

УДК 621.436:665.3

## УЛЬТРАЗВУК: ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА

**Уханова Юлия Владимировна**, аспирант кафедры «Тракторы, автомобили и теплоэнергетика», ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ.

440014 г. Пенза, ул. Ботаническая, 30.

E-mail: dispgau@mail.ru

**Перова Наталья Алексеевна**, аспирант кафедры «Тракторы, автомобили и теплоэнергетика», ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ.

440014 г. Пенза, ул. Ботаническая, 30.

E-mail: dispgau@mail.ru

**Уханов Александр Петрович**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Тракторы и автомобили», ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ.

440014 г. Пенза, ул. Ботаническая, 30.

E-mail: dispgau@mail.ru

**Ключевые слова:** ультразвук, обработка, смеситель, дизель, топливо, масло.

*Цель исследований – оценить эффективность применения ультразвука для обработки компонентов дизельного смесового топлива (ДСТ). Ультразвуковые колебания способны изменять агрегатное состояние вещества, диспергировать, эмульгировать его, изменять скорость диффузии, кристаллизации и растворения веществ, активизировать химические реакции, интенсифицировать технологические процессы. Использование ультразвуковых колебаний при обработке жидких сред придает им новые свойства, что обуславливает широкое применение ультразвука в различных производственных процессах. В настоящее время в качестве моторного топлива в дизелях автотракторной техники широко используется биотопливо. Одним из видов жидкого биотоплива является дизельное смесовое топливо (ДСТ), компонентами которого являются товарное нефтяное дизельное топливо и какое-либо растительное масло, производимое из масличных культур (рапс, рыжик, редька масличная, лен масличный, сурепица, горчица белая, соя, крамбе абиссинская и др.). Для смешивания нефтяного и растительного компонентов непосредственно «на борту» автотракторной техники обычно используют статические смесители, которые не обеспечивают в полной мере качественное смешивание компонентов и обработку ДСТ ультразвуком. Разработанный и изготовленный авторами ультразвуковой смеситель за счет высокочастотных колебаний пьезоизлучателя позволяет не только качественно смешивать биологический и нефтяной компоненты смесового топлива, но и обрабатывать их ультразвуком с частотой излучения 25 кГц с получением однородного мелкодисперсного состава, что приводит к меньшему снижению мощности двигателя и меньшему увеличению удельного эффективного расхода смесового топлива по сравнению с работой дизеля на необработанном ультразвуком смесовом топливе.*

## ULTRASOUND: ADVANTAGE FOR APPLICATION AND TECHNICAL MEANS

**Yu. V. Ukhanova**, Postgraduate Student of the Department «Tractors, Automobiles and Thermal Energetic», FSBEI HE Penza SAU.

440014, Penza, Botanicheskaya street, 30.

E-mail: dispgau@mail.ru

**N. A. Perova**, Postgraduate Student of the Department «Tractors, Automobiles and Thermal Energetic», FSBEI HE Penza SAU.

440014, Penza, Botanicheskaya street, 30.

E-mail: dispgau@mail.ru

**A. P. Ukhanov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department «Tractors, Automobiles and Thermal Energetic», FSBEI HE Penza SAU.

440014, Penza, Botanicheskaya street, 30.

E-mail: dispgau@mail.ru

**Key words:** ultrasound, treatment, mixer, diesel, fuel, oil.

The purpose of research is to evaluate the effectiveness of ultrasound for the treatment of components of diesel mixed fuel (DMF). Ultrasonic vibrations can change the aggregate state of a substance, disperse, emulsify it, change the rate of diffusion, crystallization and dissolution of substances, activate chemical reactions, intensify technological processes. The use of ultrasonic vibrations in the treatment of liquid media gives them new properties, which lead to the widespread use of ultrasound in various industrial processes. Currently, biological fuels are widely used as motor fuel in diesel engines of automotive engineering. One of the types of liquid biological fuels is diesel mixed fuel (DMF), the components of which are commercial oil diesel fuel and any vegetable oil produced from oilseeds (canola, ginger, oil radish, flax oil, wood, white mustard, soybean, Abyssinian crab, etc.). For the mixing of oil and vegetable components directly «on Board» of automotive equipment, static mixers are usually used, which do not fully provide high-quality mixing of components and processing of DMF by ultrasound. The ultrasonic mixer developed and manufactured by the authors due to high-frequency oscillations of the piezoelectric allows not only to mix biological and oil components of the mixed fuel qualitatively, but also to process them by ultrasound with a radiation frequency of

25 kHz to obtain a homogeneous fine composition, which leads to a smaller decrease in engine power and a smaller increase in the specific effective consumption of the mixed fuel compared to the operation of the diesel on the untreated ultrasound mixed fuel.

В последние годы ультразвук начинает играть все большую роль в различных производственных процессах. Проводятся теоретические и экспериментальные исследования в области ультразвуковой кавитации и акустических течений, позволившие разработать новые технологические процессы, протекающие при воздействии ультразвука в жидкой фазе. Причем научные исследования способствовали зарождению нового раздела акустики – молекулярной акустики, изучающей молекулярное взаимодействие звуковых волн с веществом. Возникли новые области применения ультразвука: интроскопия, голография, квантовая акустика, ультразвуковая фазометрия, акустоэлектроника и другие [1, 2].

Исследованиями также установлено, что ультразвуковые колебания способны изменять агрегатное состояние вещества, диспергировать, эмульгировать его, изменять скорость диффузии, кристаллизации и растворения веществ, активизировать химические реакции, интенсифицировать технологические процессы. Воздействие ультразвуковых колебаний на физико-химические процессы дает возможность не только повысить производительность труда, сократить энергозатраты, улучшить качество готовой продукции, продлить сроки хранения, но и создать новые продукты с новыми свойствами. При достаточной плотности ультразвук влияет на физико-химические свойства продукта, поэтому создание устройств, позволяющих применять ультразвук, актуально для многих отраслей промышленности.

**Цель исследований** – оценить эффективность применения ультразвука для обработки компонентов дизельного смесового топлива (ДСТ).

**Задачи исследований** – изучить механизм влияния ультразвуковых (высокочастотных) колебаний на изменение свойств ДСТ и на этой основе разработать ультразвуковой смеситель минерального и растительного компонентов ДСТ.

**Материалы и методы исследований.** Современные технологии наиболее часто основываются на реализации гетерогенных процессов, протекающих между двумя или несколькими неоднородными средами в системах «жидкость – жидкость» и «жидкость – твердое тело». К ним относятся процессы массообмена, процессы диспергирования, разделения жидкостей и суспензий, кристаллизации, предотвращения накипеобразования на поверхностях теплообменных аппаратов и трубопроводов, полимеризации и деполимеризации, а также различные химические и электрохимические реакции. Скорость протекания большинства гетерогенных процессов в обычных условиях очень мала и определяется величиной поверхности соприкосновения реагирующих компонентов (рис. 1).

Ультразвуковые колебания обеспечивают сверхтонкое диспергирование (не реализуемое другими способами), увеличивая межфазную поверхность реагирующих элементов, приводя к интенсификации процессов в жидких средах. Возникающая под действием колебаний в жидкости кавитация и сопровождающие ее мощнейшие микропотоки, звуковое давление и звуковой ветер

воздействуют на пограничный слой и «смывают» его. Таким образом устраняется сопротивление переносу реагирующих веществ и интенсифицируется технологический процесс.

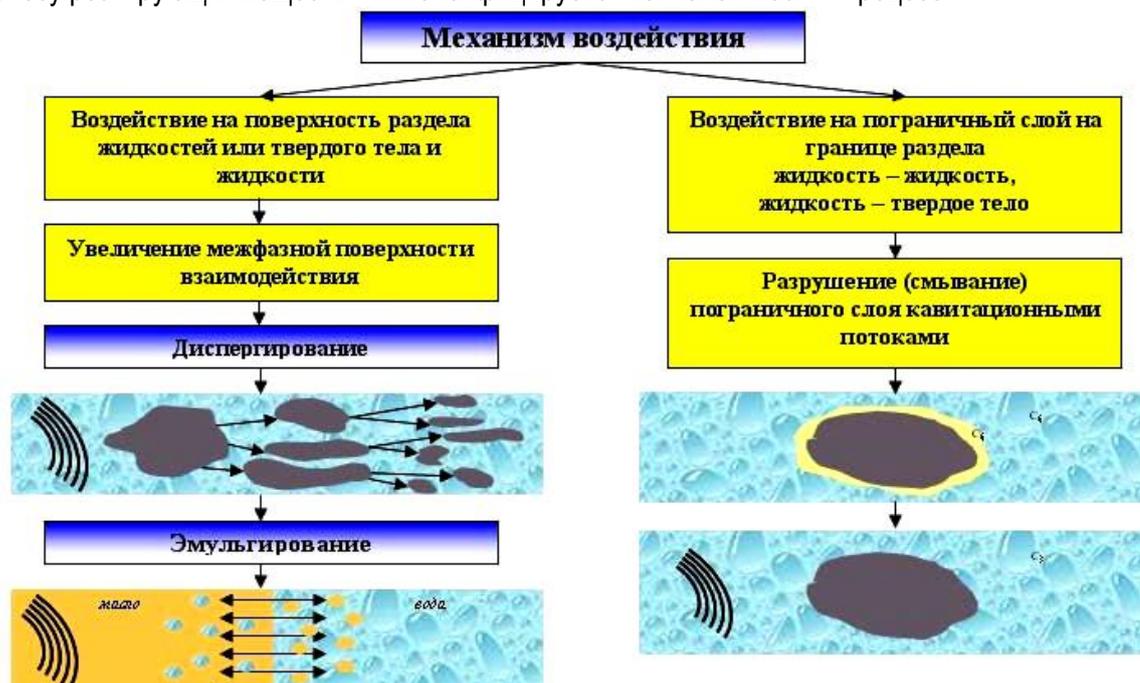


Рис. 1. Механизмы ускорения процессов в гетерогенных средах [1, 2]

Наиболее интересными из гетерогенных процессов являются процессы ультразвукового (УЗ) эмульгирования (диспергирование жидкостей в жидкостях) и диспергирования (получение тонкодисперсных суспензий). Эти процессы связаны с увеличением поверхности взаимодействия и поэтому лежат в основе интенсификации множества других процессов.

Высокая эффективность ультразвуковых технологий в жидких средах обусловлена следующими причинами:

- условия ввода УЗ колебаний из колебательных систем с помощью специальных рабочих инструментов в жидкости наиболее благоприятные, по сравнению с введением УЗ колебаний, например, в газовые среды. Обусловлено это тем, что удельное волновое сопротивление жидких сред значительно (для воды в 3500 раз) больше, чем у газов и поэтому большая мощность излучается из колебательной системы в жидкость при одинаковой амплитуде колебаний инструмента колебательной системы;

- в жидких средах возникает и протекает специфический физический процесс – ультразвуковая кавитация, обеспечивающий максимальные энергетические воздействия, как на сами жидкости, так и на твердые тела в жидкостях. Аналогичного по эффективности воздействия физического процесса нет в твердых телах и газовых средах;

- ультразвуковая кавитация порождает большое количество эффектов второго порядка, которые, в свою очередь, также обеспечивают интенсификацию протекающих технологических процессов.

Эти обстоятельства привели к тому, что ультразвуковое воздействие получило наиболее широкое распространение при реализации технологических процессов, связанных с жидким состоянием реагентов.

Воздействие УЗ с частотой 20-100 кГц характеризуется разделением молекул и ионов с различной массой, искажением формы волны, появлением переменного электрического поля, капиллярно-акустическим и тепловым эффектами, активацией диффузии.

**Результаты исследований.** В настоящее время в качестве моторного топлива в дизелях автотракторной техники широко используется биотопливо. Одним из видов жидкого биотоплива является дизельное смесевое топливо, компонентами которого являются товарное нефтяное

(минеральное) дизельное топливо и какое-либо растительное масло, производимое из масличных культур (рапс, рыжик, редька масличная, лен масличный, сурепица, горчица белая, соя, крамбе абиссинская и др.).

При обработке ДСТ ультразвуком обычно используют диапазон частот 16-32 кГц. После ультразвуковой обработки, например, вязкость уменьшается. Причем характер изменения вязкости не позволяет считать, что уменьшение вязкости вызывается только тепловым воздействием ультразвука, поскольку наряду с тепловым воздействием наблюдаются и другие эффекты, например, изменение трения между твердыми нерастворимыми примесями, находящимися в растворе [1]. Под действием ультразвука происходит также более легкое перемещение атомов из одного устойчивого состояния в другое благодаря образованию кавитационных пузырьков.

Для адаптации дизелей серийно выпускаемой и находящейся в эксплуатации автотракторной техники к работе на ДСТ необходимо разработать смесители, которые обеспечивали бы не только очистку и качественное смешивание нефтяного и биологического компонентов, но и обработку ДСТ высокочастотными колебаниями с получением смесового топлива однородного мелкодисперсного состава [3-7].

Авторами разработан, изготовлен и запатентован ультразвуковой смеситель компонентов минерально-соевого топлива [8], который содержит ультразвуковой излучатель 1 (рис. 2), размещенный в полости корпуса 2 смесителя, имеющего выходной канал 3 и два выходных канала 4 и 5, к которым подводится минеральный и растительный компоненты смесового топлива для их смешивания и обработки высокочастотными колебаниями, формирующимися электронным блоком управления 6, электрически соединенным с излучателем, при этом ультразвуковой излучатель выполнен в виде дисковых пьезоэлементов 7, установленных в полости корпуса 2 с возможностью продольного перемещения в направляющих 8 верхней части крепежного приспособления 9, накрунутого своим основанием 10 на резьбовой конец полого штуцера 11, ввернутого в осевое отверстие днища 12 корпуса 2 и выполняющего функции выходного канала 3.

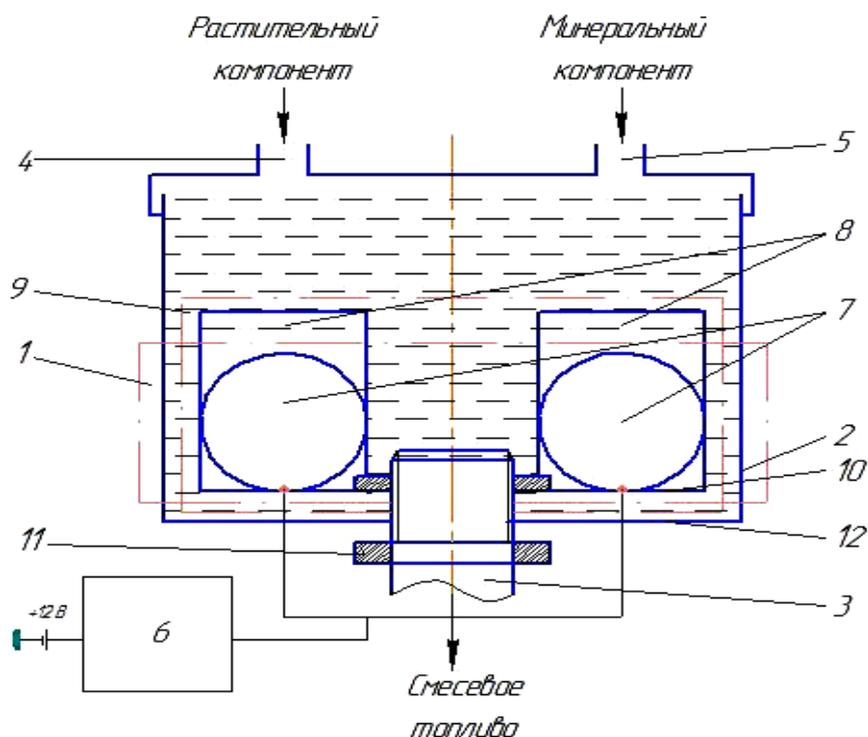


Рис. 2. Ультразвуковой смеситель компонентов минерально-соевого топлива (наименование позиций в тексте)

Работает ультразвуковой смеситель следующим образом. Постоянный ток напряжением 12 В (например, напряжением бортовой электросети автотранспортного средства) подается в цепь

электронного блока управления 6, который формирует и подает высокочастотные сигналы на ультразвуковой излучатель 1, выполненный в виде дисковых пьезоэлементов 7, установленных в направляющих 8 верхней части крепежного приспособления 9, размещенного в полости цилиндрического корпуса 2 смесителя вдоль потока минерального и растительного компонентов дизельного смесового топлива. Ширина направляющих 8 крепежного приспособления 9 равна диаметру дисковых пьезоэлементов 7 ультразвукового излучателя 1. Основание 10 крепежного приспособления 9 имеет центральное резьбовое отверстие, с помощью которого приспособление 9 наворачивается на резьбовой конец полого штуцера 11, ввернутого в осевое отверстие днища 12 корпуса 2 смесителя и выполняющего функции выходного канала 3. Минеральный и растительный компоненты, поступаая через входные каналы 4 и 5 в полость корпуса 2 смесителя и двигаясь в направлении выходного канала 3, подвергаются ультразвуковым высокочастотным колебаниям, что приводит к качественному смешиванию компонентов и получению однородного мелкодисперсного смесового топлива. При этом происходит разрыв межмолекулярных связей атомов углеводородов и переход молекул водорода в более возбужденное спин-состояние, увеличивающее их реактивность. За счет появления эффекта кавитации наблюдается отрыв радикалов углеводородных групп от одного вида высших жирных кислот, содержащихся в растительном масле, и присоединение их к другому виду жирных кислот, что улучшает физико-химические свойства (плотность, вязкость, поверхностное натяжение и др.) и повышает энергетический эквивалент ДСТ.

Дисковые пьезоэлементы 7 излучателя 1 имеют возможность перемещаться по направляющим 8 крепежного приспособления 9 в продольном направлении, что наряду со съемной крышкой корпуса 2 смесителя обеспечивает доступ к пьезоэлементам 7 при их обслуживании.

На рисунке 3 показаны дисковые пьезоэлементы 1 излучателя высокочастотных колебаний и корпус 2 ультразвукового смесителя с размещенным в его полости приспособлением 3 для крепления пьезоэлементов 1.

Анализ проб обработанного ультразвуком ДСТ показал, что после трех суток отстаивания расслоения его на исходные компоненты не произошло, что свидетельствует о хорошем смешивании минерального дизельного топлива и растительного масла, а также об эффективности ультразвуковой обработки.

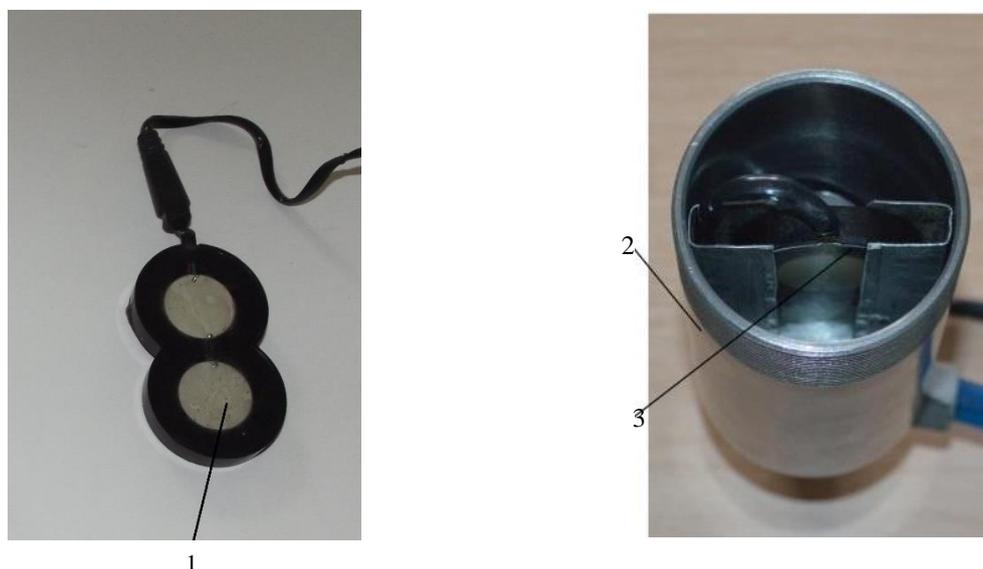


Рис. 3. Общий вид ультразвукового смесителя компонентов минерально-соевого топлива (наименование позиций в тексте)

**Заключение.** Разработанный и изготовленный ультразвуковой смеситель за счет высокочастотных колебаний пьезоизлучателя частотой 25 кГц позволяет обрабатывать ультразвуком и качественно смешивать биологический и нефтяной компоненты дизельного смесового топлива, что приводит к меньшему снижению мощности двигателя и меньшему увеличению удельного

эффективного расхода топлива по сравнению с работой дизеля на необработанном ультразвуком смесевом топливе.

#### Библиографический список

1. Уханов, А. П. Воздействие ультразвуковой обработки смесевое топлива на показатели тракторного дизеля / А. П. Уханов, Ю. В. Уханова, Е. А. Сидоров [и др.] // Наука в центральной России. – 2017. – №3 (27). – С. 48-56.
2. Василевский, А. В. Математическая модель ультразвуковой подготовки дизельного топлива к пуску двигателя в условиях низких температур / А. В. Василевский, В. М. Подчинок // Тракторы и сельхозмашины. – 2012. – №5. – С. 44-46.
3. Пат. 2503491 РФ, МПК В 01 F 5/06. Смеситель минерального топлива и растительного масла с активным приводом / Уханов А. П., Уханов Д. А., Сидоров Е. А., Хохлова Е. А. – №2012128420/05 ; заявл. 05.07.12 ; опубл. 10.01.14, Бюл. № 1.
4. Пат. 2486949 РФ, МПК В 01 F 5/06. Смеситель-фильтр минерального топлива и растительного масла / Уханов А. П., Уханов Д. А., Крюков В. В. [и др.]. – № 2012113657/05 ; заявл. 06.04.12 ; опубл. 10.07.13, Бюл. № 19.
5. Пат. 2377060 РФ, МПК В 01 F 5/06. Смеситель минеральных и растительных композиций моторного топлива / Уханов А. П., Уханов Д. А., Иванов В. А., Рачкин В. А. – №2007149172/15 ; заявл. 28.12.07 ; опубл. 27.12.09, Бюл. №36.
6. Уханов, А. П. Устройства для конструктивной адаптации дизелей автотракторной техники к работе на биоминеральном топливе / А. П. Уханов, Д. А. Уханов, Е. А. Хохлова, А. А. Хохлов // Известия Самарской ГСХА. – 2016. – Вып.2. – С. 34-40.
7. Пат. 2426588 РФ, МПК В 01 F 5/06. Смеситель-дозатор топлива / Уханов А. П., Голубев В. А., Зыкин Е. С. – №2009141463/05 ; заявл. 09.11.09 ; опубл. 20.08.11, Бюл. №23.
8. Пат. 2629342 РФ, МПК F02M 43/00, F02M 27/08, B01F 11/02, B01F 3/08. Ультразвуковой смеситель компонентов дизельного смесевое топлива / Уханова Ю. В., Уханов А. П., Уханов Д. А. – № 2016140025 ; заявл. 11.10.16 ; опубл. 28.08.17, Бюл. № 25.
9. Быченин, А. П. Смесевое минерально-растительное топливо для дизелей / А. П. Быченин // Молодые ученые в решении региональных проблем АПК : сб. научных трудов. – Самара : Самарская ГСХА, 2005. – С. 115-117.
10. Обоснование рационального состава смесевое минерально-растительного топлива для тракторных дизельных двигателей / Г. А. Ленивцев, Г. И. Болдашев, О. С. Володько, А. П. Быченин // Известия Самарской ГСХА. – 2008. – Вып. 3. – С. 76-81.

#### References

1. Ukhanov, A. P., Ukhanova, Yu. V., Sidorov, E. A., Yakunin, A. I., & Sidorova, L. I. (2017). *Vozdeistvie ulitrazvukovoi obrabotki smesevogo topliva na pokazateli traktornogo dizelia* [Impact of ultrasonic treatment of mixed fuel on the performance of tractor diesel]. *Nauka v centralnoi Rossii – Science in Central Russia*, 3 (27), 48-56 [in Russian].
2. Vasilevsky, A. V., & Podchinok, V. M. (2012). *Matematicheskaiia model ulitrazvukovoi podgotovki dizelinogo topliva k puskui dvigatelia v usloviiah nizkikh temperatur* [Mathematical model of ultrasonic preparation of diesel fuel for starting the engine at low temperatures]. *Traktory i selikhozmashiny – Tractors and agricultural machinery*, 5, 44-46 [in Russian].
3. Ukhanov A. P., Ukhanov D. A., Sidorov E. A., & Khokhlova E. A. (2014). *Smesitel mineralinogo topliva i rastitelinogo masla s aktivnym privodom* [Mixer mineral fuels and oils with active drive]. *Patent 2503491 Russian Federation, IPC 01 F 5/06, №2012128420/05* [in Russian].
4. Ukhanov, A. P., Ukhanov, D. A., Kryukov, V. V., & Sidorov, E. A. (2013). *Smesitel-filitr mineralinogo topliva i rastitelinogo masla* [The mixer-filter of mineral fuel and vegetable oil]. *Patent 2486949 Russian Federation, IPC 01 F 5/06, №2012113657/05* [in Russian].
5. Ukhanov, A. P., Ukhanov D. A., Ivanov V. A., & Rachkin V. A. (2009). *Smesitel mineralinykh i rastitelinykh kompozitsii motornogo topliva* [Mixer of mineral and vegetable compositions of motor fuel]. *Patent 2377060 Russian Federation, IPC B 01 F 5/06, №2007149172/15* [in Russian].
6. Ukhanov, A. P., Ukhanov, D. A., Khokhlova, E. A., & Khokhlov, A. A. (2016). *Ustroistva dlia konstruktivnoi adaptatsii dizelai avtotraktornoi tekhniki k rabote na biomineralinom toplive* [Devices for constructive adaptation of diesel engines of automotive engineering to work on biomineral fuel]. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii – Bulletin Samara state agricultural academy*, 2, 34-40 [in Russian].
7. Ukhanov, A. P., Golubev, V. A., & Zykin, E. S. (2011). *Smesitel-dozator topliva* [Fuel metering mixer]. *Patent 2426588 Russian Federation, IPC 01 F 5/06, №2009141463/05* [in Russian].

8. Ukhanova Yu. V., Ukhanov A. P., & Ukhanov D. A. (2017). Ulitrazvukovoi smesitel komponentov dizelinogo smesevogo topliva [Ultrasonic mixer of diesel fuel components]. *Patent 2629342 Russian Federation, IPC F02M 43/00, F02M 27/08, B01F 11/02, 3/08 B01F, №2016140025* [in Russian].
9. Bychenin, A. P. (2005). Smesevoe mineralino-rastitelinoie toplivo dlia dizelei [Mixed mineral and vegetable fuel for diesel engines]. *Young scientists in the solution of regional problems of agroindustrial complex '05: sbornik nauchnykh trudov – collection of proceedings* (pp. 115-117). Samara [in Russian].
10. Lenivtsev G. A., Boldachev G. I., Volod'ko O. S., & Bychenin A. P. (2008). Obosnovaniie racionalinogo sostava smesevogo mineralino-rastitelinogo topliva dlia traktornykh dizelinykh dvigatelei [Rationale for the rational composition of mixed mineral and vegetable fuel for tractor diesel engines]. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi sel'skokhoziaistvennoi akademii – Bulletin Samara State Agricultural Academy*, 3, 76-81 [in Russian].