

3. **Grigoriev Aleksey Olegovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Service, Chuvash State Agrarian University, 428003, Chuvash Republic, Cheboksary, st. K. Marx, 29; e-mail: grinjaa111@rambler.ru, tel. 89196738827.

УДК 621.436

DOI: 10.48612/vch/mvkr-mn2h-dt6a

## ПОИСК ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА КАЛИБРОВОЧНОЙ ЖИДКОСТИ НА ОСНОВЕ РАПСОВОГО МАСЛА ДЛЯ ОБКАТКИ И ИСПЫТАНИЯ ДИЗЕЛЬНОЙ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ

**А. М. Новиков, А. Г. Смирнов, В. Н. Гаврилов, В. А. Иванов**

*Чувашский государственный аграрный университет  
428003, Чебоксары, Российская Федерация*

**Аннотация.** *Заключительной стадией технологического процесса ремонта дизельной топливной аппаратуры (ДТА) является ее обкатка и испытание на специальных стендах с целью притирки поверхностей трения в сопряжениях деталей и обеспечения заданных регулировочных параметров, отвечающих техническим требованиям. При этом технические требования на капитальный ремонт приборов системы питания дизелей предписывают использовать для этих целей специальные технические (калибровочные жидкости), обладающие свойствами, сопоставимыми с дизельным топливом. Проблемой является то, что отечественная промышленность не выпускает специальных калибровочных жидкостей, а для этих целей, как правило, используется дизельное топливо или смеси на его основе и минеральных масел, которые не удовлетворяют требованиям пожарной безопасности, стабильности физико-химических свойств и экологическим показателям. Наиболее перспективными калибровочными жидкостями, удовлетворяющими перечисленным требованиям являются смеси, полученные на основе технических растительных масел, в частности рапсовом. В связи с этим в работе был проведен сравнительный анализ физико-химических свойств дизельного топлива и рапсового масла, проведены исследования по определению оптимальных составов компонентов смесей калибровочных жидкостей на основе рапсового масла и различных органических растворителей и изменению их концентрации в зависимости от длительности хранения. Получены теоретические зависимости изменения кинематической вязкости калибровочных жидкостей на основе рапсового масла от длительности их хранения ввиду испарения растворителей, позволяющие выбрать смесь, наиболее отвечающую заданным технологическим требованиям.*

**Ключевые слова:** *обкатка и испытание, дизельная топливная аппаратура, калибровочная жидкость, рапсовое масло.*

**Введение.** В современных условиях эксплуатации автотракторной техники ремонт дизельной топливной аппаратуры является объективной необходимостью, обусловленной возможностью полной выработки ресурса узлов и деталей и экономией материалов, идущих на их изготовление. При этом технологический процесс ремонта ДТА предусматривает ее обкатку и испытание на специализированных стендах с использованием специальных технических (калибровочных) жидкостей с соблюдением заданных технических требований и технологических параметров, от качества выполнения которых зависит стабильность регулировочных характеристик и, как следствие, ресурс ее узлов и деталей и топливная экономичность дизеля [2], [4], [6], [8].

На практике при обкатке и испытании ДТА в качестве калибровочной жидкости используются составы на основе дизельного топлива и минеральных масел, применение которых недопустимо из-за их низкой температурной стабильности, взрыво- и пожароопасности, низких экологических показателей и негативного влияния на здоровье персонала ввиду интенсивного испарения канцерогенных веществ в рабочей зоне производственного участка [6], [8], [9], [10].

Исследования в этой области показывают, что наиболее удовлетворяют заданным требованиям калибровочные жидкости, полученные на основе рапсового масла. При этом использование рапсового масла в чистом виде для этих целей не представляется возможным из-за различия его физико-химических свойств с дизельным топливом, в основном ввиду большей вязкости и плотности, что требует применения растворителей для получения смеси с требуемыми характеристиками [1], [3], [7].

Для получения смесей на основе рапсового масла со свойствами, сопоставимыми с дизельным топливом, требуется применение растворителей, хорошо смешивающихся с основным компонентом во всех отношениях. Растительные масла неограниченно растворяются с образованием стабильных и устойчивых однородных смесей в алифатических углеводородах (бензин, уайт-спирит, гексан и др.) и их хлорпроизводных (дихлорэтан, трихлорэтилен и др.), а также простых эфирах гидратах альдегидов – ацеталях (диметоксиметан, 1,1-диметоксиэтан, диэтилформаль и др.). Так как кинематическая вязкость при нормальных условиях (20°C) указанных растворителей изменяется в широком диапазоне значений, в среднем 0,45...1,36 мм<sup>2</sup>/с (сСт), то для получения смесей на основе рапсового масла и растворителя, близких по характеристикам к дизельному

топливу, требуется для каждого их варианта определенное соотношение концентрации компонентов. Кроме того, при длительном открытом хранении полученных технических жидкостей возможно изменение концентрации компонентов смесей и их вязкости, в основном, из-за испарения растворителя [3], [7].

В связи с этим научные исследования, направленные на поиск оптимального состава калибровочной жидкости на основе рапсового масла для обкатки и испытания ДТА, отвечающей заданным технологическим требованиям, являются актуальными и представляют практический интерес.

Целью работы является поиск оптимального состава калибровочной жидкости на основе рапсового масла и концентрации компонентов смеси, обеспечивающей оптимальные технологические параметры обкатки и испытания ДТА, и отвечающей заданным требованиям. Задача исследований – сравнительный анализ физико-химических свойств дизельного топлива и рапсового масла, изучение закономерностей изменения концентрации компонентов состава калибровочных жидкостей и их вязкости при хранении.

#### Материалы и методы исследования.

Основными регламентированными технологическими параметрами калибровочных жидкостей, применяемых при обкатке и испытании ДТА, являются: вязкость и плотность при температуре испытания, температурная и термоокислительная стабильность, коррозионная активность, экологические показатели, пожароопасность и др. [6], [7], [8], [9].

Таблица 1 – Сравнительный анализ физико-химических свойств дизельного топлива и рапсового масла

Вид технической жидкости	Параметр						
	Вязкость кинематическая при 20 °С, мм <sup>2</sup> /с (сСт)	Плотность при 15°С, кг/м <sup>3</sup>	Динамическая вязкость при 20 °С, Па·с	Цетановое число	Температура вспышки, не ниже, °С	Содержание серы, %	Коксуемость 10%-ного остатка, % не более
Дизельное топливо	3-6	800-845	$3,15 \cdot 10^{-3}$	46-49	55	0,5	0,3
Рапсовое масло	62,6-71,7	917	$68,7 \cdot 10^{-3}$	36-55	100	0,005	0,4

Сравнительный анализ основных физико-химических свойств рапсового масла и дизельного топлива (табл. 1) показывает значительное отличие их параметров, в основном, по вязкости и плотности [3], [5], [7]. Поэтому большие значения вязкости и плотности рапсового масла, в сравнении с дизельным топливом, требуют применения растворителей для приведения этих параметров к характеристикам дизельного топлива. При этом, в случае использования разных растворителей для получения технических жидкостей на основе рапсового масла с заданными характеристиками необходим подбор определенного соотношения составных компонентов каждой смеси в отдельности.

Для поиска оптимального состава калибровочных жидкостей были выбраны три растворителя: уайт-спирит (нефрас-С4-155/200), дихлорэтан и керосин ТС-1. С целью получения смесей, близких по кинематической вязкости к дизельному топливу  $\nu = 3..6$  мм<sup>2</sup>/с (сСт), для выбранных растворителей производился анализ соотношений компонентов смеси, при фиксированном ее объеме и массе (30 г), и подбирались нужная их концентрация % по объему. При этом поиск оптимального соотношения компонентов смеси производился путем подбора их концентрации, с контролем конечной вязкости полученной смеси по вискозиметру.

При открытом хранении рапсового масла его испарение незначительное и поэтому его концентрацию в смеси можно считать постоянной. В связи с этим измерения изменений концентрации компонентов смеси в заданном временном интервале производились весовым методом по изменению ее массы вследствие испарения растворителя. Для этих целей использовались портативные электронные весы МН-500 с точностью измерения 0,01 г. Замеры производились в течение 10 дней с интервалом в 1 день. По полученным результатам изменения массы смеси производился пересчет массы растворителя и его концентрации (%) в смеси, при условии фиксированного количества и концентрации в ней рапсового масла. При этом заключительной стадией исследования являлась оценка изменения конечной кинематической вязкости анализируемых смесей в течение указанного периода.

#### Результаты исследований и их обсуждение.

Для выбранных растворителей, при известных значениях кинематической вязкости компонентов смеси, путем подбора их концентрации и контроля кинематической вязкости полученных смесей, определили требуемые значения концентрации растворителей и рапсового масла в смесях с обеспечением конечной кинематической вязкости в среднем  $\nu = 4$  мм<sup>2</sup>/с (сСт) [7]. Результаты данного исследования представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты анализа концентрации компонентов смесей калибровочных жидкостей на основе рапсового масла (РМ), % по объему

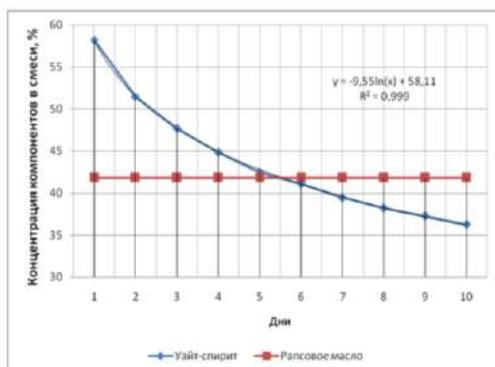
Компонент смеси	Концентрация компонентов в смеси калибровочной жидкости, %		
	РМ+Уайт-спирит	РМ+Дихлорэтан	РМ+Керосин ТС-1
Рапсовое масло	41,8	58,84	42,86
Растворитель	58,2	41,16	57,14

Как видно из таблицы 2, наименьшее количество растворителя (41,16% по объему) требуется для смеси рапсового масла с дихлорэтаном, а наибольшее (58,2% по объему) – для смеси рапсового масла с уайт-спиритом.

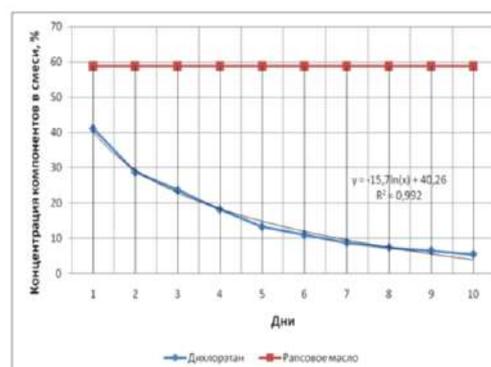
Так как в процессе открытого хранения таких смесей происходит неизбежное испарение растворителей и, как следствие, повышение их концентрации в рабочей зоне, то с точки зрения обеспечения безопасности персонала рабочей зоны меньшее количество растворителя в смеси более предпочтительно. По данному критерию наилучшие показатели проявились у смеси рапсового масла с дихлорэтаном.

Изменение концентрации растворителя в смеси, вследствие его испарения, приводит к увеличению ее вязкости. Для изучения закономерностей изменения концентрации компонентов анализируемых смесей от длительности их хранения были получены экспериментальные данные, на основании которых построены соответствующие графические зависимости для каждой смеси в отдельности (рис. 1). Полученные на их основе теоретические зависимости позволяют прогнозировать изменение концентрации компонентов смесей от длительности хранения и, соответственно, интенсивность испарения растворителей.

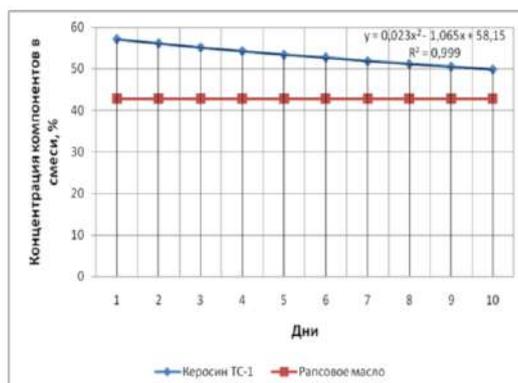
Как видно из представленных графиков, концентрация основного компонента (рапсового масла) в полученных смесях в анализируемом периоде остается неизменной. При этом изменение концентрации растворителей в смесях происходит с разной интенсивностью. Наибольшую интенсивность изменения концентрации (ее уменьшение) растворителя вследствие его испарения показывает смесь рапсового масла с дихлорэтаном, что указывает на ее худшие показатели по данному критерию, так как в этом случае большее количество данного растворителя в конечном итоге окажется в воздухе рабочей зоны. Наименьшее испарение растворителя происходит в смеси рапсового масла с керосином, поэтому данный вариант смеси можно считать наиболее стабильным и предпочтительным по данному показателю.



а)



б)



в)

Рис. 1. Графические зависимости изменения концентрации (%) компонентов смеси на основе рапсового масла (РМ) и растворителей от длительности хранения (дней): а) РМ+уайт-спирит; б) РМ+дихлорэтан; в) РМ+керосин ТС-1

С целью оценки степени изменения кинематической вязкости анализируемых смесей от длительности их хранения были получены экспериментальные данные, на основании которых построены соответствующие графические зависимости (рис. 2).

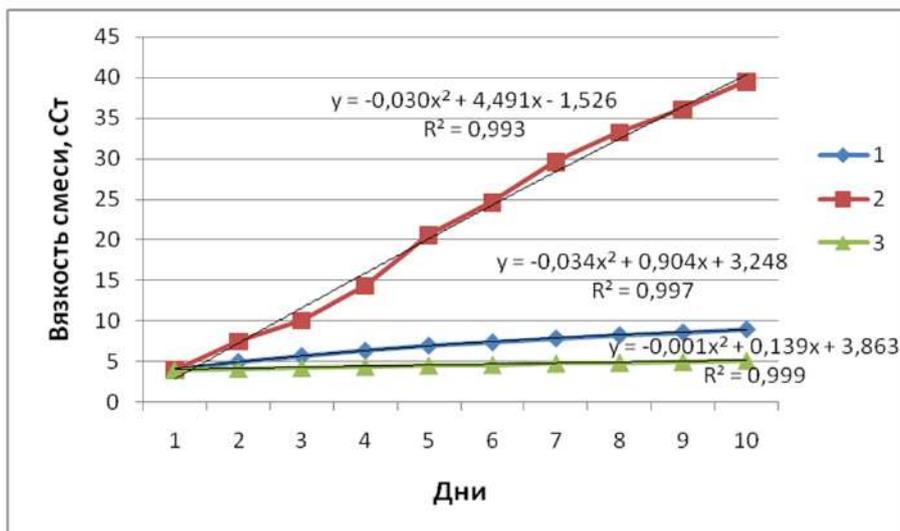


Рис. 2. Графические зависимости изменения вязкости ( $\text{мм}^2/\text{с}$  (сСт)) калибровочных жидкостей на основе рапсового масла (РМ) и растворителей от длительности хранения (дней): 1 – РМ+уайт-спирит; 2 – РМ+дихлорэтан; 3 – РМ+ керосин ТС-1

По результатам анализа данных графических зависимостей были подобраны аппроксимирующие функции (табл. 3), теоретически описывающие изменения кинематической вязкости смесей от длительности их хранения.

Таблица 3 – Теоретические зависимости вязкости калибровочных жидкостей ( $\nu$ ) на основе рапсового масла и растворителей от длительности ( $t$ ) их хранения

Смесь калибровочной жидкости	Уравнение
Рапсовое масло+уайт-спирит	$\nu = -0,034 \cdot t^2 + 0,904 \cdot t + 3,248$
Рапсовое масло+дихлорэтан	$\nu = -0,030 \cdot x^2 + 4,491 \cdot x - 1,526$
Рапсовое масло+керосин ТС-1	$\nu = -0,001 \cdot x^2 + 0,139 \cdot x + 3,863$

**Выводы.** Проведенные исследования показывают, что по интенсивности испарения растворителя и, как следствие, изменению его концентрации в смеси, наиболее удовлетворяет технологическим требованиям и экологическим показателям калибровочная жидкость на основе рапсового масла и керосина. При этом с целью обеспечения параметров данной калибровочной жидкости по основным физико-химическим свойствам, близкой к дизельному топливу, оптимальная концентрация компонентов данной смеси должна соответствовать содержанию в ней по объему рапсового масла 42,86% и керосина 57,14%.

По интенсивности изменения вязкости калибровочной жидкости от длительности хранения, ввиду наибольшей стабильности смеси, также наилучшие результаты получены для калибровочной жидкости на основе рапсового масла и керосина.

Полученные теоретические зависимости кинематической вязкости калибровочной жидкости от длительности ее хранения позволяют прогнозировать степень ее изменения и на основании этого оценивать стабильность технологических параметров смеси.

#### Литература

- Аксенов, И. В. Исследование коррозионного воздействия технических растительных масел на металлы / И. В. Аксенов, С. М. Скомарохов // Студенческая наука - первый шаг в академическую науку : материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции с участием школьников 10-11 классов. В 2-х частях, Чебоксары, 05–06 марта 2020 года. – Чебоксары : Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 2020. – С. 152-154.
- Бобрышев, Г. П. Модернизация стендов для испытания и регулировки топливных насосов / Г. П. Бобрышев, А. А. Моносзон, Ю. Г. Радченко // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 2005. – № 12. – С. 36-39.

3. Воронов, А. В. Анализ свойств и подбор калибровочных жидкостей для обкатки и испытания дизельной топливной аппаратуры / А. В. Воронов, А. М. Новиков // Студенческая наука - первый шаг в академическую науку : материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции с участием школьников 10-11 классов, Чебоксары, 05–06 марта 2019 года. – Чебоксары: Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 2019. – С. 177-180.
4. Голубков, Л. Н. Топливные насосы высокого давления распределительного типа / Л. Н. Голубков, А. А. Савастенко, М. В. Эмиль. – Москва : Легион-Авто дата, 2000. – 176 с.
5. Жосан, А. А. Сравнение физико-химических свойств дизельного топлива и рапсового масла / А. А. Жосан, Ю. Н. Рыжов, А. А. Курочкин // Вестник Орловского государственного аграрного университета. – 2011. – № 4(31). – С. 72-73.
6. Загородских, Б. П. Ремонт и регулирование топливной аппаратуры автотракторных и комбайновых дизелей / Б. П. Загородских, В. П. Лялякин, П. А. Плотников. – Москва : ФГНУ «Росинформагротех», 2006. – 210 с.
7. Новиков, А. М. Сравнительный анализ свойств и оценка возможности применения технических растительных масел для обкатки и испытания дизельной топливной аппаратуры / А. М. Новиков, А. В. Семенов, В. А. Иванов // Перспективы развития технического сервиса в агропромышленном комплексе : сборник материалов Национальной (Всероссийской) научно-практической конференции, посвященной 55-летию создания кафедры технического сервиса (ремонта машин и технологии конструкционных материалов), Чебоксары, 05 декабря 2019 года. – Чебоксары : Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 2019. – С. 139-145.
8. Топливная аппаратура автотракторных и комбайновых дизелей. Технические требования на капитальный ремонт. ТК 10.16.0001.003-87. – Москва : ГОСНИТИ, 1989. – 286 с.
9. Файнлейб, Б. Н. Топливная аппаратура автотракторных дизелей: справочник / Б. Н. Файнлейб. – Ленинград : Машиностроение, 1990. – 351 с.
10. Diesel in-line fuel-injection pumps: Bosch technical instruction. Germany: Robert Bosch GmbH, 2009. – 144 p.

#### Сведения об авторах

1. **Новиков Алексей Михайлович**, кандидат технических наук, доцент кафедры технического сервиса, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29, e-mail: novam1@mail.ru, тел. 8-952-025-90-34;
2. **Смирнов Анатолий Германович**, кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических машин и комплексов, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29, e-mail: stts@ltnta.ru, тел. 8-927-847-79-49;
3. **Гаврилов Владислав Николаевич**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры технического сервиса, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29, e-mail: gavrillov-vlad21@yandex.ru, тел. 8-937-374-21-56;
4. **Иванов Владимир Андреевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры технического сервиса Чувашский государственный аграрный университет, 428003, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29, e-mail: vladimir21va@mail.ru, тел. 8-967-796-91-28.

#### SEARCH FOR THE OPTIMUM COMPOSITION OF THE CALIBRATION LIQUID BASED ON RAPSE OIL FOR RUN-IN AND TESTING OF DIESEL FUEL EQUIPMENT

A. M. Novikov, A. G. Smirnov, V. N. Gavrillov, V. A. Ivanov  
 Chuvash State Agrarian University  
 428003, Cheboksary, Russian Federation

**Brief abstract.** The final stage of the process of repair of diesel fuel equipment (DTA) is its run-in and testing on special stands in order to lapping friction surfaces in the joints of parts and ensuring the specified adjustment parameters that meet the technical requirements. At the same time, the technical requirements for overhaul of devices of the diesel power supply system prescribe the use of special technical (calibration liquids) for this purpose, which have properties comparable to diesel fuel. The problem is that the domestic industry does not produce special calibration liquids, and for these purposes, as a rule, diesel fuel or mixtures based on it and mineral oils are used, which do not meet the requirements of fire safety, stability of physicochemical properties and environmental indicators. The most promising calibration fluids that meet the above requirements are mixtures based on industrial vegetable oils, in particular rapeseed. In this regard, the work carried out a comparative analysis of the physicochemical properties of diesel fuel and rapeseed oil, conducted studies to determine the optimal composition of components of mixtures of calibration liquids based on rapeseed oil and various organic solvents and change their concentration depending on the storage duration. Theoretical dependencies of changes in kinematic viscosity of calibration liquids based on

*rapeseed oil on their storage duration due to evaporation of solvents are obtained, allowing to select the mixture that most meets the specified technological requirements.*

**Key words:** *run-in and testing, diesel fuel equipment, calibration fluid, rapeseed oil.*

#### References

1. Aksenov, I. V. Issledovanie korrozionnogo vozdejstviya tekhnicheskikh rastitel'nyh masel na metally / I. V. Aksenov, S. M. Skomarohov // Studencheskaya nauka - pervyj shag v akademicheskuyu nauku : materialy Vserossijskoj studencheskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s uchastiem shkol'nikov 10-11 klassov. V 2-h chastyah, CHEboksary, 05–06 marta 2020 goda. – CHEboksary : CHuvashskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya, 2020. – S. 152-154.
2. Bobryshev, G. P. Modernizaciya stendov dlya ispytaniya i regulirovki toplivnyh nasosov / G. P. Bobryshev, A. A. Monoszon, YU. G. Radchenko // Traktory i sel'skohozyajstvennyye mashiny, 2005. – № 12. – S. 36-39.
3. Voronov, A. V. Analiz svojstv i podbor kalibrovochnykh zhidkostej dlya obkatki i ispytaniya dizel'noj toplivnoj apparatury / A. V. Voronov, A. M. Novikov // Studencheskaya nauka - pervyj shag v akademicheskuyu nauku : materialy Vserossijskoj studencheskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s uchastiem shkol'nikov 10-11 klassov, CHEboksary, 05–06 marta 2019 goda. – CHEboksary: CHuvashskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya, 2019. – S. 177-180.
4. Golubkov, L. H. Toplivnye nasosy vysokogo davleniya raspredelitel'nogo tipa / L. H. Golubkov, A. A. Savastenko, M. V. Emil'. – Moskva : Legion-Avto data, 2000. – 176 s.
5. ZHosan, A. A. Sravnenie fiziko-himicheskikh svojstv dizel'nogo topliva i rapsoвого masla / A. A. ZHosan, YU. N. Ryzhov, A. A. Kurochkin // Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2011. – № 4(31). – S. 72-73.
6. Zagorodskih, B. P. Remont i regulirovanie toplivnoj apparatury avtotraktornyh i kombajnovykh dizelej / B. P. Zagorodskih, V. P. Lyalyakin, P. A. Plotnikov. – Moskva : FGNU «Rosinformagrotekh», 2006. – 210 s.
7. Novikov, A. M. Sravnitel'nyj analiz svojstv i ocenka vozmozhnosti primeneniya tekhnicheskikh rasti-tel'nyh masel dlya obkatki i ispytaniya dizel'noj toplivnoj apparatury / A. M. Novikov, A. V. Semenov, V. A. Ivanov // Perspektivy razvitiya tekhnicheskogo servisa v agropromyshlennom komplekse : sbornik materialov Na-cional'noj (Vserossijskoj) nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 55-letiyu sozdaniya kafedry tekhnicheskogo servisa (remonta mashin i tekhnologii konstrukcionnyh materialov), CHEboksary, 05 dekabrya 2019 goda. – CHEboksary : CHuvashskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya, 2019. – S. 139-145.
8. Toplivnaya apparatura avtotraktornyh i kombajnovykh dizelej. Tekhnicheskie trebovaniya na kapital'nyj remont. TK 10.16.0001.003-87. – Moskva : GOSNITI, 1989. – 286 s.
9. Fajnlejb, B. N. Toplivnaya apparatura avtotraktornyh dizelej: spravochnik / B. N. Fajnlejb. – Lenin-grad : Mashinostroenie, 1990. – 351 s.
10. Diesel in-line fuel-injection pumps: Bosch technical instruction. Germany: Robert Bosch GmbH, 2009. – 144 p.

#### Information about authors

1. **Novikov Alexey Mikhailovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Technical Service Department, Chuvash State Agrarian University, 428003, Chuvash Republic, Cheboksary, st. K. Marx, 29, e-mail: novam1@mail.ru, tel. 8-952-025-90-34;
2. **Smirnov Anatoly Germanovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Transport and Technological Machines and Complexes, Chuvash State Agrarian University, 428003, Chuvash Republic, Cheboksary, st. K. Marx, 29, e-mail: stts@ltnta.ru, tel. 8-927-847-79-49;
3. **Gavrilov Vladislav Nikolaevich**, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Service, Chuvash State Agrarian University, 428003, Chuvash Republic, Cheboksary, st. K. Marx, 29, e-mail: gavrilov-vlad21@yandex.ru, tel. 8-937-374-21-56;
4. **Ivanov Vladimir Andreevich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Service, Chuvash State Agrarian University, 428003, Chuvash Republic, Cheboksary, st. K. Marx, 29, e-mail: vladimir21va@mail.ru, tel. 8-967-796-91-28.