основе рапсового масла. Представлен способ дозирования биотоплива для дизельных двигателей и предложено техническое решение для его реализации. Приведено обоснование критериев при разработке автоматизированной системы оптимального дозирования биотоплива для дизельных двигателей.

**Ключевые слова:** дизельное топливо; низкотемпературные свойства; рапсовое масло; биотопливо; триботехнические свойства; топливная аппаратура.

## DEVELOPMENT OF A FUEL TREATMENT SYSTEM FOR BIODIESEL FUEL UNDER THE CONDITIONS OF PROVID- ING ITS LOW TEMPERATURE AND TRIBOTECHNICAL PROPERTIES

**D. V. Varnakov<sup>a</sup>, S. A. Simachkov<sup>b</sup>, E. P. Parlyuk<sup>c</sup>, D. O. Burov<sup>a</sup>**  
<sup>a</sup>Ulyanovsk State University

(Ulyanovsk, Russian Federation)

<sup>b</sup>25 State Research Institute of Chemotology of the Ministry  
of Defense of the Russian Federation

(Moscow, Russian Federation)

<sup>c</sup>Russian Timiryazev State Agrarian University  
(Moscow, Russian Federation)

**Abstract:** *The article deals with the issues of tribological properties of biodiesel fuel based on rapeseed oil. A method for dosing biofuel for diesel engines is presented and a technical solution for its implementation is proposed. The substantiation of the criteria for the development of an automated system for optimal dosing of biofuel for diesel engines is given.*

**Keywords:** *diesel fuel; low temperature properties; rapeseed oil; biofuel; tribotechnical properties; fuel equipment.*

Современные международные экологические стандарты для дизельного топлива приводят к необходимости добавления компонентов растительного происхождения. Одним из наиболее подходящих компонентов биодизельного топлива является рапсовое масло. Ранее установлено, что по экологическим параметрам биодизельное топливо превосходит дизельное, а из всех производимых растительных масел рапсовое является одним из наиболее дешевых.

Практика использования глубокоочищенных топлив в ряде стран Западной Европы и США показывает, что снижение содержания вредных веществ в выхлопных газах сопровождается преждевременным выходом из строя прецизионных пар топливоподающей аппаратуры, в т.ч. и плунжерных пар топливных насосов высокого давления [1, 2, 3].

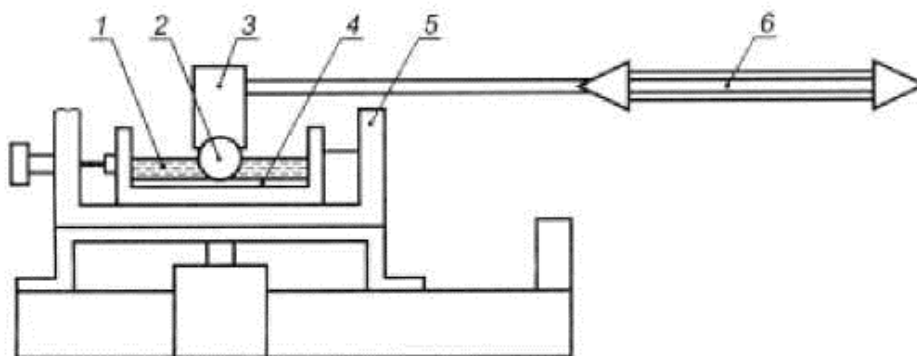
В сущности, используемый непосредственно на автомобильном транспорте биодизель, является смесью дизельного топлива с разного рода растительными компонентами. При этом оптимальное соотношение применяемых компонентов биодизельного топлива определяется, прежде всего такими требованиями как: физико-химические, экологические, а также энергетическими [4, 5, 6].

Немалое значение имеют триботехнические свойства биодизельного топлива как один из критериев для определения оптимального дозирования компонентов.

Именно поэтому, определение оптимального соотношения применяемых компонентов биодизельного топлива, с обязательным учетом его свойств эксплуатации, в условиях низкой температуры, а также составление дифференциальных уравнений, позволяющих определить наиболее оптимальный компонентный состав для работы в определенных климатических условиях, явля-

ется весьма актуальной и важной задачей [6].

Основываясь на результатах проведенных исследований, удалось выявить определенные зависимости низкотемпературных эксплуатационных свойств биодизельного топлива от компонентов, входящих в его состав. В нашем случае же, в качестве компонента биодизельного топлива выступает рапсовое масло.



**Рисунок 1 – Схема аппарата HFRR:**

1 – топливный резервуар; 2 – шарик из металла; 3 – прикладываемая нагрузка; 4 – пластина из металла; 5 – нагревательный элемент; 6 – направление движения, имеющее возвратно-поступательный характер

Исследование триботехнических свойств биодизельного топлива проводились на аппарате HFRR, схема которого представлена на рисунке 1. Для обеспечения условий испытания необходимо обеспечить возможность приведения в движение возвратно-поступательного характера строго-заданной частотой, длиной хода и нагрузкой укрепленный металлический шарик, находящийся в непосредственном контакте со стационарной пластиной, выполненной из стали. Контактующие поверхности вышеуказанных элементов должны быть полностью погружены в исследуемое топливо, согласно условиям испытания указанных в таблице 1.

#### **Измерение пятна износа**

Процесс измерения пятна износа шарика происходит следующим образом: металлический шарик, недавно изъятый из установки для измерения, помещают под микроскоп, имеющий 100-кратное увеличение.

Шарик двигают с целью определения центра пятна износа. Затем происходит регулировка подсветки микроскопа, ввиду

необходимости точного определения края пятна износа.

**Таблица 1 – Условия проведения испытаний**

Параметр	Значение
Объем топлива, см <sup>3</sup>	2 ±0,2
Амплитуда колебаний, мм	1 ±0,02
Частота колебаний, Гц	50 ±1
Температура топлива, °С	60 +2
Приложенная нагрузка, г	200 +1
Длительность испытания, мин	75 ±0,1
Площадь поверхности топлива, мм <sup>2</sup>	600 ±100

Измерение диаметра пятна износа определяется по оси абсцисс и оси ординат соответственно с точностью до 1 мкм. Затем, полученные в результате измерений значения, в обязательном порядке заносятся в таблицу. В случае отличия размеров пятна превышает диапазон от плюс 100 до минус 30 мкм, стоит в первую очередь проверить корректность в определении границ пятна износа металлического шарика.

#### **Обработка результатов**

Некоррелированный средний диаметр пятна износа MWSD, мкм, рассчитывают по формуле:

$$MWSD = \frac{x + y}{2}, \quad (1)$$

где  $x$  – размер пятна износа, перпендикулярный к направлению движения, имеющему возвратно-поступательный характер, мкм;

$y$  – размер пятна износа, параллельный к направлению движения, имеющему возвратно-поступательный характер, мкм.

В результате проведенных исследований была получена математическая зависимость триботехнических параметров дизельного топлива смешанного с рапсовым маслом. Она имеет вид:

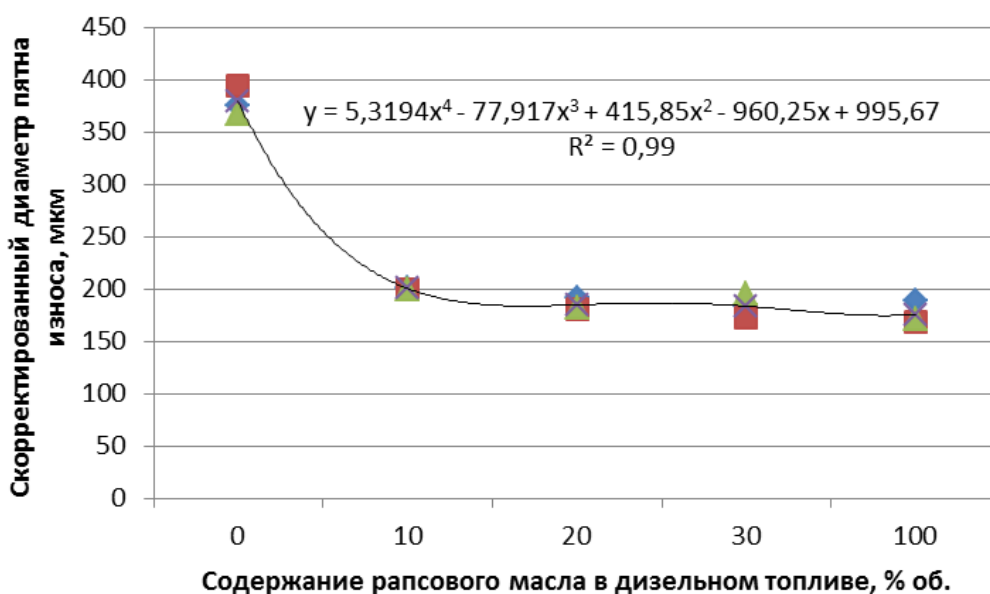
$$y = 5,3194x^4 - 77,917x^3 + 415,85x^2 - 960,25x + 995,67 \quad (2)$$

где  $x$  – содержание рапсового масла в дизельном топливе, выраженное в процентах.

Достоверность аппроксимации составляет  $R^2 = 0,099$ .

**Таблица 2 – Результаты, полученные при испытаниях смесей  
дизельного топлива с рапсовым маслом, согласно ГОСТ Р  
ИСО 12156-1-2006**

№ п/п	Содержание рапсово- го масла в ДТ, % об.	Скорректированный диаметр пятна износа при 60 °С, мкм		
		результат 1	результат 2	результат 3
1	0	375	394	367
2	10	201	200	200
3	20	191	181	182
4	30	183	172	195
5	100	188	168	171



**Рисунок 2 – Диаграмма изменений триботехнических  
параметров дизельного топлива, имеющего в своем составе  
рапсовое масло**

Полученная, на основании результатов исследований, закономерность показывает, что в случае увеличения процента содержания рапсового масла в биодизельном топливе в диапазоне от 0 % до 100 % происходит изменение скорректированного диаметра пятна износа при 60 °С, который и характеризует триботехнические свойства. Также важным следствием при этом является то, что увеличение концентрации рапсового масла в составе биодизельного топлива более чем на 10 % способно приводить к незначительному увеличению противоизносных свойств топлива.

При этом стоит также упомянуть и о негативных сторонах повышения концентрации рапсового масла в дизельном топливе. К ним можно отнести как снижение полноты сгорания топлива, что сказывается на повышении его расхода, так и повышение дымности отработанных газов.

При проведении исследований были также выдвинуты гипотезы, согласно которым происходит изменение триботехнических свойств у биодизельного топлива при изменении соотношения смешивания в пользу рапсового масла, а также существовании возможности математического моделирования оптимального соотношения компонентов биодизеля.

Таким образом, предложенная методика по моделированию оптимального соотношения компонентов биодизельного топлива, в зависимости от его триботехнических свойств, вполне могут быть применена при различных разработках технических устройств, основанных на смешивании компонентов биодизельного топлива.

Основываясь на результатах проведенных исследований, удалось выявить определенные зависимости низкотемпературных эксплуатационных свойств биодизельного топлива от компонентов, входящих в его состав. В нашем случае же, в качестве компонента биодизельного топлива выступает рапсовое масло.

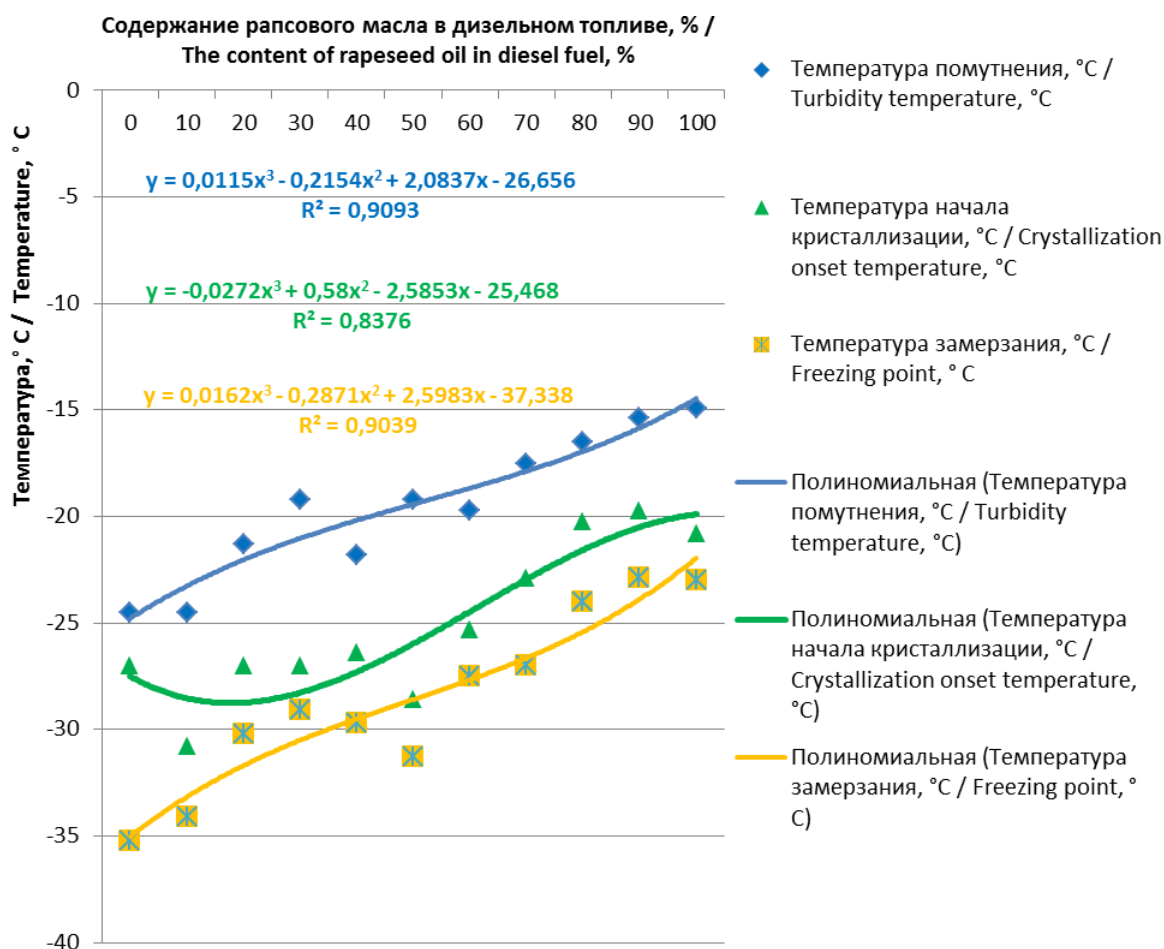
На рисунке 3, в виде полиномов отражена зависимость параметров биодизельного топлива с рапсовым маслом, определяющих его низкотемпературные свойства [5, 6, 7].

Анализируя рисунок 3, можно прийти к выводу о существовании следующей закономерности: с увеличением процентного соотношения рапсового масла в биодизельном топливе, также повышаются такие параметры как: температура помутнения топлива, начала кристаллизации и застывания топлива.

Таким образом, увеличение содержания рапсового масла в биодизельном топливе непосредственно приводит к ухудшению его эксплуатационных свойств в условиях отрицательной температуры [6].

Возникает необходимость изменения соотношения компонентов биодизельного топлива в зависимости от температуры окружающей среды, требований к цетановому числу и триботех-

ническим свойствам [7, 8, 9, 10].



**Рисунок 3 – Полиномиальная аппроксимация температур помутнения, начала кристаллизации и застывания биодизельного топлива от содержания в нем рапсового масла**

Анализ существующих технических решений позволил выявить их недостатки [7, 8], к основным из которых можно отнести: отсутствие дозатора компонентов; отсутствие контроля качества смешивания; необходимость в самостоятельной настройке блока ввода количественного соотношения компонентов биодизельного топлива, что обуславливает низкий уровень автоматизации устройства. Техническим результатом, обеспечиваемым разрабатываемой системой топливоподготовки биодизельного топлива при условии обеспечения его низкотемпературных и триботехнических свойств, является автоматизация процесса получения оптимального процентного соотношения компонентов биодизельного топлива.

## **Выводы:**

1. В случае увеличения доли рапсового масла в составе биодизельного топлива не происходит негативного влияния на триботехнические свойства, требуемые в каждом конкретном случае, однако наилучший смазывающий эффект при этом достигается лишь при уровне концентрации рапсового масла в составе биодизельного топлива не менее 10 %.

2. Согласно проведенным испытаниям смесей дизельного топлива с рапсовым маслом в соответствии с ГОСТ Р ИСО 12156-1-2006, был определен скорректированный диаметр пятна износа, который лежит в диапазоне от 168...394 мкм, в случае изменения его компонентного состава.

3. Применение технических средств получения двухкомпонентного смесевоего топлива с системой управления компонентным составом позволит повысить эффективность применения биодизельного топлива на автомобильном транспорте.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Шиперова Т. П., Пущин В. А. Биотопливо и его практическое применение // Автотранспортное предприятие. 2009. № (3). С. 16-18.

2. Дидманидзе О. Н., Карев А. М., Митягин Г. Е. О перспективах развития автомобильного транспорта в агропромышленном комплексе // Международный научный журнал. 2016 № (1). С. 53-65.

3. Использование биотоплив на основе растительных масел в дизельных двигателях / В. А. Марков, Н. А. Иващенко, С. Н. Девянин, С. А. Нагорнов // Вестник Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. Серия Машиностроение. 2012 № 10 (10). С. 74-81.

4. Федченко И. А., Соловцова А. С., Лукьянов А. Н. Основные тенденции развития рынка биотоплива в мире и России за период 2000-2012 годы: аналитический отчет ОАО «Корпорации «Развитие» г. Белгород [Электронный ресурс]. Режим доступа: [portal-energo.ru/files/articles/portal-energo\\_ru\\_2.pdf](http://portal-energo.ru/files/articles/portal-energo_ru_2.pdf) (дата обращения 15.04.2020).

5. Дидманидзе О. Н., Варнаков Д. В., Симачков С. А. Особенности подготовки компонентного состава биодизельного топлива на основе рапса // В сб.: Чтения академика В. Н. Болтинского. 2020. С. 74-81.

6. Варнаков Д. В., Симачков С. А., Варнаков В. В. Моделирование оптимального компонентного состава биодизельного топлива // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. Т. 21. № 3. С. 313-320.



7. Варнаков Д. В., Варнаков В. В., Симачков С. А. Разработка технических средств оперативного контроля качества биотоплива // В сб.: Чтения академика В. Н. Болтинского. 2020. С. 82-90.

8. Мобильная установка для получения биодизельного топлива с системой контроля цетанового числа / Д. В. Варнаков, В. В. Варнаков, Д. Н. Яшин, Е. А. Варнакова, А. С. Неваев // Патент на полезную модель RU 193257 U1, 21.10.2019. Заявка № 2019106738 от 11.03.2019.

9. Варнаков Д. В., Варнаков В. В., Симачков С. А. Исследование триботехнических свойств биодизельного топлива на основе рапсового масла // Международный технико-экономический журнал. 2020. № 4. С. 53-63.

10. Varnakov D. V., Varnakov V. V., Simachkov S. A. Results of determining optimal correlation between components of biodiesel fuel on basis of rape // Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019). Conference proceedings ICIE 2019. Сер. «Lecture Notes in Mechanical Engineering» 2020. С. 1419-1426.

## REFERENCES

1. Shiperova T. P., Pushhin V. A. Biotoplivo i ego prakticheskoe primeneniye [Biofuels and their practical applications]. *Avtotransportnoe predpriyatie*, 2009, no. (3), pp. 16-18.

2. Didmanidze O. N., Karev A. M., Mityagin G. E. O perspektivax razvitiya avtomobil'nogo transporta v agropromy`shlennom komplekse [On the prospects for the development of road transport in the agro-industrial complex]. *Mezhdunarodny`j nauchny`j zhurnal*, 2016, no. (1), pp. 53–65.

3. Markov V. A., Ivashhenko N. A., Devyanin S. N., Nagornov S. A. Ispol`zovanie biotopliv na osnove rastitel`ny`x masel v dizel`ny`x dvigatelyax [Use of biofuels based on vegetable oils in diesel engines]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta im. N. E. Baumana. Seriya Mashinostroenie*, 2012, no. 10 (10), pp. 74-81.

4. Fedchenko I. A., Solovczova A. S., Luk`yanov A. N. Osnovnye tendencii razvitiya rynka biotopliva v mire i Rossii za period 2000-2012 gody: analiticheskij otchet OAO «Korporacii «Razvitie» g. Belgorod [Main trends of biofuel market development in the world and Russia for the period 2000-2012: analytical report of OJSC "Corporation-Development" Belgorod]. Available at: [portal-energo.ru/files/articles/portal-energo\\_ru\\_2.pdf](http://portal-energo.ru/files/articles/portal-energo_ru_2.pdf).

5. Didmanidze O. N., Varnakov D. V., Simachkov S. A. Osobennosti podgotovki komponentnogo sostava biodizel'nogo topliva na osnove rapsa [Features of the preparation of the component composition of biodiesel fuel based on rapeseed]. *Chteniya akademika V. N. Boltinskogo*, 2020, pp. 74-81.

6. Varnakov D. V., Simachkov S. A., Varnakov V. V. Modelirovaniye optimal'nogo komponentnogo sostava biodizel'nogo topliva [Features of the

preparation of the component composition of biodiesel fuel based on rapeseed]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2020, vol. 21, no. 3, pp. 313-320.

7. Varnakov D. V., Varnakov V. V., Simachkov S. A. Razrabotka texnicheskix sredstv operativnogo kontrolya kachestva biotopliva [Development of technical means for operational control of biofuel quality]. *Chteniya akademika V. N. Boltinskogo*, 2020, pp. 82-90.

8. Varnakov D. V., Varnakov V. V., Yashin D. N., Varnakova E. A., Nevaev A. S. Mobil'naya ustanovka dlya polucheniya biodizel'nogo topliva s sistemoy kontrolya cetanovogo chisla [Mobile unit for production of also diesel fuel with cetane number control system]. Patent Russian Federation. No 193257 U1, appl. 21.10.2019.

9. Varnakov D. V., Varnakov V. V., Simachkov S. A. Issledovanie tribotexnicheskix svoystv biodizel'nogo topliva na osnove rapsovogo masla [Research of tribotechnical properties of biodiesel fuel based on rapeseed oil]. *Mezhdunarodny'j tekhniko-e'konomicheskij zhurnal*, 2020, no. 4, pp. 53-63.

10. Varnakov D. V., Varnakov V. V., Simachkov S. A. Results of determining optimal correlation between components of bio-diesel fuel on basis of rape. *Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019). Conference proceedings ICIE 2019. Ser. «Lecture Notes in Mechanical Engineering»*, 2020, pp. 1419-1426.

#### **Об авторах:**

**Варнаков Дмитрий Валерьевич**, профессор кафедры техносферной безопасности ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет», Российская Федерация (432017, Российская Федерация, г. Ульяновск, ул. Льва Толстого, д. 42), доктор технических наук, доцент, varndm@mail.ru.

**Симачков Сергей Александрович**, научный сотрудник ФАУ «25 Государственный научно-исследовательский институт химмотологии Министерства обороны Российской Федерации» (121467, Москва, ул. Молодогвардейская, д. 10), simahov1969@mail.ru.

**Парлюк Екатерина Петровна**, доцент кафедры тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49), кандидат экономических наук, доцент, kparlyuk@rgau-msha.ru.

**Буров Дмитрий Олегович**, аспирант ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет», Российская Федерация (432017, Российская Федерация, г. Ульяновск, ул. Льва Толстого, д. 42).

#### **About the authors:**

**Dmitrii V. Varnakov**, professor of the Department of Technosphere Security, Ulyanovsk State University (432017, Russian Federation, Ulyanovsk,

Lva Tolstogo str., 42), D.Sc. (Engineering), associate professor, varndm@mail.ru.

**Sergei A. Simachkov**, research associate, State Research Institute of Chemmotology of the Ministry of Defense of the Russian Federation (121467, Moscow, Molodogvardeyskaya str., 10), simahov1969@mail.ru.

**Ekaterina P. Parlyuk**, associate professor of the Department of Tractors and Automobiles, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49), Cand.Sc. (Economic), associate professor, kparlyuk@rgau-msha.ru.

**Dmitrii O. Burov**, graduate student, Ulyanovsk State University (432017, Russian Federation, Ulyanovsk, Lva Tolstogo str., 42).