УДК 621.43
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-3-76-83

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВОДНО-ТОПЛИВНОЙ ЭМУЛЬСИИ НА УРОВЕНЬ ВИБРАЦИИ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

[1,2]Родионов Юрий Викторович
[2]Данилин Сергей Иванович
[3]Ломовских Александр Егорович
[3]Колтаков Алексей Анатольевич
[3]Борисов Сергей Владимирович
[1]Скоморохова Анастасия Игоревна
[1]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»
[2]ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет»
[3]ФГКВОУ ВО «ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»

Реферат. *В статье рассматривается перспективность использования водно-топливных эмульсий в качестве основного топлива для дизельных двигателей внутреннего сгорания. Цель исследования заключается в определении влияния состава и качества водно-топливной эмульсии с содержанием воды в дизельном топливе на уровень вибрации дизельного двигателя ЯМЗ-236. Разработана установка для приготовления водно-топливной смеси из дизельного топлива по ГОСТ 32511-2013 и дистиллированной воды по ГОСТ 6709-72. Представлена схема данной экспериментальной установки, предназначенной для приготовления эмульсии непосредственно на борту автотракторной техники с последующей подачей в камеру сгорания двигателя. Стандартные стендовые испытания проведены на стенде КИ-5540 с дизельным двигателем ЯМЗ-236 и с модернизированной топливной системой. Регистрация параметров вибрации проводилась виброметром АССИСТЕНТ V3. Исследования проводились путем снятия виброакустической мощности при работе двигателя ЯМЗ-236 на обычном дизельном топливе и на водно-топливной эмульсии, содержащей в своем составе 5%, 30% и 50% водного компонента. В результате проведенных исследований влияния водно-топливной эмульсии на уровень вибрации дизельного двигателя удалось установить, что увеличение содержания воды до 50% в составе дизельного топлива в виде эмульсии со средними размерами капель водного компонента не более 2 микрон существенно не влияет на уровень вибрации двигателя. Выявлено, что максимальное увеличение значений уровня вибрации на 0,4% происходит при составе ВТЭ 30% водной фазы и 70% топлива, но это увеличение несущественное и им можно пренебречь.*

Ключевые слова: *дизель, водно-топливная эмульсия, вибрация, виброакустическая мощность.*

STUDY OF THE EFFECT OF WATER-FUEL EMULSION ON THE LEVEL OF DIESEL ENGINE VIBRATION

[1,2]Rodionov Yuri
[2]Danilin Sergey
[3] Lomovskikh Alexander
[3]Koltakov Alexey
[3] Borisov Sergei
[1]Skomorohova Anastasia
[1]FSBEI HE "Tambov State Technical University"
[2]FSBEI HE "Michurinsk State Agrarian University"
[3]MERC “Air Force Academy Professor N.E. Zhukovsky and Major Y.A. Gagarin”

Abstract. *The article discusses the prospects of using water-fuel emulsions as the main fuel for diesel internal combustion engines. The purpose of the study is to determine the effect of the composition and quality of a water-fuel emulsion with a water content in diesel fuel on the vibration level of a YaMZ-236*

diesel engine. A plant for the preparation of a water-fuel mixture from diesel fuel according to GOST 32511-2013 and distilled water according to GOST 6709-72 has been developed. A scheme of this experimental plant is presented, designed to prepare an emulsion directly on board an automotive vehicle with subsequent supply to the engine combustion chamber. Standard bench tests were carried out on the KI-5540 bench with a YaMZ-236 diesel engine and an upgraded fuel system. Registration of vibration parameters was carried out by vibrometer ASSISTANT V3. The studies were carried out by removing the vibroacoustic power during the operation of the YaMZ-236 engine on conventional diesel fuel and on a water-fuel emulsion containing 5%, 30% and 50% of the water component in its composition. As a result of the studies of the effect of a water-fuel emulsion on the level of vibration of a diesel engine, it was found that an increase in the water content to 50% in the composition of diesel fuel in the form of an emulsion with an average droplet size of the water component of no more than 2 microns does not significantly affect the level of engine vibration. It was found that the maximum increase in vibration level values by 0.4% occurs when the composition of the WFE is 30% of the water phase and 70% of the fuel, but this increase is insignificant and can be neglected.

Keywords: *diesel, water-fuel emulsion, vibration, vibroacoustic power.*

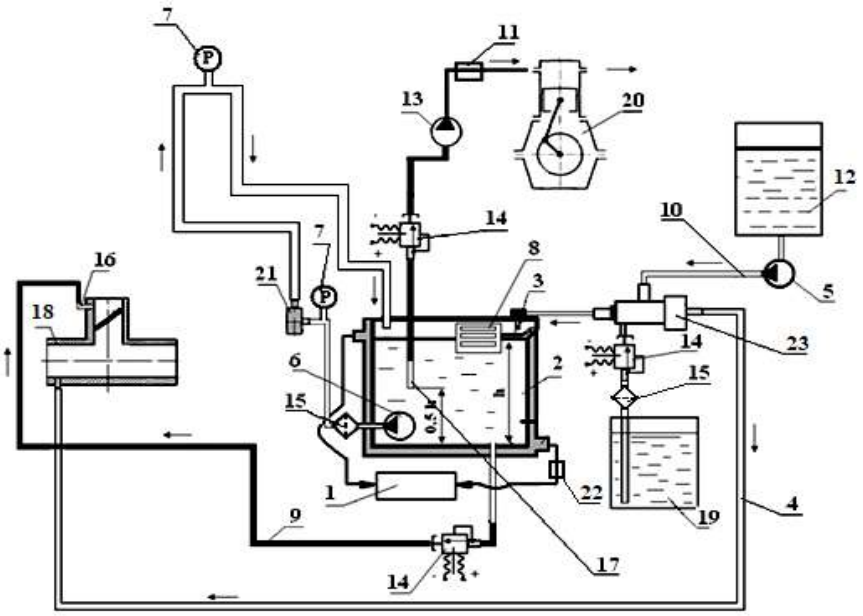
Введение. На сегодняшний момент основную часть работы в современном агропромышленном комплексе выполняет автотракторная техника (АТТ) преимущественно с дизельными двигателями внутреннего сгорания (ДВС). Зачастую происходит эксплуатация физически старой, изношенной техники, что приводит к повышению расхода топлива и существенному увеличению вредных выбросов. Одним из наиболее вредных факторов, отрицательно сказываюшихся на работоспособности ДВС, являются вибрации. Решением обозначенных выше проблем может быть использование водно-топливных эмульсий (ВТЭ) в качестве основного топлива для дизельных ДВС.

В настоящее время ВТЭ уже используются в качестве биотоплива во многих странах мира (Франция, Россия, Китай и др.), где данное топливо заливают в бак и затем эксплуатируют технику на таком топливе. Приготовление осуществляется в основном на стационарных установках и, чтобы водная фаза в топливе быстро не расслаивалась применяют дорогостоящие эмульгаторы. Их добавляют в ВТЭ в количестве до 1% по отношению к объему топлива, что позволяет сохранять ее жизнеспособность в течении 25…30 суток и этого вполне достаточно для ее расходования в течении этого периода. Но бывают ситуации, когда АТТ из-за погодных условий может долгое время не эксплуатироваться (более 30 суток), тогда произойдет расслой водной фазы и ДВС уже не сможет без проведения дополнительных работ запустится. Поэтому применение такой ВТЭ для автотракторной техники в условиях современного агропромышленного комплекса России просто не допустимо. В связи с этим коллективом авторов разработана и запатентована [1] система приготовления и подачи ВТЭ для дизельных ДВС, которая позволяет приготовить эмульсию непосредственно на борту АТТ и сразу ее расходовать в камере сгорания двигателя. При таком конструктивном решении отсутствует необходимость в использовании дорогостоящего эмульгатора. Все разработанные устройства устанавливаются параллельно штатной системы питания ДВС, в разрыв топливного шланга между штатным баком и топливным насосом, соединяются резиновыми шлангами, поэтому могут располагаться в любом свободном месте на АТТ.

Целью исследования является определение влияния состава и качества водно-топливной эмульсии на уровень вибрации дизельного двигателя ЯМЗ-236.

Материалы и методы. Принципиальная схема экспериментальной установки и разработанных устройств в составе штатной системы питания дизельного ДВС представлена на рисунке 1.

Разработанная экспериментальная установка представляет собой стенд КИ-5540 с дизельным двигателем ЯМЗ-236, укомплектованный в соответствии с ГОСТ 14846-81 (см. рисунок 2) и с модернизированной топливной системой для приготовления и подачи ВТЭ в штатную систему питания ДВС ЯМЗ-236.



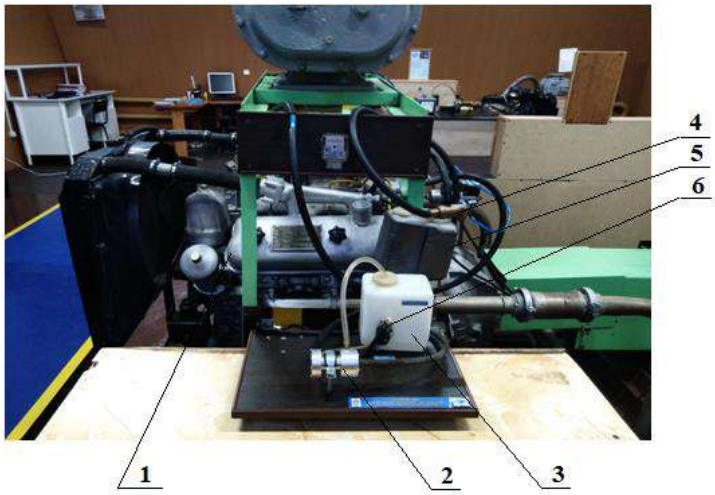
1 – система охлаждения ДВС; 2 – смесительная ёмкость для ВТЭ; 3 – запорная игла; 4 – вакуумная трубка; 5 – насос; 6 – насос; 7 – манометр; 8 – поплавок; 9 – трубка сброса; 10 – резиновые трубопроводы; 11 – расходомер; 12 – ёмкость для топлива; 13 – штатный топливный насос ДВС; 14 – клапаны; 15 – фильтрующий элемент; 16 – жиклер; 17 – трубка забора ВТЭ; 18 – впускной коллектор ДВС; 19 – ёмкость с водой; 20 – ДВС; 21 – перемешивающий аппарат; 22 – кран подачи жидкости; 23 – дозирующий элемент

Рисунок 1 – Принципиальная схема экспериментальной установки

Рисунок 2 – Внешний вид стенда КИ-5540 с дизельным двигателем ЯМЗ-236

Исследование осуществлялось при эксплуатации ДВС на обычном дизельном топливе и на ВТЭ. На экспериментальной установке (рисунок 2) осуществлялась регистрация изменяющихся параметров работы двигателя с использованием приборов в соответствии с требованиями источника [2, 3].

Также при проведении исследований использовалась разработанная для этих целей лабораторная установка для приготовления ВТЭ из дизельного топлива по ГОСТ 32511-2013 (EN 590:2009) и дистиллированной воды по ГОСТ 6709-72. Внешний вид лабораторной установки для приготовления ВТЭ представлен на рисунке 3.



1 – стендовый двигатель ЯМЗ-236; 2 – перемешивающий аппарат; 3 – смесительная ёмкость для ВТЭ; 4 – дозирующий элемент; 5 – ёмкость для топлива; 6 – насос

Рисунок 3 – Внешний вид лабораторной установки для приготовления ВТЭ

Приготовление ВТЭ производилось в два этапа. На первом этапе приготавливалась «грубая» эмульсия с применением дозатора эжекционного принципа действия, в которой средний размер капель водного компонента составляют не более 50 мкм. На втором этапе, после обработки такой смеси в перемешивающем аппарате, получалась ВТЭ, где средние размеры капель водного компонента составляют не более 2 мкм, и далее приготовленная смесь установленного состава и дисперсности подавалась в штатную систему питания дизеля ЯМЗ-236.

В ходе проведения экспериментальных исследований по оценке влияния ВТЭ на уровень вибрации, возникающей при работе дизельного двигателя ЯМЗ-236 на таком топливе, определялись оценочные показатели двигателя при работе под нагрузкой, при различной частоте вращения коленчатого вала. При проведении испытаний двигатель ЯМЗ-236 находился в исправном состоянии и в комплектности соответствующей инструкции по эксплуатации завода-изготовителя. Испытания двигателя с применением модернизированной системы питания производились в диапазоне частот вращения холостого хода до равной 60% от номинальной нагрузки.

Исследования проводились путем снятия виброакустической мощности при работе двигателя ЯМЗ-236 на обычном дизельном топливе и на водно-топливной эмульсии, содержащей в своем составе 5%, 30% и 50% водного компонента.

Единственным параметром, по которому можно однозначно определить виброактивность механизма с учетом всех видов колебаний является виброакустическая мощность. Виброускорение является важным параметром, характеризующим виброакустическую мощность [4], поэтому в процессе испытания двигателя ЯМЗ-236 фиксировались эквивалентные корректированные значения виброускорения по направлениям поступательной вибрации с коэффициентами коррекции (коррекцией Wk – для вертикальной оси Z, коррекция Wd – для поперечной оси Y), как показано на рисунке 4 (на примере автомобиля марки УРАЛ).

Предварительные измерения и литературные источники [5] указывают на минимальный вклад источников вибрационной энергии по продольной оси X в силовых установках, поэтому результаты экспериментальных исследований по оси X не рассматривались.

Уровень вибрации фиксировался виброметром АССИСТЕНТ V3 вибропреобразователем АР40, (рисунок 5) имеющим 3 канала измерения. Датчик вибрации размещался на опорном кронштейне двигателя и крепился с помощью магнита. Уровень сигнала вибрации был усреднен по периоду нормального использования дизеля. Длительность измерений и время интегрирования составили 3 минуты. Точкой измерения была выбрана рама крепления двигателя к основанию.

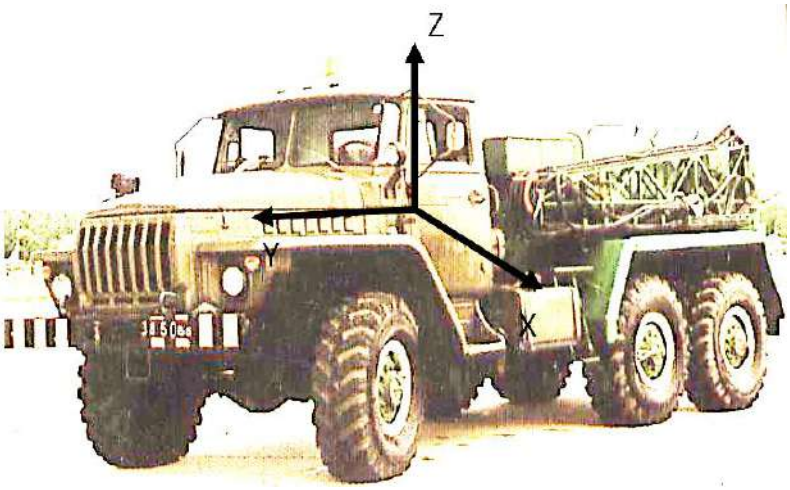


Рисунок 4 – Расположение осей ортогональной системы координат для измерения характеристик вибрации на автомобиле марки УРАЛ

Рисунок 5 – Внешний вид виброметра АССИСТЕНТ V3

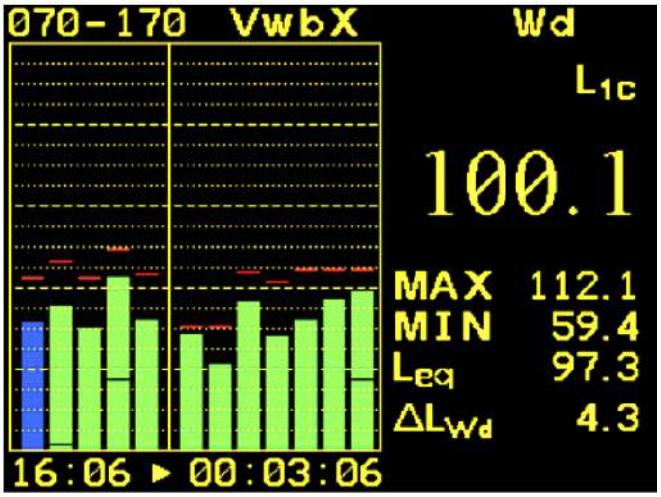


Рисунок 6 – Внешний вид экрана виброметра

Выведенные на экран виброметра полученные при эксперименте значения, показаны на рисунке 6.

Степень точности измерений оценивалась согласно ГОСТ Р 8.736-2011 «Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения».

Расчет неопределенности по типу А определяется выражением:

$$S_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2}{n\left(n-1\right)}} \qquad (1)$$

где x_i – i-й результат измерений; $\bar{x}$ – среднеарифметическое значение результатов измерений; n – число измерений.

Среднеарифметическое значение определяется выражением:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} x_i \tag{2}$$

Систематическая неопределенность, которая представлена приборной составляющей, определяется выражением:

$$S_b = \frac{\Delta L_{инстр}}{\sqrt{3}}, \tag{3}$$

где $\Delta L_{инстр}$ – предельное отклонение частотной характеристики анализатора спектра виброускорения «Ассистент V3», определяемое отклонением ЧХ вибропреобразователя. $\Delta L_{инстр}$ составляет ±1 дБА в диапазоне от 0,5 Гц до 10000 Гц.

Расширенная неопределенность определяется выражением:

$$S_\varepsilon = \sqrt{S_a^2 + S_b^2}, \tag{4}$$

В результате проведенных расчетов расширенная неопределенность составила S_ε = 0,9 дБА, при S_a^2 = 0,4 дБА и S_b^2 = 0,8 дБА, что соответствует степени точности «точно».

Результаты и их обсуждение. Результаты проведенного исследования уровня вибрации при работе двигателя ЯМЗ-236 на чистом дизельном топливе и на ВТЭ с содержанием водного компонента от 5% до 50% представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты полученных значений уровня общей вибрации

Направление вибрации по осям	Значение уровня общей вибрации, дБА в зависимости от состава ВТЭ			
	чистое дизельное топливо	5% водной фазы и 95% топлива	30% водной фазы и 70% топлива	50% водной фазы и 50% топлива
Y	100,1	100	100,5	100,2
Z	123,7	123,5	124	123,7

Анализ представленных в таблице 1 результатов исследований позволяет сделать вывод, что увеличение содержания воды до 50% в составе дизельного топлива в виде эмульсии не оказывает существенного влияния на уровень вибрации дизельного двигателя ЯМЗ-236 [6].

Заключение.

Таким образом, можно сделать вывод, что с увеличением количества воды в составе ВТЭ до 50% основные показатели работы дизельного двигателя существенно не ухудшаются. Это связано с тем, что распыл и испарение ВТЭ, улучшается при одинаковых параметрах и приводит к улучшению смесеобразования и сгорания и соответственно «жесткость» работы ДВС ЯМЗ-236 не возрастает. Следует отметить, что «жесткость» работы двигателя на прямую определяется значениями уровня общей вибрации [7].

Согласно таблице 1, максимальное увеличение значений уровня вибрации на 0,4% зафиксировано при составе ВТЭ 30% водной фазы и 70% топлива, но это настолько несущественное увеличение, которым можно пренебречь. В связи с этим, разработанную авторами систему приготовления и подачи ВТЭ можно рекомендовать к использованию на дизельных двигателях АТТ, а такую ВТЭ (без эмульгирующей системы) целесообразно применять в качестве топлива для дизельных ДВС.

Список литературы

1. Пат. 2390649 РФ, МПК F02M 25/022, F02B 47/02, B01F 3/08, Система для приготовления и подачи водно-топливной эмульсии в двигатель внутреннего сгорания / А.Е. Ломовских, Ю.В. Воробьев, В.Б. Тетерюков; заявитель и патентообладатель: А.Е. Ломовских, Ю.В. Воробьев, В.Б. Тетерюков. № 2007139864/06; заявл. 30.10.2007; опубл. 27.05.2010. Бюл. №15. 16 с.

2. ГОСТ 31319–2006 Вибрация. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. М.: Стандартинформ, 2008. 23 с.

3. ГОСТ 14846–81. Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний. М.: Изд-во стандартов, 1981. 11 с.

4. ГОСТ Р 8.736-2011 Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения. М.: Стандартинформ, 2013. 24 с.

5. Колебания силового агрегата автомобиля / В.Е. Тольский [и др.]. М.: Машиностроение, 1976. 266 с.

6. Исследования эмульсионного топлива для дизельных двигателей внутреннего сгорания / А.Е. Ломовских [и др.] // Научно-практический журнал «Наука и военная безопасность». 2021. № 3 (26). С. 62–68.

7. Unique in composition and stability water-fuel emulsion / A.V. Dunaev [et al.] // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. 2020. Vol. 12 (4 Special Issue), pp. 432–439.

References

1. Pat. 2390649 RF, MPK F02M 25/022, F02B 47/02, B01F 3/08, Sistema dlya prigotovleniya i podachi vodno-toplivnoi emul'sii v dvigatel' vnutrennego sgoraniya / A.E. Lomovskikh, Yu.V. Vorob'ev, V.B. Teteryukov; zayavitel' i patentoobladatel': A.E. Lomovskikh, Yu.V. Vorob'ev, V.B. Teteryukov. No. 2007139864/06; zayavl. 30.10.2007; opubl. 27.05.2010. Byul. No. 15. 16 p.

2. GOST 31319–2006 Vibratsiya. Izmerenie obshchei vibratsii i otsenka ee vozdeistviya na cheloveka. M.: Standartinform, 2008. 23 p.

3. GOST 14846–81. Dvigateli avtomobil'nye. Metody stendovykh ispytanii. M.: Izd-vo standartov, 1981. 11 p.

4. GOST R 8.736-2011 Izmereniya pryamye mnogokratnye. Metody obrabotki rezul'tatov izmerenii. Osnovnye polozheniya. M.: Standartinform, 2013. 24 p.

5. Kolebaniya silovogo agregata avtomobilya / V.E. Tol'skii [i dr.]. M.: Mashinostroenie, 1976. 266 p.

6. Issledovaniya emul'sionnogo topliva dlya dizel'nykh dvigatelei vnutrennego sgoraniya / A.E. Lomovskikh [i dr.] // Nauchno-prakticheskii zhurnal «Nauka i voennaya bezopasnost'». 2021. No. 3 (26). P. 62–68.

7. Unique in composition and stability water-fuel emulsion / A.V. Dunaev [et al.] // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. 2020. Vol. 12 (4 Special Issue), pp. 432–439.

Сведения об авторах
Принадлежность к организации

Родионов Юрий Викторович – профессор, доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск, e-mail: rodionow.u.w@rambler.ru.

Данилин Сергей Иванович – профессор, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой «Технологии производства, хранения и переработки продукции растениеводства» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск, e-mail: danilin.7022009@mail.ru.

Ломовских Александр Егорович – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного казенного военного образовательного учреждение высшего образования

«Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж, e-mail: lomovskih1979@yandex.ru.

Колтаков Алексей Анатольевич – кандидат технических наук, старший преподаватель Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж.

Борисов Сергей Владимирович – начальник учебной лаборатории Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, г. Воронеж, e-mail: sergeevich2105219@yandex.ru.

Скоморохова Анастасия Игоревна – магистрант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет», Россия, г. Тамбов, e-mail: nasta373@mail.ru.

Authors credentials
Affiliations

Rodionov Yury – Full Doctor of Technical Sciences, Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, Professor of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Michurinsk State Agrarian University”, Russia, Michurinsk, e-mail: rodionow.u.w@rambler.ru.

Danilin Sergey – Professor, Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Department "Production Technologies, Storage and Processing of Crop Products" of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Michurinsk State Agrarian University”, Russia, Michurinsk, e-mail: danilin.7022009@mail.ru.

Lomovskih Alexander – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education “Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy” the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh, e-mail: lomovskih1979@yandex.ru.

Koltakov Aleksey – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education “Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy” the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh,

Borisov Sergey – head of the training laboratory of Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education “Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy” the Ministry of Defence of the Russian Federation, Russia, Voronezh.

Skomorokhova Anastasia – master's student of Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education “Tambov State Technical University”, Russia, Tambov, email: nasta373@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 11.05.2022 Принята к публикации (Accepted): 13.05.2022