

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО РАЗРАБОТКЕ СОСТАВА ПРИРАБОТОЧНОГО МАСЛА ДЛЯ ПОСЛЕРЕМОНТНОЙ ОБКАТКИ ДВИГАТЕЛЕЙ ТРАКТОРОВ

Валерий Васильевич Остриков¹
Сергей Николаевич Сазонов¹
Дмитрий Игоревич Афанасьев¹
Алла Владимировна Забродская¹
Дмитрий Николаевич Афоничев²

¹Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники
и нефтепродуктов в сельском хозяйстве

²Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Установлено, что в сельскохозяйственном производстве при проведении послеремонтной обкатки двигателей тракторов чаще всего используется моторное масло М-10Г₂ взамен специальных приработочных масел, что снижает срок службы отремонтированных машин на 20-30%. Предложен способ глубокой очистки отработанных масел, позволяющий удалять 97-99% всех видов загрязнений из масла для дальнейшего использования его в качестве основы обкаточного масла. Обоснован состав обкаточного масла, состоящий из 98% очищенного масла, 1,5% олеиновой кислоты, 0,03% графенов, 0,5% карбамида. В результате исследований установлено, что внесение карбамида в масло увеличивает противоизносные свойства состава обкаточного масла в 1,3-1,5 раза. Добавка 0,5-1,5% олеиновой кислоты обеспечивает эффект Ребиндера на поверхности трения и способствует удалению послеремонтных микронеровностей с поверхности трения. Определено, что введение в состав обкаточного масла графенов позволяет повысить теплоёмкость масла на 10-20% и увеличить противоизносные свойства обкаточного масла более чем на 15%. В результате стендовых испытаний экспериментального состава обкаточного масла в двигателе Д-240 после его ремонта установлено снижение расхода топлива с 20 до 15 кг/ч и увеличение компрессии по цилиндрам более чем на 30%. Обоснована возможность повторного использования отработавшего в двигателе экспериментального состава обкаточного масла. Рассмотрен технологический процесс его очистки от примесей и продуктов окисления, позволяющий снизить в 10 раз содержание механических примесей и нерастворимого осадка в масле. В целом, разработанный состав обкаточного масла позволяет повысить эффективность обкатки двигателей на 15-20%, снизить затраты на ремонт техники на 25-30%, а также решить вопросы эффективного использования ресурсов и утилизации отработанных масел в АПК.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ремонт, обкаточное масло, очистка, состав, графены, противоизносные свойства, двигатель.

STUDIES ON THE DEVELOPMENT OF COMPOSITION OF BREAK-IN OIL FOR THE POST-MAINTENANCE TEST RUNS OF TRACTOR ENGINES

Valeriy V. Ostrikov¹
Sergey N. Sazonov¹
Dmitriy I. Afanasiev¹
Alla V. Zabrodskaya¹
Dmitriy N. Afonichev²

¹All-Russian Research Institute for Application of Machinery and Petroleum Products in Agriculture

²Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

It has been established that post-maintenance test runs of tractor engines in agricultural production are most often performed with the M-10G₂ motor oil instead of special break-in oils which reduces the service life of repaired machines by 20-30%. The authors discuss a method for deep purification of used oils that allows removing 97-99% of all types of contaminants from oil for its further use as the base for a break-in oil. As a result of the research they substantiated a composition of a break-in oil consisting of 98% of purified oil, 1.5% of oleic

acid, 0.03% of graphenes and 0.5% of carbamide. It was determined that the incorporation of carbamide into the oil increased the anti-wear properties of break-in oil by 1.3-1.5 times. 0.5-1.5% of oleic acid addition produces the Reh binder effect on the friction surface and facilitates the removal of post-maintenance microroughnesses from the friction surface. It was also defined that the incorporation of graphenes into the composition of the break-in oil allowed increasing its heat capacity by 10-20% and its anti-wear properties by more than 15%. Bench tests of the experimental composition of the break-in oil in the D-240 engine after its maintenance and repair showed a reduction in fuel consumption from 20 to 15 kg/h and an increase in compression on the cylinders by more than 30%. The authors have substantiated the possibility of reuse of the experimental composition of the break-in oil after its use in the engine and considered a technological process of its decontamination from impurities and oxidation products, which allowed reducing the content of mechanical impurities and insoluble sediments in the oil by 10 times. On the whole, the newly-developed composition of a break-in oil allows increasing the efficiency of engine break-ins by 15-20%, reducing the costs of machine repairs by 25-30%, and solving the issues of efficient use of resources and disposal of used oils in the Agro-Industrial Complex.

KEY WORDS: repairs, break-in oil, purification, composition, graphenes, anti-wear properties, engine.

Введение

Машинно-тракторный парк сельскохозяйственных предприятий насчитывает более 5,5 млн единиц техники, среди которой трактора с увеличенным сроком эксплуатации составляют 70%. Соответственно вопросы организации технического обслуживания и ремонта являются для них особо актуальными и требующими значительных затрат [12]. Сложившаяся схема ремонта тракторов предусматривает замену и восстановление изношенных деталей либо в ремонтных мастерских хозяйств, либо в специализированных предприятиях [7].

Двигатель внутреннего сгорания (ДВС), как одна из трех основных частей любого автомобиля, при проведении ремонта требует использования достаточно сложного технологического оборудования, приборов и квалификации исполнителей. Одной из важнейших составляющих капитального ремонта двигателей тракторов является их послеремонтная обкатка. При проведении стендовой обкатки используются специальные приработочные, обкаточные масла, которые в дальнейшем заменяются на моторные, рекомендованные к применению в реальных условиях эксплуатации.

В силу высокой цены обкаточных масел, сложностей их приобретения и ряда других организационно-экономических и технологических причин в реальных условиях проведения ремонта используются моторные масла М-8Г₂, М-10Г₂. При этом операции обкатки отремонтированных ДВС с использованием традиционных моторных масел не обеспечивают высокого качества приработки деталей двигателя и тем самым снижают послеремонтный ресурс.

Высокое содержание смол, асфальтенов, карбенов, карбоидов делает отработанные масла непригодными к использованию [6]. Однако, учитывая значительный опыт Всероссийского научно-исследовательского института использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве (ВНИИТиН) в разработке технологии очистки масел, можно в первом приближении утверждать, что, удалив все виды загрязнений, не исключается возможность использования отработанного моторного масла в качестве основы при разработке нового состава обкаточного масла.

Целью исследований является повышение эффективности послеремонтной обкатки двигателей тракторов и снижение затрат на ее проведение.

Материалы и методы

В качестве базового масла для разработки состава обкаточного масла рассматривалось отработавшее свой срок моторное масло М-10Г₂. Для удаления загрязнений и примесей из отработанного масла в него вводилась смесь моноэтаноламина и изопропанола в количестве соответственно 1 и 2% с последующим удалением загрязнений в поле центробежных сил на установке УОМ-3М. Физико-химический анализ свойств масла проводился по общепринятым методикам. Оценка коагуляционных процессов, процессов кристаллизации и удаления примесей осуществлялась под микроскопом Биолам-70.

В качестве добавок в состав обкаточного масла дополнительно вводились водный раствор карбамида – 1% к объёму масла, олеиновая кислота – 0,5-3% масс. и графены – 0,01-0,03%. Противозносные свойства составов масел определялись на машине трения КТ-2. Стендовые испытания состава обкаточного масла проводились на двигателе Д-240, установленном на стенд КИ-5543 по специально разработанной методике. Эксплуатационные характеристики двигателя и эффективность процесса обкатки определялись по измерению компрессии в цилиндрах, расходу топлива и содержанию примесей в масле. Очистка отработавшего обкаточного масла проводилась на установке УОМ-3М.

Результаты и их обсуждение

На первом этапе исследований ставится задача глубокой очистки отработанного масла. По результатам предварительных экспериментальных исследований предложен двухступенчатый способ очистки. На первой ступени очистки в отработанное масло вносится моноэтаноламин в смеси с изопропанолом. Далее после коагуляции примесей происходит их удаление в поле центробежных сил на установке УОМ-3М [6].

На второй ступени в очищенное масло добавляется смесь моноэтаноламина и реагента, состоящего из метилэтилкетона, ортофосфорной кислоты и изопропанола. После завершения операции перемешивания смесь масла с реагентами еще раз очищают в реактивных центрифугах УОМ-3М. В таблице 1 представлены показатели эффективности очистки масла предложенным способом.

Таблица 1. Характеристики отработанного моторного масла М-10Г₂ до и после его очистки по известной технологии (1) и в соответствии с предложенным способом (2)

Показатели	Значения		
	Исходное масло	После очистки	
		1	2
Вязкость кинематическая, мм ² /с, при 100°С	10,6	9,8	9,7
Содержание нерастворимых осадков, %	0,85	0,11	0,01
Щелочное число, мг КОН/г	3,2	2,4	2,0
Кислотное число, мг КОН/г	1,67	0,58	0,69
Содержание воды, %	0,65	Отсутствует	Отсутствует
Содержание механических примесей, %	0,98	Отсутствует	Отсутствует
Цвет, балл ед. ЦНТ	9	5	3,5

Анализируя полученные результаты исследований, следует отметить, что двухступенчатая очистка позволяет практически полностью удалить нерастворимые осадки из масла и приблизить масло по цвету к состоянию некоторых видов базовых масел, сохраняя при этом его эксплуатационные свойства по щелочному числу, что очень важно для наших условий использования очищенного отработанного масла в качестве основы для приготовления обкаточного масла.

На следующем этапе исследований в очищенное масло вносился перенасыщенный водный раствор карбамида. Смесь перемешивалась, нагревалась до температуры 100°С и пропусклась через реактивные центрифуги с устройством микровзрыва в системе очистки УОМ-3М. Таким образом, в масле образовывались игловидные кристаллы 0,5×2 мкм, находящиеся во взвешенном состоянии в масле и равномерно распределенные по объему. Кристаллы карбамида при выполнении операции холодной обкатки выполняют роль «мягкого» абразивного материала, полирующего поверхности трения. По мере увеличения температуры на поверхности трения и в масляном слое до 135°С кристаллы расплавляются, повышая смазывающие свойства масла и увеличивая толщину масляной пленки на поверхности трения в 1,3-1,5 раза [14].

Феноменология действия карбамида проверялась экспериментально путем нагрева масла с кристаллами карбамида (рис. 1).

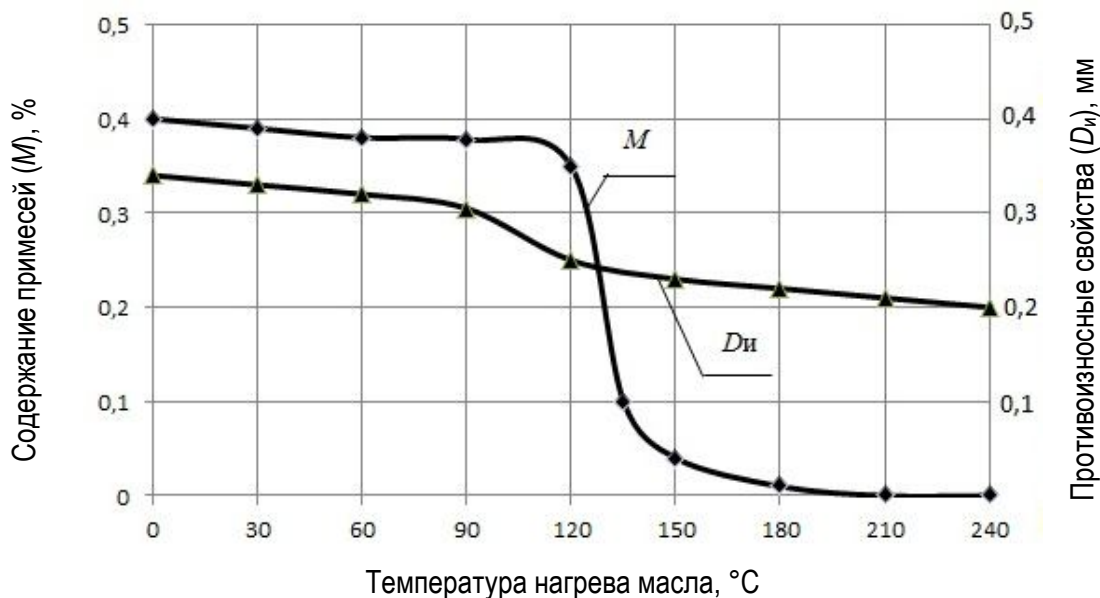


Рис. 1. Зависимость изменения содержания примесей (кристаллов) в масле (M) и противозносных свойств ($D_{и}$) от температуры нагрева масла

При проведении исследований содержание примесей (кристаллов) в тонком слое масла при его нагреве оценивалось под микроскопом, а изменение противозносных свойств определялось на четырехшариковой машине трения типа КТ-2.

На следующем этапе формирования состава обкаточного масла рассматривалась возможность «пластификации» поверхностей металлов под действием поверхностно-активных веществ для реализации эффекта Ребиндера [2, 3, 5, 11, 14].

В качестве присадки применялась олеиновая кислота, вносимая в масло в концентрации 0,5-3% к объему масла (рис. 2).

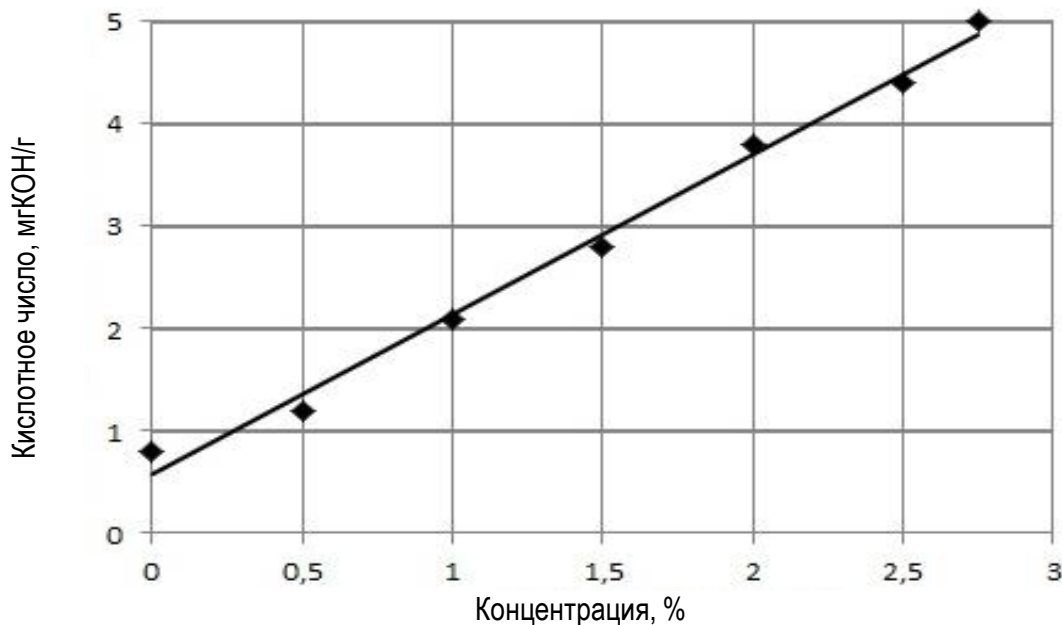


Рис. 2. Зависимость изменения кислотного числа масла от концентрации внесения олеиновой кислоты

Установлено, что внесение олеиновой кислоты увеличивает кислотное число масла по линейной зависимости и при концентрации внесения 2,0% кислотное число

превышает 4 мг КОН/г, что отрицательно влияет как на срок службы масла, так и на образование смолистых отложений на деталях цилиндрической группы (ЦПГ). Для оценки смазывающих свойств сформированного на данном этапе исследования состава масла рассмотрено изменение его противоизносных свойств (рис. 3).

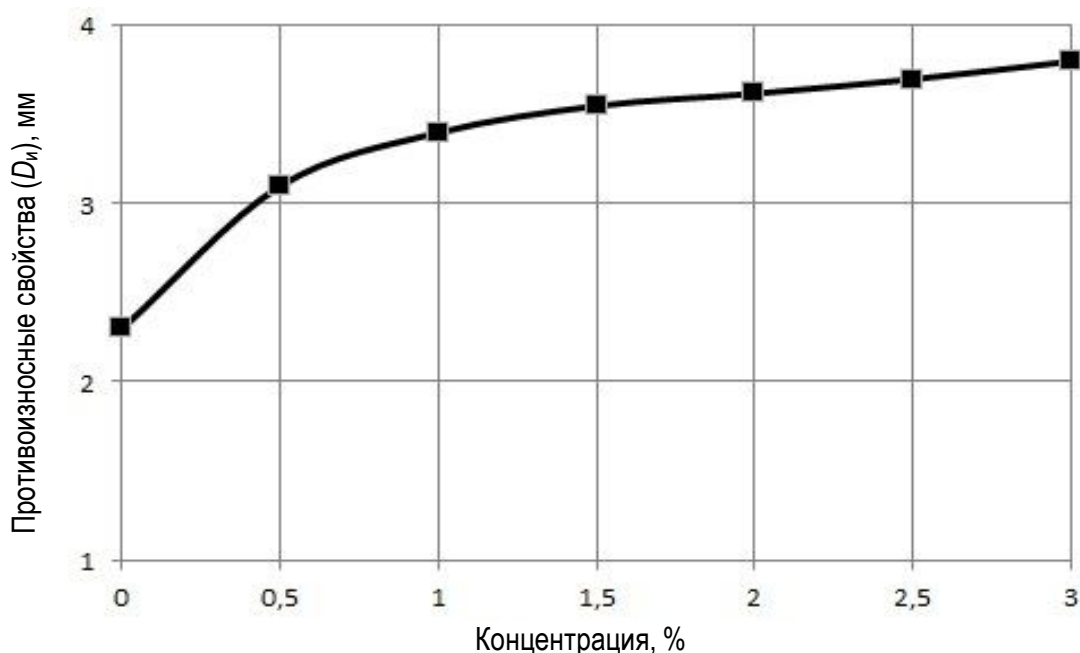


Рис. 3. Зависимость изменения противоизносных свойств экспериментальных составов масла от концентрации внесения олеиновой кислоты

Исследования проводились на четырехшариковой машине трения при нагрузке $P = 80$ Н и температуре нагрева масла $t = 150^{\circ}\text{C}$.

Определено, что после внесения 0,5% олеиновой кислоты (рис. 3) диаметр пятна износа $D_{и}$ шариков увеличивается с 0,26 до 0,32 мм. При увеличении концентрации до 1% значение $D_{и}$ продолжало увеличиваться, и при концентрации 1,5% процесс практически стабилизировался. В соответствии с этим можно сделать вывод, что эффект Ребиндера проявляется в большей степени при концентрации кислоты 0,5-1,5% в масле и дальнейшее увеличение приводит только к отрицательным эффектам. Определение оптимальной концентрации внесения кислоты позволяет снизить процесс окисленности масла, уменьшить количество отложений на деталях ЦПГ.

Анализируя полученные предварительные результаты исследований, можно предположить, что в процессе обкатки под действием кристаллов карбамида происходит «мягкая» притирка, сглаживание микровыступов, а внесение дополнительно олеиновой кислоты способствует активации этого процесса в период холодной обкатки.

После проведения операции «сглаживания» некоторые микровпадины могут оставаться на поверхностях трения, и их удаление представляет сложную задачу. Исходя из известных теоретических и экспериментальных данных по организации процессов удаления микронеровностей, предпочтение следует отдать технологиям внесения в обкаточное масло специальных добавок, обеспечивающих восстановление поверхностей изношенных деталей [8, 10, 11, 12].

Также известно, что в процессе обкатки отремонтированного двигателя и приработке деталей температура на поверхностях трения может увеличиваться до значительных величин [1].

Отвод тепла от поверхности трения обеспечивает смазочное масло, вместе с тем повышение эффективности этого процесса может быть достигнуто введением специальных присадок и материалов [4]. Так, например, введение 0,01-0,03% графенов в пластичные смазки позволяет повысить теплоемкость смазок на 10-20% и снизить нагрев поверхностей пар трения на 10-15% [13].

Учитывая вышеизложенное, ставилась задача на этапе экспериментальных исследований оценить теплоемкость разрабатываемого состава обкаточного масла с добавлением структурированных графенов, а также смазывающие свойства масла под действием графенов (рис. 4).

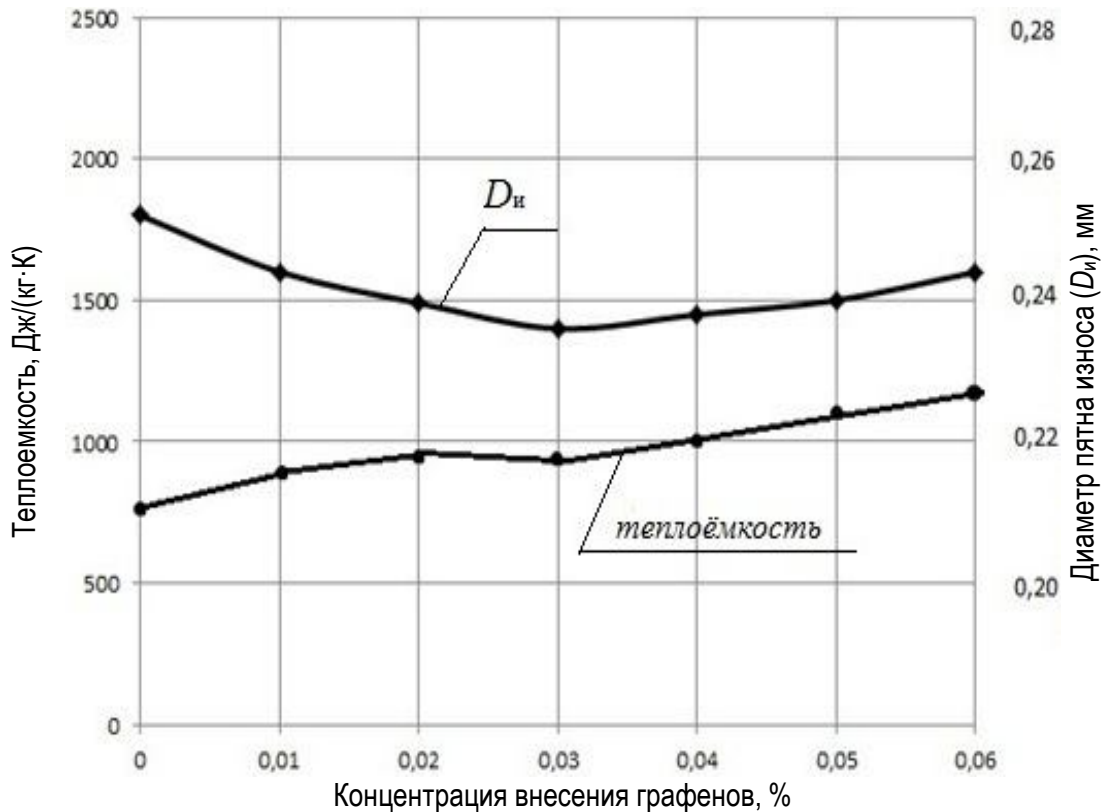


Рис. 4. Зависимость изменения теплоемкости и противоизносных свойств масла от концентрации внесения графенов

В результате исследований установлено, что теплоемкость обкаточного масла при внесении графенов увеличивается (рис. 4), при этом внесение в масло более 0,03% графенов ухудшает противоизносные свойства масла [11].

Предварительные эксплуатационные испытания экспериментального состава обкаточного масла проводили в лабораторных условиях на двигателе Д-240. Двигатель, ранее использовавшийся более 3000 моточасов при проведении различных исследований, связанных с оценкой новых трибопрепаратов и присадок к маслам, имел на момент начала испытаний низкие значения компрессии по цилиндрам, увеличенный расход топлива, в связи с чем проводились работы по расточке коленчатого вала, замене колец и вкладышей.

Далее двигатель собирался и устанавливался на стенд КИ-5543. В картер двигателя заправлялось экспериментальное обкаточное масло. Двигатель запускался в работу от электроустановки стенда и работал в режиме холодной обкатки в течение 30 минут. При этом через каждые 5 минут работы из картера отбиралась проба масла объемом 0,1 л для анализа содержания железа и механических примесей в масле (рис. 5).

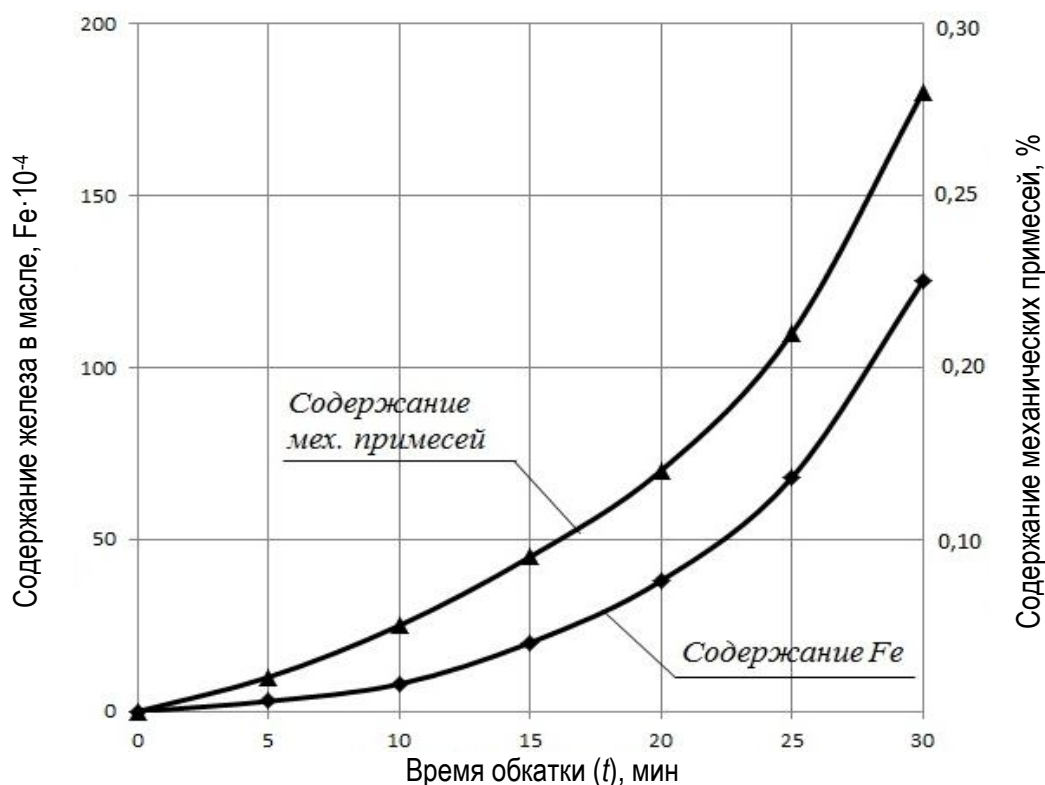


Рис. 5. Зависимость изменения содержания железа и механических примесей в масле от времени холодной обкатки двигателя Д-240

После завершения холодной обкатки двигатель запускался и работал при переменной нагрузке в течение 90 минут. В ходе технологической операции определялись следующие эксплуатационные показатели эффективности работы двигателя: компрессия по цилиндрам и часовой расход топлива. Данные показатели оценивались через каждые 10 минут. Полученные графические зависимости представлены на рисунке 6.

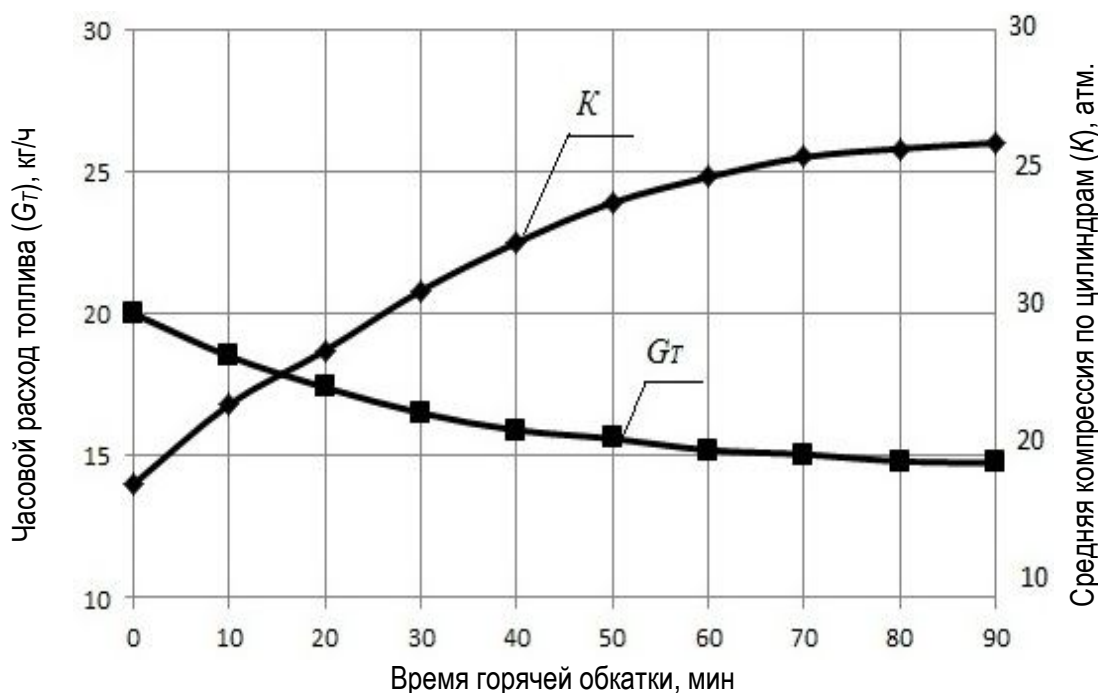


Рис. 6. Зависимость изменения расхода топлива (G_t) и средней величины компрессии (K) по цилиндрам от времени обкатки

Анализируя полученные зависимости (рис. 6), можно констатировать, что с течением времени приработки величина часового расхода топлива постепенно снижается, а средняя компрессия по цилиндрам двигателя увеличивается.

В процессе обкатки ДВС в приработочное масло поступают механические примеси, вода и частично продукты окисления, из-за чего масло становится непригодным к дальнейшему использованию. Существующие методы восстановления отработавших свой срок обкаточных масел заключаются в их очистке от механических примесей и воды. При этом физические методы очистки позволяют удалять только крупнодисперсные загрязнения и свободную воду, а растворенные примеси остаются в масле, что ограничивает его повторное использование. Одной из задач разработки технологического процесса обкатки отремонтированных двигателей тракторов является рассмотрение возможности «щадящей» очистки отработавших обкаточных масел.

В предлагаемый состав обкаточного масла входят карбамид, олеиновая кислота и графены, что предопределяет определенную сложность процесса очистки. То есть в процессе удаления примесей, смол, продуктов окисления важно не только полностью удалять механические примеси, стружку, воду, но и максимально сохранять состав внешних добавок. При использовании физических средств очистки и известных технологий из масла могут быть удалены вместе с механическими примесями кристаллы карбамида и графена, что в нашем случае является отрицательным фактором для повторного использования разработанного состава обкаточного масла. В связи с этим рассматривался технологический процесс очистки предлагаемого состава отработавшего в двигателе масла в «щадящем» режиме на установке УОМ-3М. Проработавшее в двигателе загрязненное обкаточное масло заправлялось в емкость установки, нагревалось до температуры 135°C для перевода кристаллов в «жидкое» состояние, и проводилась очистка масла при давлении $5 \pm 0,5$ кгс/см² и частоте вращения роторов центрифуги 4000-5000 об/мин.

В таблице 2 представлены результаты исследований по очистке отработавшего в двигателе Д-240 экспериментального обкаточного масла.

Таблица 2. Показатели эффективности очистки обкаточного масла

Показатели	Значения		
	Исходное обкаточное масло	Масло после обкатки в ДВС	Масло после очистки
Вязкость кинематическая, мм ² /с	10,2	10,8	10,5
Содержание механических примесей, %	0,05	0,4	0,03
Содержание нерастворимых осадков, %	0,015	0,28	0,02
Содержание воды, %	Отсутствует	0,10	Отсутствует
Кислотное число, мг КОН/г	2,0	1,85	1,6
Щелочное число, мг КОН/г	2,2	2,0	1,8
Противоизносные свойства $D_{и}$, мм	0,285	0,605	0,299
Цвет, балл ед. ЦНТ	5	5	5

Анализируя полученные результаты, следует отметить, что в процессе очистки кинематическая вязкость практически не изменилась и осталась в допустимых значениях для обкаточных масел. Содержание механических примесей изменилось с 0,4% в масле после обкатки до 0,03% после очистки. Содержание нерастворимых осадков снизилось с 0,28 до 0,02%. Кислотное число масла уменьшилось на 15%. Противоизносные свойства масла после очистки снизились по сравнению с исходным маслом на 5%, но увеличились более чем в два раза по сравнению с маслом после обкатки.

Выводы

На основании проведённых исследований разработан новый состав обкаточного масла на основе отработанного моторного масла.

Использование предложенного состава позволяет повысить эффективность послеремонтной обкатки двигателей тракторов на 15-20%, увеличить срок службы отремонтированной техники на 20-30%, решать задачи эффективного использования ресурсов и снижения загрязнённости окружающей среды отработанными маслами.

Библиографический список

1. Венцель С.В. Применение смазочных масел в двигателях внутреннего сгорания : учебник / С.В. Венцель. – Москва : Химия, 1979. – 238 с.
2. Воинов Н.П. Подбор смазочных масел для обкатки двигателей и механизмов : учеб. пособие / Н.П. Воинов. – Москва-Ленинград : Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы, 1950. – 86 с.
3. Дунаев А.В. Системное применение триботехнологий на всех этапах жизненного цикла машин и оборудования / А.В. Дунаев // Труды ГОСНИТИ. – 2013. – № 2. – С. 88-91.
4. Кулиев А.И. Химия и технология присадок к маслам и топливам / А.И. Кулиев. – 2-е изд., перераб. – Ленинград : Химия, 1985. – 312 с.
5. Мельников А.Ф. Эффективность применения присадок на основе частиц твёрдых материалов при приработке деталей двигателей внутреннего сгорания / А.Ф. Мельников // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – № 4 (3). – С. 1116-1118.
6. Остриков В.В. Современные технологии и оборудование для восстановления отработанных масел / В.В. Остриков, А.Н. Зазуля, И.Г. Голубев. – Москва : ФГНУ «Росинформротех», 2001. – 60 с.

7. Применение наноматериалов при техническом сервисе автотракторной техники / В.В. Сафонов, В.А. Александров, С.А. Шишурин, С.А. Азаров // Вестник ФГОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». – 2009. – № 3. – С. 62–66.
8. Присадки к маслам : в 2 т. ; под ред. С.Э. Крейна [и др.] // Труды Второго Всесоюз. науч.-техн. совещания. – Москва : Химия, 1966-1968. – Кн. 1. – 1966. – 400 с.
9. Сазонова Д.Д. Оценка технической эффективности фермерских хозяйств / Д.Д. Сазонова, С.Н. Сазонов // АПК России. – 2014. – Т. 69. – С. 117–125.
10. Теоретические основы химмотологии / А.А. Братков, Г.С. Шимонаев, А.Ф. Горенков и др. ; под ред. А.А. Браткова. – Москва : Химия, 1985. – 315 с.
11. Храмцов Н.В. Обкатка и испытание автотракторных двигателей / Н.В. Храмцов, А.Е. Королев, В.С. Малаев. – Москва : Агропромиздат, 1991. – 125 с.
12. Шаронов Г.П. Применение присадок к маслам для ускорения приработки двигателей / Г.П. Шаронов ; ред. В.И. Казарцев. – Москва-Ленинград : Химия, 1965. – 223 с.
13. Scalable Production of Graphene Sheets by Mechanical Delamination / C. Knieke [et al.] // Carbon. – 2010. – Vol. 48, No. 11. – P. 3196–3204.
14. Tabor D. The Hardness of Metals / D. Tabor. – London : Cleardon Press, 1951. – 175 pp.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Валерий Васильевич Остриков – доктор технических наук, зав. лабораторией использования смазочных материалов и отработанных нефтепродуктов, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Российская Федерация, г. Тамбов, тел. 8(4752) 44-65-36, E-mail: viitinlab8@bk.ru.

Сергей Николаевич Сазонов – доктор технических наук, профессор, зав. лабораторией использования производственных ресурсов в фермерских хозяйствах, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Российская Федерация, г. Тамбов, тел. 8(4752) 44-64-24, E-mail: snsazon@mail.ru.

Дмитрий Игоревич Афанасьев – инженер лаборатории использования смазочных материалов и отработанных нефтепродуктов, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Российская Федерация, г. Тамбов, тел. 8(4752) 44-65-36, E-mail: viitinlab8@bk.ru.

Алла Владимировна Забродская – младший научный сотрудник лаборатории использования смазочных материалов и отработанных нефтепродуктов, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», Российская Федерация, г. Тамбов, тел. 8(4752) 44-65-36, E-mail: viitinlab8@bk.ru.

Дмитрий Николаевич Афоничев – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой электро-техники и автоматики, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Российская Федерация, г. Воронеж, тел. 8(473) 253-75-35, E-mail: et@agroeng.vsau.ru.

Дата поступления в редакцию 16.01.2017

Дата принятия к печати 26.02.2017

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Valeriy V. Ostrikov – Doctor of Engineering Sciences, Head of Lubrication Materials and Processed Oil Products Management Laboratory, All-Russian Research Institute for Application of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Russian Federation, Tambov, tel. 8(4752) 44-65-36, E-mail: viitinlab8@bk.ru.

Sergey N. Sazonov – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of Production Resources Application in Farming Laboratory, All-Russian Research Institute for Application of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Russian Federation, Tambov, tel. Tambov, Russian Federation, tel. 8(4752) 44-64-24, E-mail: snsazon@mail.ru.

Dmitriy I. Afanasiev – Engineer, Lubrication Materials and Processed Oil Products Management Laboratory, All-Russian Research Institute for Application of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Russian Federation, Tambov, tel. 8(4752) 44-65-36, E-mail: viitinlab8@bk.ru.

Alla V. Zabrodskaya – Junior Research Scientist, Lubrication Materials and Processed Oil Products Management Laboratory, All-Russian Research Institute for Application of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Russian Federation, Tambov, tel. 8(4752) 44-65-36, E-mail: viitinlab8@bk.ru.

Dmitriy N. Afonichev – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Dept. of Electrical Engineering and Automation, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russian Federation, Voronezh, tel. 8 (473) 253-75-35, E-mail: et@agroeng.vsau.ru.

Date of receipt 16.01.2017

Date of admittance 26.02.2017