УДК 621.899

DOI: 10.35887/2305-2538-2020-5-82-95

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АНТИФРИКЦИОННОГО СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

¹Агафонов Андрей Константинович¹Ломовских Александр Егорович²Родионов Юрий Викторович¹Берестевич Глеб Викторович¹Свиридов Алексей Алексеевич¹Армянинов Иван Сергеевич¹ФГКВОУ ВО «ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»²ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Реферат. Дан краткий анализ существующих присадок на основе лакирующих компонентов для моторных масел двигателей внутреннего сгорания. В процессе теоретического анализа и определения стойкого защитного металлокерамического покрытия (ЗПМК) на трущихся поверхностях узлов трения деталей и механизмов двигателя внутреннего сгорания (ДВС) использовались положения триботехники и теоретической физики, связанные с процессами дополнительного введения в зону трения между поверхностями белой сажи, а также смеси природных минералов. Разрабатывается методика обработки деталей и узлов двигателя новой антифрикционной смазочной композиции. Проводятся стендовые испытания бензинового и дизельного двигателя при работе со смазочной композицией, добавляемой в моторное масло, с целью определения эксплуатационных и экологических параметров двигателя. Проведенные в рамках данной работы эксперименты показали, что при применении данного состава для двигателей машин позволяет обеспечить продление ресурса восстанавливаемой техники на 50 – 60 %; снижение затрат на ремонты от 30 %; снижение расхода топлива двигателями до 7 %; улучшение экологических характеристик двигателей от 25 %. На основе результатов изучения поставленного вопроса разрабатываются предложения и рекомендации по применению нового антифрикционного смазочного материала в качестве лакирующего компонента для ДВС автотракторной техники.

Ключевые слова: автомобильная техника, моторное масло, двигатели внутреннего сгорания, антифрикционная смазочная композиция, диагностические параметры, испытания, ресурс, безразборный ремонт.

STUDY OF THE INFLUENCE OF ANTI-FRICTION LUBRICANT ON THE OPERATIONAL AND ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES

¹Agafonov Andrey¹Lomovsky Alexander²Rodionov Yuri¹Berestevich Gleb¹Sviridov Aleksey¹Armyaninov Ivan¹MERC "Air Force Academy Professor N.E. Zhukovsky and Major Y.A. Gagarin"²FSBEI HE "Tambov state technical university"

Abstract: A brief analysis of existing additives based on cladding components for motor oils of internal combustion engines is given. The provisions of tribotechnics and theoretical physics associated with the processes of additional introduction of white soot into the friction zone between the surfaces, as well as mixtures of natural minerals, were used in the process of theoretical analysis and determination of a stable protective cermet coating (SPSC) on the rubbing surfaces of friction units of parts and mechanisms of an internal combustion engine (ICE). The method of processing parts and engine units of

a new antifriction lubricant composition is being developed. Bench tests of a gasoline and diesel engine when working with a lubricant composition added to engine oil, in order to determine the operational and environmental parameters of the engine, are carried out. The experiments carried out within the framework of this work have shown that when this composition is used for machine engines, it can provide an extension of the service life of the restored equipment by 50 - 60%; reduction of repair costs from 30%; reduction of engine fuel consumption by up to 7%; improvement of environmental performance of engines from 25%. Proposals and recommendations for the use of a new antifriction lubricant as a cladding component for internal combustion engines of automotive vehicles are developed based on the results of studying the question posed.

Keywords: *automotive equipment, engine oil, internal combustion engines, antifriction lubricant composition, diagnostic parameters, tests, service life, non-disassembly repair.*

Введение. Согласно стратегии развития Стратегии развития сельскохозяйственного машиностроения России на период до 2030 года энергетические установки с поршневыми двигателями внутреннего сгорания (ДВС) останутся как основной вид первичных источников энергии, пока запасы нефти позволяют нам их эксплуатировать ближайшие 50...60 лет.

В агропромышленном комплексе (АПК) для техники в качестве силовой установки и для привода специального оборудования используются двигатели внутреннего сгорания (ДВС), использования которых в значительной степени определяет эксплуатационные характеристики автотракторной техники (АТТ). В связи с чем наряду с разработкой новых перспективных образцов двигателей необходим поиск новых подходов к решению проблем совершенствования существующих поршневых ДВС применяемых на АТТ, которые морально и физически устарели, что вызывает ухудшение их экономических и экологических показателей. Также сложившийся во всем мире экологический кризис представляет собой реальную опасность и определяется эксплуатацией автомобильной и автотракторной техники и непосредственно количеством вредных выбросов, образующихся от сгорания топлива.

Современный АПК является одним из основных потребителей углеводородного топлива, оснащенный огромным количеством автотракторной техники (АТТ) на которых установлены ДВС. Надежность эксплуатации данной техники определяется техническим состоянием системы питания, так как на нее приходится до 50% всех неисправностей. Главным устройством, которое в первую очередь выходит из строя является топливный насос высокого давления (ТНВД). С 1 января 2015 года вступил в силу Технический регламент Таможенного союза (ТР ТС 031/2012) "О безопасности сельскохозяйственных и лесохозяйственных тракторов и прицепов к ним". Поэтому в отношении выбросов двигателей АТТ установлено ограничение на уровне "этапа 3а" по европейской классификации, обеспечивающее минимальное влияние токсичных выхлопных газов на окружающую среду.

Многие модели выпускаемой сегодня АТТ сильно устарели, так как были спроектированы еще в прошлом веке, но продолжают эксплуатироваться в настоящее время. Следует отметить, что около 70 % АТТ имеют срок эксплуатации свыше 20 лет.

В настоящее время с целью повышения качества моторных масел применяются высокотехнологичные присадки. Повышение требований к качеству масел предопределяет создание комплекса multifunctional присадок [1-8].

В таблице 1 представлены характеристики наиболее распространенных смазочных композиций.

Таким образом, возрастает роль антифрикционных смазочных материалов (АСМ) для обработки узлов трения металлических поверхностей, позволяющих скомпенсировать выработки мест трения и контакта деталей ДВС в режиме их штатной эксплуатации. Вместо выработанного металла наращивается металлокерамика, материал с более высокими физико-механическими свойствами, чем стали. Образование металлокерамического слоя происходит в процессе замещения ионов железа в узлах кристаллической решетки, на ионы магния из антифрикционного смазочного материала в поверхностном слое стали (чугуна) трущихся пар трения.

Предложен способ увеличения ресурса, улучшение эксплуатационных и экологических характеристик двигателей внутреннего сгорания путем добавки в масляную систему двигателя нового антифрикционного смазочного материала.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика существующих триботехнических смазочных композиций

Параметр		АСМ	ХАДО	НИОД	Супротек	Форсан
Коэффициент трения	заявленный	0,0025–0,005	0,003–0,007	0,003–0,007	0,003–0,007	0,003–0,007
	истинный	0,003	0,09	0,07	0,085	0,09
Микротвердость поверхности	заявленная	780	680–720	660–760	690–770	680–720
	истинная	780	до 600			
Уменьшение износа, %	заявленное	52	Да	Да	Да	Да
	истинное	52	7,4	13,6	7,5	2,04
Восстановление размеров деталей, мм	заявленное	до 0,18	до 1,5	Да	нет данных	Да
	истинное	до 0,18	нет данных	0,03	нет данных	нет данных
Увеличение ресурса	заявленное	в 2 раза	нет данных	в 2–5 раз	в 3–5 раз	в 10 раз
	истинное	в 2 раза		на 5%	на 5%	на 4%
Снижение шума, вибрации	заявленное	до 15%	в 10 раз	нет данных	нет данных	Да
	истинное	до 15%	исчезающий эффект	нет данных	исчезающий эффект	исчезающий эффект
Увеличение срока службы масла	заявленное	в 2 раза	нет данных	на 20–50%	в 2–5 раз	в 5 и более раз
	реальное	в 3 раза	нет данных	на 10%	нет данных	нет данных
Восстановление и выравнивание компрессии	заявленное	Устойчивый эффект	Да	нет данных	нет данных	Да
	истинное	Устойчивый эффект	Исчезающий эффект	нет данных	нет данных	Исчезающий эффект
Уменьшение расхода топлива	заявленное	на 8%	до 30% на х/х	на 5–15%	на 7–20%	на 10–23%
	реальное	до 8%	до 3% на х/х	нет данных	до 6% на х/х	нет данных
Защита ДВС при аварии масляной системы	заявленная	до 10 мт/ч	Да	Да	Да	Да
	истинная	до 10 мт/ч	-	-	-	-
Уменьшение токсичности выхлопа отработавших газов	заявленное	в 2...3 раза	2–10 раз	нет данных	Да	В несколько раз
	реальное	в 2...3 раза	на 4% только на х/х	нет данных	нет данных	На 3% только на х/х
Увеличение давления масла	заявленное	до 38%	Да	нет данных	нет данных	не менее 20%
	реальное	до 38%	Исчезающий эффект	нет данных	нет данных	нет данных

Материалы и методы. В процессе теоретического анализа и определения стойкого защитного металлокерамического покрытия (ЗПК) на трущихся поверхностях узлов трения деталей и механизмов ДВС использовались положения триботехники и теоретической физики, связанные с процессами дополнительного введения в зону трения между поверхностями белой сажи, а также смеси природных минералов [9].

В связи с этим соотношение компонентов подбиралось путем проведения серии натурных экспериментов, вначале на списанном бензиновом ДВС автомобиля ЗИЛ-131, а затем на дизельном двигателе КАМАЗ-740 установленном на автомобиле КАМАЗ-53212. Количество обработок и методика по обработке созданным составом деталей и механизмов ДВС определялись таким образом, чтобы образующееся покрытие обеспечило кратковременную работу двигателя в

экстремальных условиях. При этом состав должен восстанавливать геометрические размеры поверхностей пар трения, не прерывая процесс эксплуатации двигателя.

Формирование защитного покрытия разработанным АСМ происходит в три этапа (рисунки 1 – 3) [10, 11].

1-й ЭТАП. Ввод АСМ в масло (без замены имеющегося масла в системе).

Рисунок 1 – Схема распределения состава в паре трения

2-й ЭТАП. При внесении состава АСМ в структуру кристаллической решетки поверхностного слоя фрикционных пар трения происходит реакция замещения атомов Mg атомами Fe.

Рисунок 2 – Структура кристаллической решетки поверхностного слоя фрикционных пар трения

3-й ЭТАП. В результате окислительно-восстановительных процессов многокомпонентный состав АСМ диффундирует в основу, упрочняя ее поверхностный слой. Одновременно в пограничной области происходит формирование новых кристаллов, нарощенных на кристаллической решетке металла.

Рисунок 3 – Схема формирования защитного покрытия металлокерамики

В основе предлагаемого решения лежит разработка оптимальной формулы АСМ посредством исследования физико-химических свойств химических элементов, входящих в его многокомпонентный состав, а также определения оптимальных количественных и массовых характеристик для формирования на пятнах контактах пар трения черного металла ЗПМК. Состав содержит порошкообразную смесь природных минералов [9].

Результаты и их обсуждение. Испытания состава АСМ проводились на дизельном ДВС КАМАЗ-740 согласно [13 – 16] с последующей комплексной диагностикой и частичной разборкой с замером основных деталей. Измерение шатунной шейки производилось в двух поясах, расположенных на 1/4 длины шейки от щек согласно рисунку 4.

Рисунок 4 - Схема измерений диаметра шейки коленчатого вала

Размер А-А – измеряется в плоскости кривошипа, В-В – в перпендикулярной ей. Измерения проводятся несколько раз в различных точках.

Замеры цилиндра осуществлялись, как показано на схеме, представленной на рисунке 5.

Рисунок 5 - Схема измерений гильзы цилиндра ДВС КАМАЗ-740

После проведения комплексной диагностики ДВС КАМАЗ-740 и замера основных размеров деталей производилась обработка всех деталей АСМ.

Антифрикционный смазочный материал вводился в прогретый ДВС, через маслосливную горловину. Перед заправкой он смешивался с 50...100 мл моторного масла.

Затем ДВС запускался и работал на холостых оборотах 20 – 25 минут, при этом через каждые 5 минут частота вращения увеличивалась до 2500 об/мин.

Обработка ДВС проводилась в течение 5 – 6 мото-часов. После обработки двигатель эксплуатировался согласно методики применения. После завершения обработки ДВС АСМ

осуществлялась комплексная диагностика двигателя с частичной разборкой и замером основных деталей цилиндро-поршневой группы. Ниже представлены результаты измерений. Результаты измерений диаметра 4 шатунной шейки коленчатого вала производились согласно ГОСТ 14846—81 [8] и представлены в таблице 2.

Таблица 2. - Результаты замеров диаметра 4 шатунной шейки коленчатого вала до и после обработки АСМ

Направление измерений	Пояс I 0,25l			Пояс II 0,75l			Наибольшее отклонение от цилиндричности
	До испытания	После испытания	Наплавка составом АСМ	До испытания	После испытания	Наплавка составом АСМ	
А-А	94,23	94,73	0,50	94,24	94,74	0,50	0,01
Б-Б	94,24	94,71	0,47	94,25	94,73	0,48	0,01

Анализируя полученные данные можно сделать вывод, что до обработки зазор между 4 шатунной шейкой и вкладышем составлял 0,50 мм, а после обработки существенно уменьшился в среднем до 0,0225 мм. Таким образом, зазор между шатунной шейкой и вкладышем уменьшился за счет наплавки АСМ на стальную поверхность шатунной шейки коленчатого вала.

Результаты измерения менее изношенной гильзы 8-го цилиндра ДВС КАМАЗ-740 представлены в таблице 3. Данные измерения производились при помощи прибора – нутромера.

Таблица 3. - Результаты замеров 8-го цилиндра до и после обработки АСМ

Замеры цилиндра		Пояс	Номер цилиндра	
			До обработки АСМ	После обработки АСМ
Плоскость	А-А	I	119,69	119,69
	В-В		119,47	119,68
	Овал		0,22	0,01
Плоскость	А-А	II	119,68	119,68
	В-В		119,45	119,66
	Овал		0,23	0,02
Плоскость	А-А	III	119,68	119,68
	В-В		119,45	119,67
	Овал		0,23	0,01

По результатам измерения гильзы 8 цилиндра овальность снизилась до 0,02 мм.

Результаты замеров компрессии в цилиндрах представлены в виде графиков на рисунках 6 и 7.

Рисунок 6 – График зависимости кольцевой компрессии до и после обработки АСМ

Рисунок 7 – График зависимости поршневой компрессии до и после обработки АСМ

Анализируя полученные значения исследований можно сделать вывод, что произошло увеличение кольцевой и поршневой компрессии по всем цилиндрам двигателя.

Дополнительно был произведен замер давления масла в масляной магистрали ДВС КАМАЗ-740, результаты измерений представлены на рисунке 8.

Рисунок 8 – График изменения давления масла в масляной магистрали ДВС КАМАЗ-740 до и после обработки АСМ

Проанализировав полученные графики можно сделать вывод, что произошло увеличение давление масла на 0,1 кг/см².

Также были проведены замеры дымности выхлопных газов до и после обработки АСМ, результаты которых представлены на рисунке 9.

Рисунок 9 – Диаграмма дымности выхлопных газов ДВС до и после обработки АСМ

Сравнивая полученную диаграмму можно сделать вывод, что произошло существенное снижение дымности выхлопных газов двигателя. Согласно полученных результатов проведенных измерений было установлено, что во всех цилиндрах двигателя определено выравнивание компрессии до заводских параметров; произошло существенное снижение содержания сажи и углеводородов в ОГ.

Далее испытания проводились на бензиновом ДВС ЗИЛ-131 автомобиля ЗИЛ-131 при слитом масле из системы смазки двигателя и снятом поддоне картера, при температуре окружающего воздуха минус 23 °С (рисунок 10).

Рисунок 10 – Работа ДВС ЗИЛ-131 при слитом масле и снятом поддоне картера

Результаты испытаний ДВС автомобиля ЗИЛ-131 при обработке АСМ представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты испытаний ДВС ЗИЛ-131 при обработке АСМ

№ п/п	Диагностические показатели	До обработки								После 4 –ой обработки							
		№ цилиндра								№ цилиндра							
1	Компрессия в цилиндрах ДВС, кг/см ²	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
		5	4,5	3,8	6	4	5,5	6,2	6,5	6,8	6,5	6,3	6,7	6,6	6,5	6,7	6,9
2	Средняя компрессия в цилиндрах, кг/см ²	5,2								6,6							
3	Максимальный разброс компрессии по цилиндрам, кг/см ²	2,7								0,6							
4	Содержание СО в выхлопных газах:																
	– на хол. оборотах, %	0,84								0,71							
	– на ср. оборотах (3000 мин ⁻¹), %	1,22								0,81							

После обработки ДВС АСМ были проведены испытания двигателя ЗИЛ-131 автомобиля ЗИЛ-131 при слитом масле из системы смазки двигателя и снятом поддоне картера. Цель испытаний – определение максимального времени работы ДВС без смазки для доказательства влияния разработанного состава АСМ. Испытания проводились при температуре окружающего воздуха минус 23 °С.

Порядок проведения испытаний заключался в следующем.

1. Автомобиль устанавливается на полуэстакаду.
2. Запускается двигатель автомобиля и прогревается до рабочей температуры 85...90 °С.
3. Двигатель глушится.
4. Сливаются масло из поддона картера двигателя через сливную пробку.
5. Снимается поддон картера двигателя.
6. Запускается двигатель и работает на оборотах холостого хода до остановки (заклинивания).

В результате проведения испытаний двигатель ЗИЛ-131 проработал в течение 51 минуты без заклинивания и поломок. После завершения испытаний работы ДВС ЗИЛ-131 без смазки на холостом ходу, проверялась его работоспособность под нагрузкой – при движении автомобиля вплоть до полной его остановки.

До проведения испытаний двигатель автомобиля ЗИЛ-131 был повторно пятикратно обработан АСМ, согласно разработанной методике, в течение 25 мото-часов. Испытания были проведены при температуре окружающего воздуха минус 22 °С. В ходе проведения испытаний велся хронометраж движения автомобиля с фото и видео фиксацией состояния его работы.

С целью более точной оценки результатов пробега автомобиля в его кабине был установлен ПК модели «Самсунг» с программным обеспечением «Навигатор», позволяющим при помощи системы «ГЛОНАС» отслеживать пройденный маршрут и скорость движения автомобиля (рисунок 11).

За это время работы ДВС:

- автомобиль проехал расстояние $L = 1,37$ км;
- максимальная скорость движения автомобиля составила $V_{\max} = 18$ км/ч;
- средняя скорость движения автомобиля составила $V_{\text{ср.двиг.}} = 13,47$ км/ч.

Было зафиксировано, что после полной остановки ДВС произошло заклинивание коленчатого вала, то есть он полностью перестал вращаться при прокрутки вначале стартером, а затем рукояткой стартера за храповик маховика.

Таким образом, проведенные испытания ДВС ЗИЛ-131 подтвердили тот факт, что обработка разработанным АСМ изношенных в процессе эксплуатации узлов и деталей кривошипно-шатунного механизма и цилиндро-поршневой группы двигателя приводит к улучшению основных технических параметров ДВС.

Рисунок 11 – Данные, полученные с помощью программы «ГЛОНАС»

Также проводились исследования по восстановлению плунжерной пары ТНВД дизельного ДВС ЯМЗ-236. Мобильное, малогабаритное устройство подключается к топливной системе ДВС и к аккумуляторной батарее автомобиля, представлено на рисунке 12а [15].

Запускают двигатель и в процессе его работы на топливе разогретого до необходимой температуры и обогащенном (АСМ), осуществляется процесс восстановления изношенных рабочих поверхностей прецизионных пар трения за счет образования на них металлокерамического защитного покрытия.

В результате прокачки через топливную аппаратуру ДВС разогретого состава на поверхностях пар трения (плунжерной паре) ТНВД образуется износостойкое металлокерамическое покрытие.

Схема подключения устройства и внешний вид представлены на рисунке 12б.

Рисунок 12 – Схема подключения (а) и внешний вид устройства (б) на дизельном ДВС ЯМЗ-236

Устройство подключается: в разрыв системы питания ДВС 3 с помощью подводящего 1 и сливного 2 трубопровода, снабженных штуцерами; к электрической сети 220 В, 50 Гц с помощью электропровода 4 и к аккумуляторной батарее 12 В 5 с помощью электропровода 5.

Основные характеристики устройства представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Основные характеристики устройства

№ п/п	Наименование параметра, ед. измерения	Значение
1	Напряжение питания:	
	постоянный ток, В	12
	переменный ток, В	220
2	Потребляемая мощность:	
	постоянный ток, Вт	200
	переменный ток, Вт	2000
3	Емкость топливного бака, л	6
4	Емкость бака блока нагрева, л	8
5	Время подготовки к работе, мин	15
6	Время восстановления агрегата, мин	30...50
7	Условия эксплуатации, °С	-50...+50
8	Габаритные размеры, мм	800x400x600
9	Масса в снаряженном состоянии, кг	20

Предлагаемое устройство позволяет:

- до 100 % повысить величину и давление подачи топлива, значительно улучшить запуск ДВС;
- повысить мощность ДВС при одновременном снижении расхода топлива на 3 – 5 %;
- снизить шум и вибрацию ДВС;
- уменьшить количество вредных выбросов по СО и СН до 50 %;
- в 1,5 – 2 раза продлить ресурс топливной аппаратуры дизелей;
- в 2 – 3 раза снизить сроки и затраты на их ремонт, продления ресурса АТТ и снижение стоимости ее жизненного цикла при эксплуатации АТТ в отдаленных районах, в условиях низких температур, куда поставка оборудования и запчастей затруднительна, высокочрезвычайно и отсутствует высококвалифицированный персонал, а также в условиях Арктики [17 – 19].

Выводы. Разработанный АСМ рекомендуется использовать в качестве ремонтно-восстановительного состава на парах трения ДВС АТТ. Применение данного состава для ДВС АТТ позволит обеспечить:

- 1) восстановление поверхности пар трения узлов и агрегатов ДВС во всем диапазоне рабочих температур за счет формирования на поверхностях пар трения высокопрочного ЗПМК обладающего высокой износостойкостью;
- 2) возможность длительного функционирования ВВСТ при условии полного отсутствия масла в системе смазки.

Применение данного состава в целом для ДВС АТТ позволит обеспечить:

- продление ресурса восстанавливаемой АТТ на 50 – 60%;
- снижение расхода топлива ДВС АТТ до 7 %;
- улучшение экологических характеристик ДВС АТТ от 25 %.

Список литературы

1. Болгов В.Ю., Балабанов В.И. Автомобильные присадки и добавки. М.: Транспорт, – 2009. – 154 с.
2. Балабанов В.И. Безразборное восстановление трущихся соединений автомобиля. Методы и средства. М.: ООО «Издательство АСТ», – 2003. – 61 с.
3. Добавки к моторным маслам // [Электронный ресурс] / URL: <http://www.a-vital.ru/prisadki-i-dobavki-k-motornym-maslamm.html> (дата обращения: 10.10.2016).
4. Повышение ресурса агрегатов тракторов ремонтно-восстановительными добавками к смазочным материалам. Технологические рекомендации (временные). М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2013. 260 с.
5. Хрулев А.Э. Ремонт двигателей зарубежных автомобилей. Производственно-практ. издание. М.: За рулем, – 2005. – 154 с.

6. Ладиков В.В., Маркелов Г.А., Чечет В.А., Дунаев А.В., Хмелевой Н.М., Суслов Д.А. Безразборные технологии увеличения эксплуатационного ресурса автотранспортной техники. М.: VICCO, – 2004. – 52 с.
7. Гаркунов Д.Н. Износ и безыносность. М.: Машиностроение, – 2001. – 616 с.
8. Остриков В.В., Сазонов С.Н., Сафонов В.В., Рошин А.В., Хохлов С.С., Куткин А.В., Балабанов В.И. Исследование механизма трансформации и переноса контактных слоев в системе смазочная среда - поверхность трибопары. // Российский журнал физической химии Б. – 2018. – Вып. 12. – № 2. – с. 336-342.
9. Агафонов А.К., Агафонов Д.А. Антифрикционный смазочный материал. Патент РФ. № 2410415 МПК C10M 125/10, C10M 125/26, C10N 50/02. Заявка № 2009128013/04 опубли. 27.01.2011, – Бюл. № 3. – 6 с.
10. Остриков В.В., Сазонов С.Н., Оробинский В.И., Афоничев Д.Н. Определение антиоксидантной присадки и продуктов ее разложения в рабочих моторных топливах. // Химия и технология топлив и масел. – 2019. – Т. 55. – № 2. – с. 145-150.
11. Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е., Шель Н.В., Головченко А.О., Остриков В.В., Вигдорович М.В. Использование данных весовых испытаний и импедансной спектроскопии для оценки защитной эффективности масляных покрытий с высоким содержанием цинка от коррозии углеродистой стали. // Международный журнал по ингибированию коррозии и образования отложений. – 2019. – Т. 8. – № 2. – с. 212-224.
12. ГОСТ 23435-79. Техническая диагностика. Двигатели внутреннего сгорания. М.: Изд-во стандартов, – 1979. – 16 с.
13. ГОСТ 52033-2003. Автомобили с бензиновыми двигателями. Выбросы загрязняющих веществ с отработавшими газами. М.: Изд-во стандартов, – 2003. – 11 с.
14. ГОСТ 14846-81. Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний. М.: Изд-во стандартов, – 1981. – 11 с.
15. ГОСТ Р 52408-2005. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Выбросы вредных веществ с ОГ. М.: Изд-во стандартов, – 2005. – Часть 2. – 14 с.
16. ГОСТ Р 8.736-2011 Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения. М.: Стандартинформ, – 2013. – 24 с.
17. Гергенов С.М. Испытания автомобильных двигателей. Улан-Удэ: Издательство ВСГТУ, – 2002. – 65 с.
18. Агафонов А.К., Берестевич Г.В., Илларионов В.В., Чернухо И.И.; Устройство для восстановления прецизионных пар трения агрегатов системы питания дизельных двигателей внутреннего сгорания. Патент РФ № 2579308 МПК F02M F02B. Заявка № 2019102293; заявл. 28.01.2019; опубли. 10.02.2020, – Бюл. № 10. – 10 с.
19. Агафонов А.К., Колтаков А.А., Ломовских А.Е. Илларионов В.В. Антифрикционный смазочный материал ВПК-АЗ. // Приоритетные направления и актуальные проблемы развития средств технического обслуживания летательных аппаратов: сб. ст. по материалам II Всероссийская НТК (15–16 марта 2016 г.). Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», – 2016. – 304 с. – С. 6-9.

References

1. Bolgov V.Ju., Balabanov V.I. Avtomobil'nye prisadki i dobavki. M.: Transport, – 2009. – 154 s.
2. Balabanov V.I. Bezrazbornoe vosstanovlenie trushhihsja soedinenij avtomobilja. Metody i sredstva. M.: OOO «Izdatel'stvo AST», – 2003. – 61 s.
3. Dobavki k motornym maslam // [Elektronnyj resurs] / URL: <http://www.a-vital.ru/prisadki-i-dobavki-k-motornym-maslam.html> (data obrashhenija: 10.10.2016).
4. Povyshenie resursa agregatov traktorov remontno-vosstanovitel'nymi dobavkami k smazochnym materialam. Tehnologicheskie rekomendacii (vremennye). M: FGNU «Rosinformagroteh», 2013. 260 s.
5. Hrulev A.Je. Remont dvigatelej zarubezhnyh avtomobilej. Proizvodstvenno-prakt. izdanie. M.: Za rulem, – 2005. – 154 s.
6. Ladikov V.V., Markelov G.A., Chechet V.A., Dunaev A.V., Hmelevoj N.M., Suslov D.A. Bezrazbornye tehnologii uvelichenija jekspluatacionnogo resursa avtotransportnoj tehniki. M.: VICCO, – 2004. – 52 s.
7. Garkunov D.N. Iznos i bezyznosnost'. M.: Mashinostroenie, – 2001. – 616 s.
8. Ostrikov V.V., Sazonov S.N., Safonov V.V., Roshhin A.V., Hohlov S.S., Kutkin A.V., Balabanov V.I. Issledovanie mehanizma transformacii i perenos kontaktnyh sloev v sisteme smazochnaja sreda - poverhnost' tribopary. // Rossijskij zhurnal fizicheskoj himii B. – 2018. – Vyp. 12. – № 2. – с. 336-342.

9. Agafonov A.K., Agafonov D.A. Antifrikcionnyj smazochnyj material. Patent RF. № 2410415 MPK S10M 125/10, S10M 125/26, S10N 50/02. Заявка № 2009128013/04 opubl. 27.01.2011, – Bjul. № 3. – 6 s.
10. Ostrikov V.V., Sazonov S.N., Orobinskij V.I., Afonichev D.N. Opređenje antioksidantnoj prisadki i produktov ee razložhenija v rabochih motornyh toplivah. // Himija i tehnologija topliv i masel. – 2019. – T. 55. – № 2. – s. 145-150.
11. Vigdorovich V.I., Cygankova L.E., Shel' N.V., Golovchenko A.O., Ostrikov V.V., Vigdorovich M.V. Ispol'zovanie dannyh vesovyh ispytanj i impedansnoj spektroskopii dlja ocenki zashhitnoj jeffektivnosti masljanyh pokrytij s vysokim soderzhanijem cinka ot korrozii uglerodistoј stali. // Mezhdunarodnyj zhurnal po ingibirovaniju korrozii i obrazovanija otložhenij. – 2019. – T. 8. – № 2. – s. 212-224.
12. GOST 23435-79. Tehnicheskaja diagnostika. Dvigateli vnutrennego sgoranija. M.: Izd-vo standartov, – 1979. – 16 s.
13. GOST 52033-2003. Avtomobili s benzinovymi dvigateljami. Vybrosoy zagrijaznjajushhih veshhestv s otrabotavshimi gazami. M.: Izd-vo standartov, – 2003. – 11 s.
14. GOST 14846-81. Dvigateli avtomobil'nye. Metody stendovyh ispytanj. M.: Izd-vo standartov, – 1981. – 11 s.
15. GOST R 52408-2005. Dvigateli vnutrennego sgoranija porshnevyje. Vybrosoy vrednyh veshhestv s OG. M.: Izd-vo standartov, – 2005. – Chast' 2. – 14 s.
16. GOST R 8.736-2011 Izmerenija prjamyje mnogokratnye. Metody obrabotki rezul'tatov izmerenij. Osnovnye položhenija. M.: Standartinform, – 2013. – 24 s.
17. Gergenov S.M. Ispytanija avtomobil'nyh dvigatelej. Ulan-Udje: Izdatel'stvo VSGTU, – 2002. – 65 s.
18. Agafonov A.K., Berestevich G.V., Illarionov V.V., Chernuho I.I.; Ustrojstvo dlja vosstanovlenija precizionnyh par trenija agregatov sistemy pitania dizel'nyh dvigatelej vnutrennego sgoranija. Patent RF № 2579308 MPK F02M F02V. Заявка № 2019102293; zajavl. 28.01.2019; opubl. 10.02.2020, – Bjul. № 10. – 10 s.
19. Agafonov A.K., Koltakov A.A., Lomovskih A.E. Illarionov V.V. Antifrikcionnyj smazochnyj material VPK-AZ. // Prioritetnye napravlenija i aktual'nye problemy razvitija sredstv tehničeskogo obslužhivaniya letatel'nyh apparatov: sb. st. po materialam II Vserossijskaja NTK (15–16 marta 2016 g.). Voronezh: VUNC VVS «VVA», – 2016. – 304 s. – S. 6-9.

Сведения об авторах

Принадлежность к организации

Агафонов Андрей Константинович – доктор технических наук, старший научный сотрудник 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: agafonov111@list.ru.

Ломовских Александр Егорович – кандидат технических наук, доцент 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: lomovskih1979@yandex.ru.

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

Берестевич Глеб Викторович – кандидат технических наук, начальник отдела 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.

Свиридов Алексей Алексеевич – кандидат педагогических 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.

Армянинов Иван Сергеевич – оператор научной роты 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.

Author credentials

Affiliations

Agafonov Andrey – Full Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher 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: agafonov111@list.ru.

Lomovsky 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.

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

Berestevich Gleb – Candidate of Technical Sciences, Head of Department 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.

Sviridov Aleksey – Candidate of Pedagogical 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.

Armyaninov Ivan – scientific company operator 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.

Поступила в редакцию (Received): 21.09.2020 Принята к публикации (Accepted): 22.10.2020

УДК 534.143, 536.242

DOI: 10.35887/2305-2538-2020-5-95-104

О МЕХАНИЗМЕ МАССОПЕРЕНОСА ВЕЩЕСТВА ЧЕРЕЗ ГРАНИЦУ РАЗДЕЛА ФАЗ В СИСТЕМЕ «ЖИДКОСТЬ-ЖИДКОСТЬ» ПРИ РЕАКЦИИ ПЕРЕЭТЕРИФИКАЦИИ

¹Королев Владимир Николаевич

²Левина Екатерина Юрьевна

³Нагорнов Станислав Александрович

³Корнев Алексей Юрьевич

¹ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. Первого Президента России Б.Н. Ельцина»

²ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана»

³ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Реферат. При реакции переэтерификации жиры и низкомолекулярные спирты, представляют собой разнородные несмешивающиеся жидкости, разделенные друг от друга подвижной границей раздела фаз. Рассматривали особенности массопереноса через границу раздела фаз при получении биодизельного топлива в системе «жидкость-жидкость». При исследовании факторов, обуславливающих эффективность использования моторных топлив в растениеводстве использовали информационные методы исследования: аналитические, статистические, сравнительные и информационно-логические методы обработки и анализа исходной информации, методы системного подхода. Предложен вариант механизма