

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
Всероссийский научно-исследовательский институт использования
техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве
(ФГБНУ ВНИИТиН)

На правах рукописи



Кошелев Александр Викторович

**РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ СИСТЕМЫ
СМАЗКИ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ
МАШИН ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ СОСТАВОМ НА ОСНОВЕ
ОТРАБОТАННОГО МОТОРНОГО МАСЛА**

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного
комплекса

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор
Остриков Валерий Васильевич

Воронеж – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 ОБЗОР, ОБОБЩЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПРАКТИКИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ И ОЧИСТКИ СИСТЕМЫ СМАЗКИ ПРОМЫВОЧНЫМИ МАСЛАМИ.....	11
1.1 Анализ причин образования загрязнений на деталях двигателей тракторов, их состав и влияние на работу систем и механизмов.....	11
1.2 Оценка составов и свойств промывочных масел и жидкостей для удаления загрязнений из системы смазки ДВС.....	19
1.3 Способы, технологии и оборудование для удаления загрязнений из системы смазки и очистки деталей ДВС.....	25
1.4 Выводы, цель и задачи исследования.....	32
2 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ПРОМЫВОЧНОГО МАСЛА НА ОСНОВЕ ОТРАБОТАННОГО МОТОРНОГО МАСЛА И АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЕГО МОЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ.....	35
2.1 Теоретические предпосылки разработки способа очистки и использования отработанного масла для промывки системы смазки ДВС.....	35
2.2 Обоснование гидродинамического процесса движения жидкости и перемешивания компонентов масла с добавками.....	46
2.3 Обоснование рациональных показателей оценки эффективности промывки системы смазки в реальных условиях эксплуатации.....	57
2.4 Выводы.....	61
3 МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	62
3.1 Оценка эффективности работы современных моторных масел и актуальности операции промывки системы смазки двигателей тракторов.....	62
3.2 Методика оценки величины отложений на поверхности металла в зависимости от загрязненности моторного масла.....	63
3.3 Методика рассмотрения процесса растворения загрязнений под действием товарного промывочного масла.....	64

3.4 Методика исследования возможности использования отработанного моторного масла в качестве основы промывочного масла.....	65
3.4.1. Выбор реагентов для коагуляции загрязнений в масле	66
3.4.2. Выбор рациональной схемы технологического процесса удаления примесей из отработанного моторного масла	69
3.5 Методика исследований по определению рационального состава промывочного масла	71
3.6 Исследование моющих свойств масел в устройстве, моделирующем работу системы смазки.....	73
3.7 Оценка противоизносных свойств составов промывочных масел	75
3.8 Определение элементного состава продуктов износа и загрязнений в промывочных маслах	76
3.9 Методика производственных испытаний экспериментального состава промывочного масла в двигателях тракторов	78
3.10 Методика исследований по восстановлению загрязненного промывочного масла для повторного применения	81
4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	84
4.1 Результаты исследований по оценке актуальности проведения операции промывки системы смазки двигателей тракторов от загрязнений	84
4.2 Результаты исследований по оценке динамики изменения свойств моторного масла и образования загрязнений от наработки	90
4.3 Определение характеристик и параметров процесса получения основы промывочного масла из отработанного моторного масла и разработка способа очистки	93
4.4 Результаты исследований по определению рационального состава промывочного масла на базе отработанного моторного масла.....	104
4.5 Исследование параметров процесса перемешивания базового масла с добавками	109
4.6 Моделирование процесса удаления загрязнений под действием промывочных масел	115

4.7 Результаты определения противоизносных свойств промывочных масел.....	117
4.8 Результаты определения элементного состава продуктов износа и загрязнений в маслах	120
4.9 Результаты сравнительных производственных испытаний разработанного состава и товарного промывочного масла.....	123
4.10 Восстановление характеристик загрязненного промывочного масла.....	130
4.11 Выводы.....	134
5 ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ОТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОСТАВА ПРОМЫВОЧНОГО МАСЛА НА ОСНОВЕ ОТРАБОТАННОГО ОЧИЩЕННОГО МОТОРНОГО МАСЛА	137
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	143
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	145
Приложение А	161
Приложение Б.....	164
Приложение В.....	165
Приложение Г	169
Приложение Д.....	170
Приложение Е	171
Приложение Ж.....	177

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Срок службы сельскохозяйственной техники во многом зависит от своевременного проведения операции технического обслуживания и ремонта.

В настоящее время в силу объективных и субъективных причин касающихся, прежде всего, слаборазвитой базы и приборного обеспечения для выполнения операций технического обслуживания, ограниченных финансовых возможностей основной массы сельскохозяйственных предприятий и некоторых других факторов, перечень регламентированных работ по обслуживанию и диагностике двигателей тракторов сужен до замены отработавшего свой срок моторного масла и масляных фильтров.

Во время работы двигателя, в масле накапливаются продукты его старения, сгорания топлива, разложения углеводородной основы масла. Одна часть из них удаляется встроенными в систему смазки средствами очистки, другая осаждается в виде смолистых соединений в масляных каналах, на днище картера [37]. Данные загрязнения и отложения возможно удалить, проводя операцию промывки системы смазки после слива отработанного моторного масла специальными промывочными маслами или технологиями и техническими средствами, предназначенными для выполнения данных работ [85].

Промывка системы смазки, как показывает практика эксплуатации тракторов, позволяет продлить срок службы ДВС до ремонта на 20-30% [105, 118].

Особенно актуальным выполнение операции промывки системы смазки становится для машин с высоким износом, большим сроком службы, при использовании топлив и масел с отклонениями от требований стандартов.

Несмотря на достаточно большое количество промышленно выпускаемых промывочных масел и жидкостей [110], они не нашли широкого применения в АПК при обслуживании двигателей сельскохозяйственных машин из-за своей высокой цены, а в некоторых случаях и недостаточной моющей способности при удалении загрязнений и отложений из системы смазки дизельных двигателей машин [124].

Решить все вышеперечисленные проблемы возможно разработкой новых подходов, предполагающих в первую очередь создание ресурсосберегающих технологий получения промывочных масел непосредственно в условиях предприятий АПК.

Одним из таких подходов и направлений может быть решение задачи использования отработанных моторных масел в качестве базовых масел, выбор и исследование компонентов добавок, повышающих моющие свойства масла.

До настоящего времени задача использования отработанных масел в качестве основы являлась практически не разрешаемой, так как отсутствовали доступные, простые, малозатратные и эффективные способы очистки отработанных масел от смол, продуктов окисления, адаптированные к условиям предприятий АПК.

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве» в рамках государственного задания № 075-01200-22-00 «Новые методы и средства рационального использования топлив, смазочных материалов и альтернативных источников энергии, оборудование и материалы для противокоррозионной защиты техники (FGSG-2022-0010)».

Степень разработанности темы. Вопросами повышения надежности техники и разработкой системы технического обслуживания машин занимались ученые: Авдонькин Ф.Н., Андронов А.М., Волков Д.П., Зорин В.А., Крамаренко Г.В., Крившин А.П., Кузнецов Е.С., Мартисов Ю.Л., Проников А.С., Саньков В.М., Турсунов А.А., Шейнин А.М., Ленский Л.А. и другие. Активную работу в этом направлении вел «Всероссийский научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка» (ГОСНИТИ).

Проблемам продления сроков службы изношенной техники, восстановления деталей машин, совершенствования технологий и технических средств очистки работающих и отработанных масел посветили свои многочисленные труды ученые: Григорьев М.А., Кадырметов А.М., Венцель С.Р., Лысиков Г.П., Фукс И.Г.,

Картошкин А.П., Рыбаков К.В., Стрельцов В.В., Сафонов В.В., Уханов А.П., Быстрицкая А.П., Лялякин В.П., Остриков В.В.

До настоящего времени отсутствовали технологии получения составов промывочных масел на базе отработанных масел. В литературных источниках практически отсутствует информация о закономерностях изменения свойств промывочных масел, возможности их повторного использования.

Объект исследования: технологические и динамические процессы, происходящие в масле и в системе смазки дизельного двигателя при удалении из него загрязнений, при приготовлении состава промывочного масла и в процессе его применения.

Предмет исследования: закономерности изменения свойств промывочного масла и характеристик дизельного двигателя в процессе удаления загрязнений из системы смазки.

Цель исследования: повышение эффективности использования масел в дизельных двигателях сельскохозяйственных машин.

Задачи исследования:

- оценить целесообразность промывки системы смазки дизельных двигателей сельскохозяйственных машин при использовании современных моторных масел с повышенными моющими свойствами;

- изучить процессы, происходящие при удалении из отработанных моторных масел загрязнений для их использования в качестве основы промывочного масла;

- обосновать рациональный состав промывочного масла, схему и параметры процесса смешивания основы с добавками, определить показатель эффективности промывки;

- провести экспериментальные исследования изменения свойств моторного масла в процессе эксплуатации двигателя, эксплуатационных свойств разработанного состава промывочного масла.

Научная новизна работы:

- предложен способ очистки отработанных минеральных масел посредством использования коагулянтов, отличающийся тем, что отстаившуюся верхнюю часть

масла декантируют в отдельную емкость, нагревают до 60-70 °С, после чего вносят *N*-метилпирролидон в количестве 10-20 об.% к объему очищаемого масла, полученную смесь перемешивают 5-10 минут и отстаивают 8-10 часов;

- установлена дифференциальная функция восстановления эффективности дизельного двигателя, отличающаяся эмпирическим определением компрессии и изменения цвета промывочного масла;

- обоснован состав промывочного масла на базе очищенного отработанного моторного масла с моющими добавками, отличающийся тем, что промывочное масло дополнительно содержит гидроксид аммония, карбамид, изопропиловый спирт, 3-гидрокси-3-карбокспентандиовую кислоту при следующем соотношении компонентов масс. %: диметилсульфоксид 1-3, дизельное топливо 1-3, изопропилат калия 1-3, изопропиловый спирт 1-3, гидроксид аммония 1-3, карбамид 0,5-1, 3-гидрокси-3-карбокспентандиовая кислота 0,5-1, очищенное отработанное минеральное моторное масло до 100;

- экспериментально установлены зависимости изменения содержания нерастворимого осадка в составе промывочного масла в зависимости от времени осаждения загрязнений и концентрации реагента (раствора карбамида в гидроксиде аммония), отличающиеся учетом свойств разработанного промывочного масла.

Теоретическую значимость работы представляют аналитические зависимости, позволяющие обосновать эффективные процессы получения из отработанного моторного масла аналога базового масла, определить рациональный состав промывочного масла и параметры процесса его получения (перемешивания), установить показатели эффективности моющего свойства масла.

Практическая значимость работы. Применение разработанного состава промывочного масла на основе очищенного отработанного моторного масла с добавками позволяет снизить затраты на приобретение дорогостоящих промывочных масел, продлить срок службы работающего, свежезаправленного моторного масла, снизить затраты на техническое обслуживание, эффективно решать вопросы ресурсосбережения и экологические проблемы в целом. Предложенный способ очистки отработанных минеральных масел позволяет

получать промывочные составы и эффективно использовать отработанные минеральные масла.

Методология и методы исследований. Теоретические и экспериментальные исследования включали в себя: моделирование на объектах, приближенных к реальным условиям, стендовые испытания на специально разработанном оборудовании и эксплуатационные в условиях сельскохозяйственного производства, лабораторные исследования. Оценка физико-химических характеристик масел проводилась по известным методикам ГОСТ и экспресс-методами контроля ФГБНУ ВНИИТиН.

Положения, выносимые на защиту:

- способ очистки отработанных минеральных масел посредством использования коагулянтов, позволяющий получать основу для приготовления промывочного масла;

- дифференциальная функция восстановления эффективности дизельного двигателя, позволяющая оценить эффективность дизельного двигателя по его компрессии;

- состав промывочного масла на базе очищенного отработанного моторного масла с моющими добавками, позволяющий продлить срок службы моторного масла;

- зависимости изменения содержания нерастворимого осадка в составе промывочного масла в зависимости от времени осаждения загрязнений и концентрации реагента (раствора карбамида в гидроксиде аммония), позволяющие обосновать возможность повторного использования промывочного масла.

Степень достоверности и апробация результатов исследования. Достоверность результатов подтверждается сходимостью теоретических предположений с результатами, полученными в ходе экспериментальных исследований по разработке способа получения основы промывочного масла и состава с учетом действия моющих добавок, результатами моделирования процессов удаления загрязнений из системы смазки ДВС.

Разработанный ресурсосберегающий технологический процесс получения промывочных масел на базе отработанных моторных масел и разработанное оборудование для реализации процесса получения промывочных масел в условиях АПК апробированы и используются в сельскохозяйственных предприятиях Тамбовской области: ФГПУ ПЗ «Пригородный» Тамбовского округа и СХПК «Борец» Сампурского округа, и получили высокую оценку у специалистов инженерно-технической службы хозяйств (приложения Г, Д).

Основные положения и результаты доложены, обсуждены и одобрены на международных и всероссийских конференциях: Международной научно-технической конференции (Саратов, 2022 г.); Всероссийской научно-практической конференции молодых исследователей (Тамбов, 2023 г.); Международной научно-практической конференции (Тамбов, 2021г.).

Личный вклад соискателя заключается в определении цели и задач исследования, анализе состояния вопроса, разработке и внедрении технологического процесса приготовления промывочного масла на основе отработанного очищенного моторного масла в производство, выборе методов исследований, анализе полученных результатов, формулировке выводов, выполненных лично автором; в проведении теоретических и экспериментальных исследований, разработке методики производственных испытаний, выполненных при участии автора; подготовке научных публикаций по теме диссертации.

Публикации. По результатам проведенных исследований опубликовано 18 научных статей, в том числе 10 – в журналах, включенных в перечень ВАК, получено 2 патента на изобретения: «Промывочное масло» RU 2805073 C1 (приложение Д), «Способ очистки отработанных моторных минеральных масел» RU 2818564 C1 (приложение Г). Результаты проведенных исследований отражены в одной монографии.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, заключения, приложений и списка используемой литературы, который включает 150 наименований. Работа изложена на 181 странице машинописного текста и содержит 67 рисунков, 15 таблиц, 5 приложений.

1 ОБЗОР, ОБОБЩЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПРАКТИКИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ И ОЧИСТКИ СИСТЕМЫ СМАЗКИ ПРОМЫВОЧНЫМИ МАСЛАМИ

1.1 Анализ причин образования загрязнений на деталях двигателей тракторов, их состав и влияние на работу систем и механизмов

В процессе работы двигателя трактора на деталях цилиндрико-поршневой группы и внутренних поверхностях образуются загрязнения [3, 135].

Образование загрязнений и шламов в системе смазки в конечном результате снижает эксплуатационные показатели двигателя внутреннего сгорания, а в некоторых случаях является причиной повышенного износа деталей или даже выхода их из строя [4, 9, 31].

Смыв загрязнений с деталей двигателя потоком масла переводит часть примесей в моторное масло, что снижает срок его службы до замены, и как установлено рядом исследований, интенсифицирует процесс его старения по сравнению с работой масла в двигателе с минимальным количеством загрязнений [8, 18, 64].

На основании представленного анализа основных причин образования загрязнений и отложений в двигателе, возможно выявить первоочередные факторы.

Таковыми факторами являются:

-не отвечающие высоким требованиям моюще-диспергирующие свойства моторного масла в совокупности с недостаточной эффективностью работы встроенных в систему смазки средств фильтрации;

-использование дизельного топлива, имеющего утяжеленный фракционный состав и высокое содержание смол и серы;

-неудовлетворительное техническое состояние ДВС и износ основных деталей цилиндрико-поршневой группы [33, 45, 62].

Для оценки причин и выявления наиболее значимых из них проведем анализ на основании материалов, изложенных в доступной литературе, рассмотрим имеющиеся результаты исследований в данном направлении.

Дизельное топливо, производимое крупными нефтеперерабатывающими компаниями, отвечает требованиям ГОСТ и ЕВРО стандартов [109]. Однако часть топлива производится на мини заводах по ТУ и реализуется коммерческими структурами по более низкой цене. Оно содержит в своем составе тяжелые фракции, парафины и т.д. [59, 91]. Немаловажным фактором, установленным ФГБНУ ВНИИТиН, является изменение свойств топлив в процессе их хранения на базах и нефтескладах сельскохозяйственных предприятий [79, 82, 83, 84]. На процесс образования отложений при сгорании топлива в цилиндрах двигателя значительное влияние оказывает утяжеленный фракционный состав топлива [66, 86].

Дизельное топливо утяжеленного фракционного состава перегоняется при температуре свыше 370°C . На хорошо прогретых стенках цилиндров оно способно в процессе сгорания образовывать смолистые вещества, которые попадают под маслосъемные кольца или в моторное масло, ускоряя износ деталей ЦПГ. Высокие нагрузки и тепловые режимы работы двигателя также способствуют окислению моторного масла [127, 128, 132].

Антиокислительные и моющие присадки, присутствующие в моторном масле с течением времени выгорают, к тому же при взаимодействии с кислородом воздуха ускоряется образование карбеновых кислот и других соединений [58, 65, 74, 88].

Процесс окисления масла происходит и в зоне контакта масла с зеркалом цилиндра при контакте капель масла с нагретыми стенками гильз при их разбрызгивании в картере [23, 47].

При движении поршня вниз, маслосъемное кольцо не снимает абсолютно весь слой масла, верхняя часть масла остается на стенках цилиндра и под воздействием высоких температур выгорает и удаляется из двигателя, при этом

часть его все же остается и при последующем движении поршня вверх смешивается со следующей порцией масла возвращаясь окисленным в поддон картера [102].

При взаимодействии серы и воды, присутствующих в топливе и моторном масле, при высоких температурах образуется серная кислота, снижающая моющие свойства масла. Происходит своего рода нейтрализация, а в конечном результате разрушается структура масла с образованием осадка [56, 63].

Температурные факторы, как отмечалось ранее, оказывают значительное влияние на процесс окисления и образования смол при температуре 50-60°C, в масло может попадать не сгоревшее топливо, не испарившаяся вода (если присутствует), то есть работа не прогретого двигателя приводит к снижению эффективности процесса сгорания смеси, что может вызвать образование нагаров и шламов.

При более высокой температуре 80-90°C также может происходить окисление масла и образование смолистых отложений, которые в дальнейшем способны образовывать отложения на деталях ЦПГ и в масле.

При температуре 150°C и выше, образование загрязняющих примесей в масле более активно и на поверхностях основных деталей ЦПГ не исключается образование отложений высокой твердости.

Нагар от коричневого до черного цвета способен формироваться на деталях ЦПГ (юбке поршня, головке поршня) когда температура находится в диапазоне от 200 до 400 °C в момент полимеризации моторного масла [43, 142].

Однако данный факт взаимосвязан не только с качеством используемого масла, но и в большей степени зависит от износа деталей, повышения температуры из-за трения. Образование загрязнений и смолистых соединений в масле, при работе его в изношенном двигателе, сопряжено со снижением компрессии на 10–15%, увеличению расхода топлива на 5 – 10%, потере мощности ДВС на 15 – 20%.

Большей частью нагара является зола, представляющая собой продукты сгорания металлосодержащих присадок, доля которых в современных моторных маслах все больше увеличивается [48]. Нагар на стенках камеры сгорания, днище поршня, каналах в большей степени зависит от характеристик топлива. По мере

наработки двигателя толщина слоя нагара может увеличиваться и в какой-то момент происходит растрескивание, вспучивание и даже отрыв частиц, по твердости не уступающих металлу. На рисунке 1.1 представлена некоторая обобщенная зависимость изменения толщины слоя нагара от температуры поршня.

Отметим, что данная зависимость, в первом приближении, не является закономерностью.

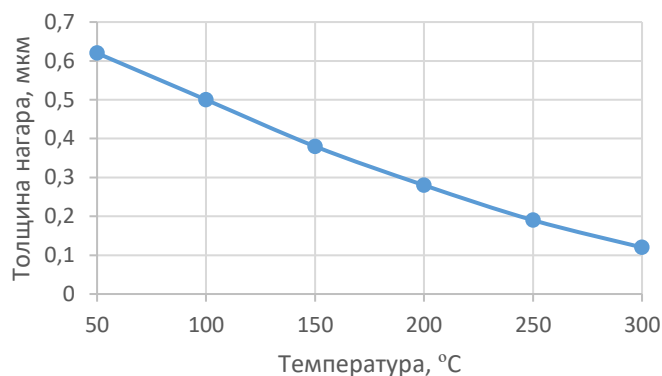


Рисунок 1.1 – Зависимость изменения толщины слоя нагара от температуры

Анализируя зависимость 1.1 можно с определенной достоверностью утверждать, что толщина слоя нагара на деталях ЦПГ с повышением температуры уменьшается. Однако данные значения могут изменяться в зависимости от большого количества факторов и в первую очередь от технического состояния двигателя, износа деталей, качества используемого топлива и масла. На рисунках 1.2, 1.3 показаны фото фрагментов образующихся нагаров на поверхностях поршня.



Рисунок 1.2 – Поршень двигателя с повышенным угаром масла



Рисунок 1.3 – Загрязнения и нагар на поршне двигателя в зоне поршневых колец

Особенно отметим смолистые отложения в зонах поршневых колец. Засмоление, закоксовывание канавок снижает или вообще прекращает их подвижность. Ухудшается прижим колец к стенкам гильз цилиндров, тем самым снижается компрессия и в целом мощность двигателя, повышается расход моторного масла, увеличивается прорыв газов в картер двигателя [122, 126, 133].

Данные отложения в виде мазеподобных субстанций и лаков, отчасти вследствие полимеризации слоя масла также снижают отвод тепла с поверхности шатунов и поршневых колец.

Снижение подвижности маслосъемных колец, и их закоксовывание под действием смолистых соединений может влиять на толщину масляной пленки, что в свою очередь вызывает повышение температуры на поверхности деталей и далее интенсифицирует процесс износа.

На рисунке 1.4 показана зависимость образования лаков и отложений на боковых поверхностях поршней от температуры нагрева. То есть существует определенная взаимосвязь, установленная многочисленными исследованиями и наблюдениями - чем ниже температура, тем меньше лаков, и отложений оседает на деталях двигателя [80, 81].

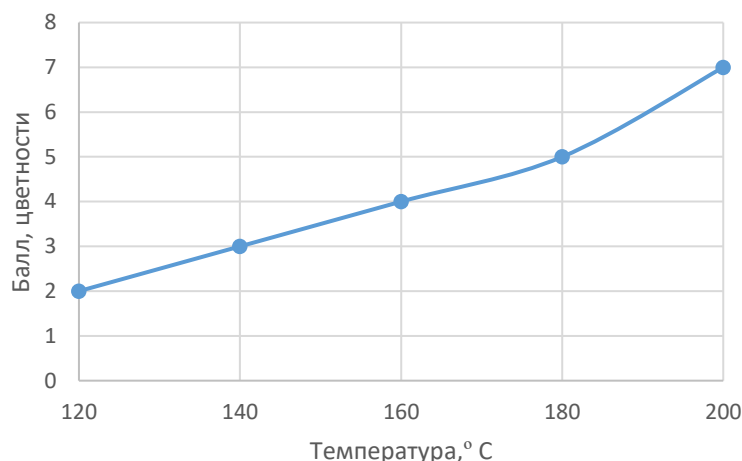


Рисунок 1.4 – Зависимость изменения цвета образующихся лаковых отложений на боковых поверхностях поршня

Рассмотренные выше факторы образования нагаров, лаков, смолистых отложений в большей степени являются следствием совокупности причин их образования - высокий износ деталей, низкое качество используемого дизельного топлива и моторного масла. Их можно считать критичными.

В условиях, когда двигатель имеет не запредельно длительный срок эксплуатации, удовлетворительное качество топлива и масла, характер отложений и загрязнений может отличаться. При этом следует выделить роль моюще-диспергирующих присадок. В литературных источниках очень кратко и не в полной мере описано их значение, например при переходе от широко используемых в двигателях тракторов моторных масел М-10Г₂ и М-8Г₂ на современные моторные масла М-10ДМ и т.д. с улучшенными моющими свойствами. По утверждению ученых ФГБНУ ВНИИТиН, первоочередную роль в образовании отложений на деталях ЦПГ играет моторное масло [93, 104].

По мере увеличения наработки моторного масла в нем, как уже отмечалось, накапливаются продукты сгорания топлива, окисления масла и т.д. [77, 95]. Моюще-диспергирующие присадки выгорают, при этом снижаются моющие свойства масла, неизбежно увеличивается риск образования смолистых и лаковых отложений, однако при высоких исходных моющих характеристиках моторного

масла, толщина слоя нагара и загрязнений будет минимальной и удалить их с поверхностей деталей будет значительно легче, например промывкой системы смазки при выполнении операции технического обслуживания [34]. Как отмечалось в представленных результатах анализа состояния вопроса кроме лаковых и смолистых отложений могут образовываться и шламы. Шламы, образующиеся в двигателях тракторов, комбайнов, дизельных грузовых автомобилей, где в основном используется моторное масло М-10Г₂, М-10ДМ (более 70% всей техники АПК) которое содержит большое количество сажевых элементов. [52, 68]. Как правило шламы «формируются» в масляных картерах и чаще всего под действием неиспарившейся воды или охлаждающей жидкости. Шламы представляют собой сгустки загрязнений 100 мкм и более, и имеют свойство уплотняться на дне масляного картера [123, 125].

На рисунке 1.5 (а, б) представлены фотографии шламовых отложений на дне масляных картеров, полученные при проведении исследований лаборатории «Использования смазочных материалов и отработанных нефтепродуктов» ФГБНУ ВНИИТиН непосредственно при разборке двигателей после слива масла в ремонтно-техническом предприятии АО «Некрасовское» Рассказовского округа Тамбовской области.



а)



б)

а – осадок в картере двигателя МТЗ – 82 (Д – 240);

б – осадок в картере двигателя ЛТЗ Т – 40

Рисунок 1.5 – Общий вид загрязнений картеров двигателей тракторов после слива масла

Шлам в картере двигателя может влиять на вязкость моторного масла в сторону ее увеличения, вызывать закупоривание масляных каналов и т.д. [112].

При замене отработавшего свой срок моторного масла, после заправки свежего, шлам смешивается со свежезаправленным маслом. То есть до начала работы в двигателе моторное масло уже изменяет свои свойства – увеличивается содержание смол, продуктов окисления. Как правило данный факт во многом зависит от проведения операции промывки системы смазки перед заменой отработанного моторного масла на свежее. Эта информация также слабо освещена в литературных источниках. В следствии недостаточной вентиляции под крышкой газораспределительного механизма также может происходить шламообразование.

На рисунке 1.6 показаны факты шламообразования.



Рисунок 1.6 – Внешний вид образующихся шламовых отложений

В процессе работы ДВС эти шламы и загрязнения могут поступать в масло, снижая срок его службы до замены.

Анализируя причины образования загрязнений на деталях двигателей тракторов установлены основные, к которым следует отнести техническое состояние, износ цилиндро-поршневой группы, утяжеленный фракционный состав топлива, и содержание в нем серы, не отвечающее эксплуатационным требованиям моторное масло, не своевременное проведение операции ТО, отказ от операции

промывки системы смазки перед заправкой свежего масла, после слива отработанного [89, 92].

В настоящей работе во главу угла решения проблемы снижения загрязненности деталей двигателя ставится задача их удаления с помощью промывки системы смазки.

С учетом существующих проблем, первоочередной является задача удаления загрязнений промывочными маслами на основе отработанных моторных масел.

Как показал анализ доступной информации, в этом направлении в настоящее время отсутствуют технологии, позволяющие проводить промывку системы смазки в условиях ремонтных мастерских [107, 116, 137, 149].

Для начала обсуждения и возможности проведения исследований и разработки технологии рассмотрим составы и свойства промывочных жидкостей и масел.

1.2 Оценка составов и свойств промывочных масел и жидкостей для удаления загрязнений из системы смазки ДВС

Как показывает анализ состояния вопроса, в двигателях тракторов, особенно изношенной техники при использовании топлив и масел с отклонениями от требований стандартов накапливаются загрязнения, способные снизить эксплуатационные характеристики машины, увеличить затраты на ее ремонт [103].

Одним их наиболее доступных способов предотвращения накопления загрязнений в системе смазки, является ее промывка при проведении операции ТО.

Рассмотрим состав и свойства промывочных масел, предназначенных для удаления загрязнений из системы смазки.

Нефтеперерабатывающие заводы компании «Роснефть» выпускают в ограниченном количестве специальное промывочное масло «Rosneft Express».

Масло имеет основные показатели:

- вязкость кинематическая при 40 °С – 31,7 мм/с²;
- температура вспышки - 210°С;

- плотность при 15°C – 883 г/см³.

Производитель не указывает другие характеристики. В описании предоставляется краткая информация о высоких моющих свойствах и содержании специальных присадок, а также способ применения, заключающийся в том, что двигатель прогревается, после чего производится слив отработанного масла.

Далее через заливную горловину в картер заправляется промывочное масло. Двигатель запускают и дают ему возможность поработать на холостом ходу 15-20 минут с последующим сливом промывочного масла и заправкой свежего [61].

Масло желтовато-коричневого цвета, прозрачное на вид и рекомендуется для промывки систем смазки бензиновых и дизельных двигателей.

К недостаткам масла (не рассматривая его моющие способности) следует отнести высокую стоимость его приобретения, например для промывки двигателей тракторов с объемом картера 15- 20 литров.

Gazpromneft Promo – автомобильное сервисное масло, предназначенное для промывки двигателя во время проведения ТО. При замене масла оно может быть использовано как в бензиновых, так и в дизельных двигателях [106]. В таблице 1.3 представлены некоторые характеристики масла.

Таблица 1.1 – Технические характеристики масла Gazpromneft Promo

Показатели	Значения
Плотность при 20 °C г/см ³	885
Температура вспышки в открытом тигле, °C	232
Температура потери текучести, °C	-19
Кинематическая вязкость мм ² /с при 100°C	9,9

Отмечено, что в состав масла входят дисперсанты и детергенты, повышающие эффективность удаления загрязнений, нагаров, лаковых отложений и смолистых соединений с деталей двигателей в том числе и из поддона картера.

В доступной литературе отсутствуют какие-либо данные об эффективности промывки двигателей тракторов.

Промывочная жидкость «ZIC FLUSH» на синтетической основе предназначена для промывки внутренних поверхностей двигателя от остатков, образующихся после слива отработанного масла.

По заявлению разработчиков благодаря пакету присадок удаляются лаковые и мазеподобные отложения.

В качестве характеристик масла представлены следующие:

- кинематическая вязкость, мм²/с при 40°C - 22,3 мм²/с²;
- кинематическая вязкость, мм²/с при 100°C – 4,7 мм²/с²;
- температура вспышки в открытом тигле - 212 °C;
- плотность при 15 °C - 0,84 г/см³

Разработчик не приводит данные об отличительных особенностях присадок. Масло имеет высокую цену приобретения, что увеличивает затраты на ТО и не нашло применения в предприятиях АПК.

Промывочное масло на минеральной основе «Лукойл» позволяет очищать тончайшие масляные каналы, имеет относительно низкую вязкость и содержит присадку ZDDP.

К основным физико-химическим характеристикам, указанным на упаковке, относятся:

- температура вспышки - 237⁰C;
- вязкость кинематическая при 100⁰C – 8,81 мм²/с
- индекс вязкости – 96.

В процессе использования разработчик рекомендует после слива отработанного масла заправить промывочное масло, запустить двигатель и дать ему поработать на холостом ходу 15-20 минут. Далее слить промывочное масло, заправить свежее моторное масло заменив при этом масляный фильтр.

Промывочное масло «Волга-Ойл» имеет удовлетворительные защитные и моющие свойства. Цвет масла более прозрачный по сравнению с вышеперечисленными образцами. В сопроводительной информации указывается, что масло позволяет удалять продукты износа, остатки отработанного масла, нагар.

При этом указываются характеристики масла:

- кинематическая вязкость при 100⁰С – 5,31 мм²/с;
- температура вспышки - 220⁰С;
- плотность при 15⁰С – 0,870 г/см³.

Производитель указывает условия применения. Вся информация в большей степени касается промывки бензиновых двигателей.

Масло на минеральной основе «ТНК Промо Стандарт» в составе имеет полифункциональные присадки и по заявлению разработчиков и изготовителей способно очищать все полости системы смазки от механических примесей, нагаров, смол.

Характеристики масла:

- кинематическая вязкость при 100⁰С – 8 мм²/с;
- температура вспышки - 217⁰С;
- плотность при 15⁰С – 0,881 г/см³.

Анализируя данные, представленные в информационных источниках, можно утверждать, что товарные промывочные масла имеют в своем составе базовое масло, основу и некоторые моющие добавки. В качестве основы используются в большей части минеральные индустриальные масла (И-8А, И-12А, И-20А), их соотношение превышает 90% и более, что собственно и определяет отчасти ценовой диапазон масла.

Обобщая анализ свойств товарных промывочных масел следует отметить, что в документах, представленных изготовителями указаны лишь некоторые их физико-химические характеристики и отсутствует информация о присадках и добавках, повышающих моющие свойства основы масла. Не представлены данные о технологическом процессе их получения. Далее рассмотрим информацию, представленную в патентах на изобретения составов промывочных жидкостей.

Универсальный концентрат промывочной жидкости (патент №22131331) для мойки камер сгорания от прочносвязанных отложений содержит смесь полиоксиэтиленгликолевых эфиров, синтетических первичных жирных спиртов.

Недостатком данного состава является сложность его приготовления, а присутствие бензина может вызвать отрицательные эффекты при промывке систем смазки дизельных двигателей.

В состав моющего средства для очистки двигателей внутреннего сгорания, согласно патенту на изобретение №2230100 входят этоксилаты С8- или С9-алкилфенолов, содержащих 10-12 этоксильных групп 25-50; ди- и/или триэтиленгликоль 30-65; С2 - С4 - алкиловые эфиры триэтиленгликоля до 100%.

Промывочное масло, разработанное специалистами Новокузнецкого завода масел и присадок, имеет нефтяную основу с включениями сульфоната кальция 2,5-4,5 масс. % и сукцинимидной присадкой 0,5-1,5 масс. %.

В описании изобретения не приводятся убедительных данных практического применения состава в дизельных двигателях сельскохозяйственной техники.

ЗАО «Поликом» разработал состав для удаления смолистых, коксовых и иных отложений при промывке двигателей внутреннего сгорания (патент №2220191). В состав входят растворители, включающие азот, серу, парафиновые и нафтенновые углеводороды, ПАВ.

Ново-Уфимским нефтеперерабатывающим предприятием предложен состав промывочного масла (патент №97118251), включающий присадки: депрессорную, сукцинимидную, алкилсалицилатную, диалкилдитилфосфатную, сульфонатную и кремниорганическую. Разработчики приводят обоснование состава и позиционируют повышение эффективности промывки систем смазки.

Не отрицая эффективность действия вышеперечисленных присадок следует обратить внимание на их многообразие, что влечет высокие затраты на получение состава.

Новокуйбышевским нефтеперерабатывающим заводом разработано промывочное масло (патент №94017625), содержащее 40-80 масс. % нейтрального сульфоната кальция, остальное алкилбензол и масляная основа. Состав предназначен для удаления из системы смазки легких смолистых отложений.

Специалистами ВНИИ НП (г. Москва) разработан состав промывочного масла (патент RU 2218983) содержащий нейтральный сульфонат кальция 2,5...4,5%, нефтяная основа – до 100%.

В результате анализа составов и свойств товарных промывочных масел, а также перспективных разработок не найдена информация о противоизносных свойствах масел. В процессе кратковременной работы промывочного масла в ДВС тракторов происходит увеличение температуры на поверхностях деталей, а недостаточно высокие смазывающие свойства масел не позволяют обеспечить формирование требуемой толщины масляной пленки на поверхности трения, что в конечном результате значительно увеличивает износ деталей ЦПГ даже в кратковременном режиме работы.

Проведя анализ состояния вопроса по составам и свойствам промывочных масел в первую очередь следует отметить:

- разработанные и реализуемые промывочные масла практически не применяются для очистки систем смазки двигателей тракторов из-за их высокой цены, сопоставимой с ценой на свежее моторное масло и недостаточной эффективности;

- при рассмотрении составов промывочных масел не выявлены малозатратные, ресурсосберегающие технологии и промывочные масла на основе отработанных моторных масел;

- разработчики составов практически не раскрывают возможности повторного использования промывочных масел после их очистки, регенерации и т.д. [102].

Следует обратить особое внимание на работу современных моторных масел на минеральной и синтетической основе с повышенными моющими свойствами. Стоит признать тот факт, что современные моторные масла способны практически полностью защитить двигатель от образования загрязнений и отложений на период наработки 250...300 часов в технически исправных, не изношенных двигателях за счет улучшенных моющих свойств.

Важно отметить, что невозможно достоверно установить в какой период наработки происходит выгорание моюще-диспергирующих присадок.

Данная задача является сложной и практически трудноисполнимой как для ученых, так и для практиков по понятным причинам. В соответствии с этим она не ставится. Есть понимание что чем эффективнее действие моюще-диспергирующих присадок, тем менее актуальной становится операция промывки системы смазки.

Тем не менее представляют научный и практический интерес разработки и заявления ученых и производителей о превосходных свойствах моторных масел.

В условиях современного сельскохозяйственного производства, а именно реального состава и состояния стареющего, изношенного парка тракторов следует отдельно рассмотреть состоятельность и необходимость проведения операции промывки системы смазки при использовании современных дорогостоящих масел.

1.3 Способы, технологии и оборудование для удаления загрязнений из системы смазки и очистки деталей ДВС

Как уже отмечалось очистка и удаление загрязнений являются важным технологическим процессом, влияющим на эксплуатационные и технико-экономические показатели двигателя.

Исключение или отказ от операции промывки системы смазки значительно снижает его надежность [119].

Для оценки возможности и эффективности удаления загрязнений с поверхности деталей рассмотрим основные способы, технологии и технические средства мойки.

Одним из наиболее распространенных способов промывки является «ручная» промывка с использованием специальных (моющих) средств. Способ используется при разборке деталей и узлов ДВС как в условиях специализированных ремонтных заводов, так и в ремонтных мастерских сельскохозяйственных предприятий. Способ является достаточно эффективным, но трудоемким.

Как известно, для повышения эффективности процесса промывки, важным является не допускать высокий уровень загрязненности деталей ДВС, а это возможно только при выполнении определенных мер, и в первую очередь промывка системы смазки при замене отработанного свой срок моторного масла [190].

Способы очистки деталей с использованием оборудования и современных технологий можно разделить на: физико–химический, электрохимический, ультразвуковой, механический и термический [57].

Физико–химический способ мойки и очистки предполагает удаление загрязнений с деталей в специальных ваннах под действием струи водяного раствора, различных препаратов и растворителей. Условиями высокого качества процесса мойки является высокое давление струи, температура моющего раствора в диапазоне 75...95 °С и использование высокоэффективных растворителей [60].

Струйная очистка – совокупность механического, температурного и физико–химического воздействия на загрязненные поверхности деталей, протекающего в камерах проходного или тупикового типа.

На рисунке 1.7 представлена струйная моечная машина.

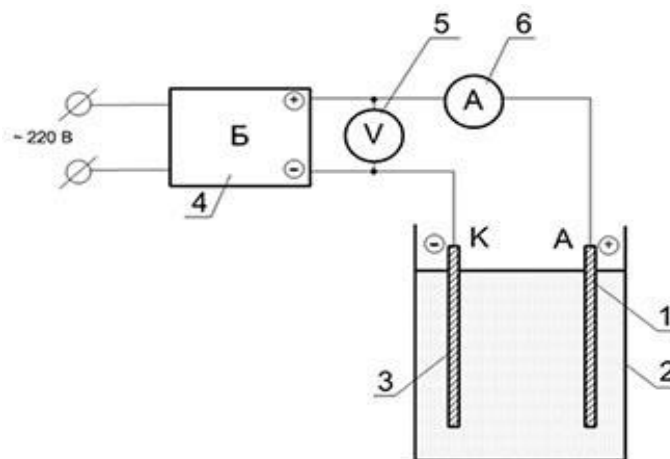


Рисунок 1.7 – Струйная моечная машина МПП

Очистка узлов и деталей погружением позволяет использовать специальные растворители: АМ–15, МК–3, эмульсии и т.д., за счет возбуждения раствора ультразвуковыми колебаниями, продувкой сжатым воздухом и др.

Виброабразивная очистка основывается на том, что в контейнер помещают абразивную среду и обрабатываемые детали. В результате на загрязнения воздействует энергия взаимодействия деталей и абразивной среды в моющем растворе. Электрохимическое воздействие применяют в специальном токопроводящем растворе (электролите) при переменном или постоянном токе. По мере увеличения силы тока процесс удаления загрязнений с одновременным обезжириванием улучшается. Деталь погружают в раствор кислот или, чаще всего, щелочей происходит электролиз воды с выделением водорода на катоде и кислорода на аноде. В результате деталь очищается благодаря механическому воздействию газа и эмульгированию загрязнений. Если деталь является катодом, то водорода выделяется больше, что в принципе повышает эффективность очистки. Не исключается, что в данном процессе может происходить наводороживание металла и последующее увеличение хрупкости металла.

На рисунке 1.8 представлена принципиальная схема электрохимической установки ЭХО.



1 – устройство для закрепления образцов (анод); 2 – емкость с электролитом; 3 – катод (нержавеющая сталь); 4 – блок питания; 5 – вольтметр;

6 – амперметр

Рисунок 1.8 – Схема установки ЭХО

Способ ультразвуковой очистки основан на передаче ультразвука от излучателя, образующейся энергии через жидкую среду к загрязненной поверхности детали. Колебания 20...25 кГц способствуют ускорению частиц и приводят к образованию в жидкой среде пузырьков, «микровзрывов», которые способствуют появлению гидравлических ударов, способствующих разрушению углеродистых, твердых отложений.

На рисунке 1.9 представлен общий вид ультразвуковой ванны. Данное устройство предполагает очистку мелких деталей и используется в основном на предприятиях, занятых гальванической обработкой.

В сельскохозяйственных предприятиях, в том числе в крупных ремонтно–механических заводах используется крайне редко.



Рисунок 1.9 – Общий вид ультразвуковой установки ПСБ–2835–05

Для удаления стойких отложений, нагаров, асфальтенов с деталей используют способ, называемый термическим. Деталь закоксованную, покрытую слоем смолистых отложений помещают в специальную печь, нагревают до температуры 600...700°C. Выдерживают в печи при данной температуре более 2 часов, после чего постепенно понижают температуру в печи до полного остывания.

В некоторых случаях нагар можно удалить посредством выжигания пламенем, при этом данному способу подвергаются только «тугоплавкие» детали, не подверженные короблению.

Данные термические способы не исключают изменений в структуре металлов, изменение их различных характеристик и т.д.

Механический способ очистки деталей является одним из самых простых и не требует применения сложного, дорогостоящего оборудования, высокого уровня квалификации исполнителя.

Механическая обработка деталей заключается в очистке поверхности от загрязнений скребками, металлическими щетками и другими приспособлениями.

Следует отметить, что несмотря на простые элементы технологии смыва, с ее помощью не удастся удалять твердые отложения, образующиеся под действием высоких температур.

Рассмотренные способы очистки деталей от загрязнений относятся к технологиям очистки деталей после их разборки.

Однако, как доказано практикой использования, наиболее рациональным является подход и способы периодической очистки деталей без их демонтажа.

В данном случае речь идет о промывке системы смазки в период проведения операции технического обслуживания и замены отработавших свой ресурс моторных масел.

В разделе 1.2 состояния вопроса рассмотрены составы и свойства промывочных масел.

В данном подразделе кратко проанализируем технологические процессы промывки специальными маслами и жидкостями, оценим их основные достоинства и недостатки, используемое оборудование и приспособления.

Процесс промывки заключается в следующем. Двигатель запускается и работает на холостом ходу 15...20 минут для прогрева моторного масла. Сливаются отработанное моторное масло, заливается промывочное масло в том же объеме, что и рекомендован для моторного масла. Двигатель запускается и проводится промывка на холостом ходу в течение 15...20 минут. Далее промывочное масло сливается производится замена масляных фильтров, при их наличии, или же промывается центрифуга очистки масла. После этого в картер двигателя заливается свежее моторное масло [120, 130].

Следует учитывать, что промывочное масло, по сравнению с моторным, имеет несколько иные характеристики.

Промывочное масло (см. раздел 1.1, 1.2) не способно обеспечить длительную работу ДВС. Масло насыщено в первую очередь моющими присадками и добавками, предназначенными смывать, а не защищать.

Химическая промывка двигателя получила распространение последние 10...15 лет и используется для промывки двигателей легковых автомобилей. Для промывки используются агрессивные химические соединения, которые добавляются в двигатель перед заменой масла. После добавления в работавшее моторное масло производят запуск двигателя, с дальнейшей его работой, чаще на холостом ходу 5–10 минут. Далее производят слив масла, замену фильтра и заправку свежего масла. При использовании «пятиминутки» следует учитывать ее агрессивный состав [145].

По заявлению разработчиков состав и технологии промывки способствуют профилактике появления загрязнения деталей двигателя.

Химическая промывка «пятиминутками» не получила распространения для промывки двигателей большегрузных автомобилей и сельскохозяйственных машин.

Прежде всего отказ от применения химических добавок связан с высокой ценой препаратов, а объем промывочной жидкости в товарной упаковке рассчитан на малообъемные двигатели, с объемом масла в системе смазки 3–4 литра.

При том что в двигателях, используемых в АПК объем моторного масла, превышает 15 литров. Использование добавок в ценовом диапазоне сопоставимо с двукратной заправкой свежего масла. Эффективность промывочного действия химических добавок вызывает множество вопросов.

Существует направление «мягкой» промывки двигателя. В двигатель с отработавшим свой срок моторным маслом заливается специальная жидкость, как правило представляющая собой сольвент и моющие присадки. Концентрация добавки в масле минимальна. Двигатель работает в обычном режиме от 300 до 500 км. Также как вышеупомянутые добавки, технология рассчитана на промывку

бензиновых двигателей легковых автомобилей. После пробега 300...500 км масло с добавкой сливается, производится замена фильтра и заправка свежего моторного масла.

Рассматривая способы и технологии промывки систем смазки тракторов следует отметить, что до начала 90-х годов в АПК использовалось и специальное оборудование для промывки систем смазки при проведении операции технического обслуживания. Промывка с помощью установки для принудительной циркуляции жидкости по каналам системы смазки позволяет достаточно эффективно «отмыть» двигатель и снизить риск закупорки масляных каналов мазеподобными отложениями [42].

Из двигателя сливается отработанное моторное масло и снимается масляный фильтр. В резьбовое отверстие масляного фильтра вкручивается шланг, соединенный со специальной установкой. Следующий шланг от установки присоединяется к маслозаливной горловине, а резьбовой штуцер от третьего шланга вкручивается в отверстие для слива масла в поддоне картера. В специальный бак установки заправляется моющая жидкость.

Установки, как правило, снабжены собственным фильтром для очистки жидкости (например ОМ–2871).

Установка включается в сеть и под действием насоса в системе создается избыточное давление, которое способствует прокачиванию моющей жидкости по циклу в двигатель, а затем обратно в емкость установки.

На установках смонтированы специальные устройства для визуального контроля качества промывки по цвету в прозрачной трубе, изменению окраса моющей жидкости со светлых тонов до черных. Время очистки двигателя чаще всего не регламентировалось.

После завершения процесса промывки двигателя, все шланги установки отключают, после чего устанавливают на штатное место масляный фильтр и производят запуск двигателя на чистом (товарном) масле для удаления химически активных остатков промывочных жидкостей.

На рисунке 1.10 представлены некоторые виды установок для промывки системы смазки.



а)



б)



в)

а – установка Impact – 430; б – установка GA–322 ATIS; в – установка
NORDBERG GMT 32

Рисунок 1.10 – Установки для промывки системы смазки и замены масла в ДВС

Практически все рассмотренные способы и технологии промывки являются высокочрезвычайно затратными, мало приспособленными к использованию в современных условиях на предприятиях АПК и реальных условиях эксплуатации.

Технологии не предусматривают процессы переработки использованных жидкостей, масел и их повторного применения.

1.4 Выводы, цель и задачи исследования

В результате анализа состояния вопроса установлено:

1. В процессе работы двигателей тракторов под действием высоких температур, утяжеленного фракционного состава топлива, высоких нагрузок, несвоевременного проведения или же отказа от ТО, высокой степени изношенности деталей ДВС в моторном масле и в системе смазки образуются отложения, снижающие эксплуатационные характеристики двигателя – увеличенный расход топлива на 10% и более, на 15...20% потерю мощности,

снижение компрессии в цилиндрах на 10...15%. При проведении анализа состояния вопроса не выявлено информации об эффективности удаления загрязнений и конкретных данных их влияния на эксплуатационные характеристики ДВС.

2. Основную массу загрязнений в системе смазки двигателей тракторов составляют сажистые отложения, смолы и шламы (более 50%). В известных источниках практически отсутствует информация о действии моюще-диспергирующих присадок в современных моторных маслах по сравнению с ранее применяемыми в сельскохозяйственной технике.

3. Известные составы промывочных масел, моющие присадки и добавки в большей степени рассчитаны на использование в бензиновых двигателях. Имеют высокую цену приобретения, равноценную или превышающую стоимость моторных масел и не используются при выполнении операций промывки системы смазки двигателей тракторов.

4. Существующие способы и оборудование для промывки системы смазки двигателей тракторов не нашли широкого применения в сельскохозяйственной отрасли из-за своей сложности, высокой трудоемкости и затрат на реализацию.

В известных источниках недостаточно информации о технологиях и оборудовании для приготовления промывочных масел, режимах и параметрах их получения, а также технологиях их использования.

Отсутствуют доступные ресурсосберегающие способы и технологии адаптированные для использования на предприятиях АПК.

5. В известных источниках отсутствуют рекомендации о возможности повторного использования промывочных масел и рекомендации по восстановлению их свойств и удалению загрязнений.

При этом отказ от операции промывки системы смазки значительно снижает надежность ДВС.

Целью исследования является повышение надежности работы двигателей тракторов с помощью ресурсосберегающей технологии промывки системы смазки.

Для реализации поставленной цели необходимо решение следующих задач:

- оценить целесообразность промывки системы смазки двигателей тракторов при использовании современных моторных масел с повышенными моющими свойствами;

- теоретически обосновать способ, схему и процессы удаления из отработанных масел загрязнений для их использования в качестве основы промывочного масла;

- обосновать рациональный состав промывочного масла, схему и параметры процесса смешивания основы с добавками и показатель эффективности промывки;

- провести экспериментальные исследования по оценке эксплуатационных свойств разрабатываемого состава масла;

- разработать технологический процесс восстановления свойств промывочного масла, провести технико – экономическую оценку операции промывки системы смазки разработанным составом масла в условиях предприятия АПК.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ПРОМЫВОЧНОГО МАСЛА НА ОСНОВЕ ОТРАБОТАННОГО МОТОРНОГО МАСЛА И АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЕГО МОЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ

2.1 Теоретические предпосылки разработки способа очистки и использования отработанного масла для промывки системы смазки ДВС

Как установлено в результате анализа состояния вопроса, технологическая операция промывки системы смазки в условиях реальной эксплуатации тракторов в сельскохозяйственном производстве осложнена рядом причин и практически не проводится.

Данный факт является, как правило, следствием неудовлетворительной финансовой состоятельности хозяйств, не имеющих возможность приобретать дорогостоящие промывочные масла, тем самым увеличивать затраты на проведение операции технического обслуживания двигателей машин.

Вопросы оптимизации затрат могут быть решены внедрением ресурсосберегающих технологий обслуживания техники [1, 46].

Одним из таких направлений может быть разработка технологического процесса промывки системы смазки от загрязнений с помощью отработанного моторного масла [101].

При этом ставится задача удаления из отработанного моторного масла всех видов загрязнений и доведения его характеристик до состояния базового масла для его повторного использования. В том числе по цвету масла, определяющему отсутствие смол, смолистых частиц в масле. Существующие на сегодняшний день технические средства очистки (центрифуги, фильтры, сепараторы и т.д.) позволяют удалить из отработанного масла в основном механические примеси, что является недостаточным для получения базовых масел [21, 44, 49, 113].

Способы и технологии удаления смол, продуктов окисления и старения масла, в том числе и разработанные ФГБНУ ВНИИТиН - лидера в АПК в данном

направлении в некоторой степени приближают к решению проблемы высокого качества очистки. В то же время, для использования очищенных масел в качестве базового масла остается много вопросов, касающихся возможности максимальной приближенности показателей очищенных масел к базовой основе таких масел как И-12А, И-20А и др. [41, 67].

Практически растворенные на молекулярном уровне смолы в очищенном масле ограничивают его применение [69, 75].

Во всех известных способах очистки масла с осветлением используются физико-химические методы, на первом этапе реализации которых применяются реагенты, адсорбенты, и во главе угла процесса стоит коагуляция мельчайших частиц загрязнений [76, 78, 96].

В большей степени процесс укрупнения (коагуляции) частиц загрязнений зависит от остаточного содержания диспергирующе – стабилизирующих присадок (ДСП) в отработанном моторном масле.

Простыми и доступными методами определить остаточное число содержания ДСП не представляется возможным.

Косвенным показателем может служить щелочное число масла, на этапе предварительного анализа получена зависимость эффективности процесса коагуляции от щелочного числа отработанного моторного масла (рисунок 2.1).

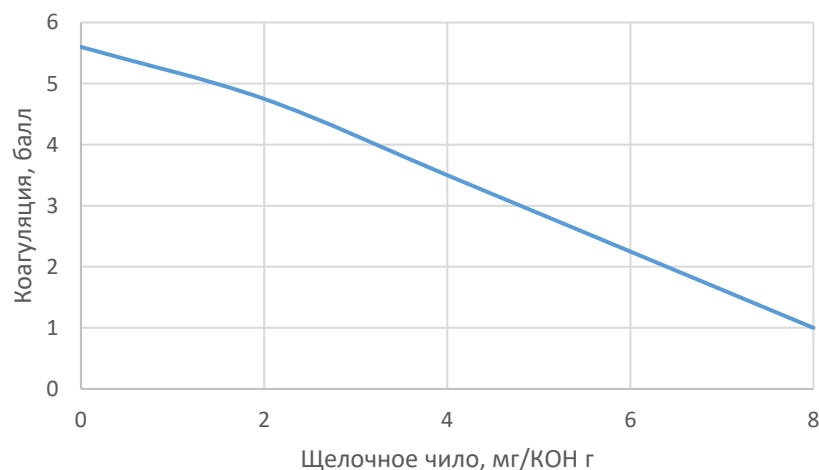


Рисунок 2.1 – Зависимость укрупнения частиц загрязнений (коагуляции) от остаточного значения щелочного числа в отработанном моторном масле

Наиболее эффективно процесс коагуляции происходит при щелочном числе 2 мг КОН/г и равен 5 баллам, при значении 3,4 мг КОН/г равен 3 баллам, при значении >3 укрупнение загрязнений практически не происходит.

Время процесса осаждения загрязнений имеет аналогичную зависимость т.е. чем больше остаточное содержание диспергирующей присадки, тем дольше проходит процесс осаждения.

На основании того, что определено граничное значение щелочного числа для эффективной коагуляции, можно утверждать, что вблизи данного порогового числа происходит изменение электростатических свойств среды, что предусмотрено теорией Дерягина-Ландау-Фервея-Овербека (теория ДЛФО).

Теория ДЛФО рассматривает лиофобные коллоиды (золи) [140]. Ее основное предположение состоит в том, что такие растворы могут находиться в метастабильном состоянии, как бы «замороженном», с нулевым уровнем коагуляции. Такое состояние представляет собой «тонкий» баланс между электростатическими силами отталкивания ионов в среде и молекулярным притяжением, обусловленным электролитом. Как правило, достаточно небольших концентраций последнего, чтобы обеспечить медленную или даже быструю коагуляцию.

ДЛФО-теория устанавливает связь между потенциалом взаимодействия и скоростью коагуляции, которая уменьшается из-за взаимного отталкивания частиц на коэффициент:

$$W = 2a \int_{2a}^{\infty} e^{U(r)/(kT)} \frac{dr}{r^2}; \quad (2.1)$$

где r - расстояние между центрами частиц, a – радиус частиц, $U(r)$ – энергия взаимодействия и k – постоянная Больцмана. Доля столкновений, приводящих к элементарным актам коагуляции, оказывается равна $\alpha = 1/W$.

Потенциал взаимодействия имеет вид, представленный на рисунке 2.2.

Автор выражает благодарность доктору физико-математических наук Вигдоровичу М.В. за оказанную помощь и рекомендации при выполнении теоретического раздела диссертации

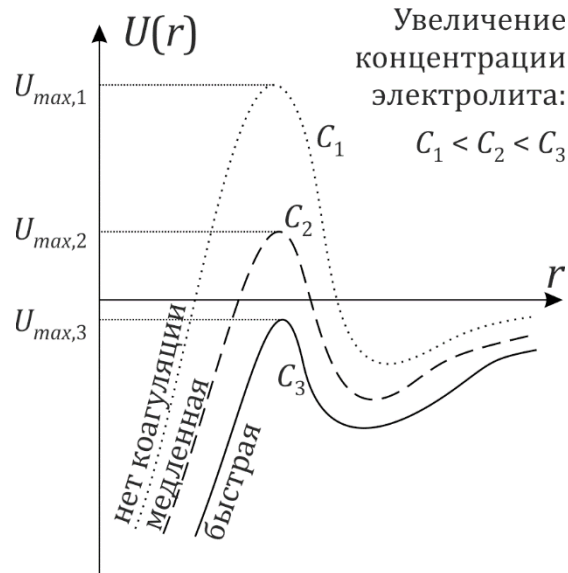


Рисунок 2.2 – Потенциал взаимодействия и увеличения скорости коагуляции

Максимум энергии взаимодействия $U(r)$ для достаточно малой концентрации C_1 определяет метастабильное состояние золь. Увеличение концентрации приводит к снижению пика, так что при концентрации C_2 начинается медленная коагуляция, переходящая в быструю при некотором пороговом значении C_3 . Дальнейшее увеличение концентрации может привести к полному исчезновению максимума, однако резких изменений в коагуляции не происходит.

Для потенциалов взаимодействия на рисунке с пиком U_{max} интеграл в уравнении (2.1) может быть приблизительно оценен как:

$$W = e^{U_{max}/(kT)}; \quad (2.2)$$

Если пик достаточно высок, то получается $W > 1$, а число коагуляционных столкновений стремится к нулю. Если пик вообще отсутствует ($U_{max} \sim 0$), то при $\alpha \approx 1$ происходит эффективная коагуляция.

Пороговая концентрация C_3 является предметом многочисленных исследований, в результате которых стало ясно, что:

$$C_3 \sim A^{-2}(ze)^{-m}; \quad (2.3)$$

где A – константа Гамакера, z – валентность противоионов, e – элементарный заряд. В зависимости от заряда, потенциала на поверхности частицы и замедления молекулярного взаимодействия, значения m варьируются в разных моделях обычно

от 2 до 6. Таким образом, в модели взаимодействующих одинаковых двойных электрических слоев двух частиц, уравнение (2.3) имеет вид:

$$C_3 \sim A^{-2} (ze)^{-6} \tanh^4 \frac{ze\psi}{4kT}; \quad (2.4)$$

где ψ – потенциал на поверхности частиц. В частности, при $ze\psi \gg 4kT$ гиперболический тангенс асимптотически приближается к 1, и m в уравнении (2.3) оказывается равен 6, тогда как при малых потенциалах (в асимптотическом пределе $\psi = 0$) гиперболический тангенс приблизительно заменяется его аргументом, приводя к $m = 2$. Модель с электромагнитным запаздыванием [54] дает значение $m = 4$ в уравнении (2.3).

Проведем вывод уравнения (2.4), следуя работе [141] и пользуясь тем, что само результирующее уравнение приведено в ней с ошибкой (гиперболический тангенс в уравнении (2.4) приведен в ней в первой степени).

Свободная энергия взаимодействия в узком пространстве между двумя параллельными слоями частиц описывается уравнением [144]:

$$V_m = -\frac{A}{12\pi h^2}; \quad (2.5)$$

где h – расстояние между слоями частиц. Энергия ван-дер-Вальсова взаимодействия равна:

$$V_e = \frac{8\varepsilon(kT)^2 \kappa \gamma^2}{\pi z^2 e^2} \exp(-\kappa h); \quad (2.6)$$

где ε – диэлектрическая проницаемость среды, $\gamma = \text{th} \frac{ze\varphi_1}{4kT}$, φ_1 – электростатический потенциал в электролите, $\kappa = \frac{\varepsilon kT}{8\pi z^2 e^2 n}$ – обратная дебаевская длина, n – критическая концентрация электролита для коагуляции (в см^{-3}). Одним из условий дестабилизации является равенство нуля суммы свободной энергии и ван-дер-Ваальсовой энергии взаимодействия:

$$V_m + V_e = 0; \quad (2.7)$$

Другое условие можно получить, продифференцировав это выражение по h и умножив на h :

$$h \frac{dV_m}{dh} + h \frac{dV_e}{dh} = 0; \quad (2.8)$$

Поскольку, согласно уравнению (2.7), $V_m = -V_e$, разделим левое слагаемое уравнения (2.8) на V_m , а второе – на $(-V_e)$:

$$\frac{h}{V_m} \frac{dV_m}{dh} = \frac{h}{V_e} \frac{dV_e}{dh}; \quad (2.9)$$

Найдем левую часть уравнения (2.9), для этого подставим в нее уравнение V_m :

$$\frac{h}{V_m} \frac{dV_m}{dh} = \frac{12\pi h^3}{-A} (-1) \frac{A}{12\pi} (-2) \frac{1}{h^3} = -2; \quad (2.10)$$

Далее вычислим правую часть уравнения (2.9), подставив в нее V_e , и приравняем к результату в уравнении (2.10):

$$\frac{h}{V_e} \frac{dV_e}{dh} = h \frac{\pi z^2 e^2}{8\varepsilon(kT)^2 \kappa \gamma^2} \exp(\kappa h) \frac{8\varepsilon(kT)^2 \kappa \gamma^2}{\pi z^2 e^2} (-\kappa) \exp(-\kappa h) = -\kappa h; \quad (2.11)$$

Таким образом, из уравнений (2.9)–(2.11) получаем:

$$\kappa h = 2; \quad (2.12)$$

Возведя в квадрат уравнение (2.7) и подставив в получающееся уравнение этот результат и выражение для обратной дебаевской длины, получим уравнение (2.4).

Возвращаясь к результатам проведенной предварительной оценки, обратим внимание на то, что при изменении щелочного числа изменяется электростатический потенциал в растворе, присутствующий в гиперболическом тангенсе. Тогда концентрация, остающаяся прежней, но при предыдущем значении потенциала недостаточная для коагуляции, при новом значении электростатического потенциала электролита, увеличившемся вследствие снижения щелочного числа, становится достаточной для наступления коагуляции.

Однако, как показывает практика известных исследований, даже самые эффективные реагенты не позволяют за один цикл собрать вокруг (ядра) коагуляции 100% примесей [51]. Повторное внесение в уже очищенное с помощью известных коагулянтов масло практически не позволяет повысить эффективность очистки, необходим поиск новых химических реагентов, которые бы были совместимы с «предшественниками» и позволяли бы на второй ступени очистки укрупнить практически не видимые (своего рода «красители») примеси.

Усложнение способа очистки за счет расширения диапазона используемых реагентов, коагулянтов, технических средств для удаления загрязнений увеличивает затраты на получение базового масла для его дальнейшего использования в качестве основы с внедрением моющих присадок и добавок.

Для реализации данного процесса может быть рассмотрена следующая схема очистки (рисунок 2.3).

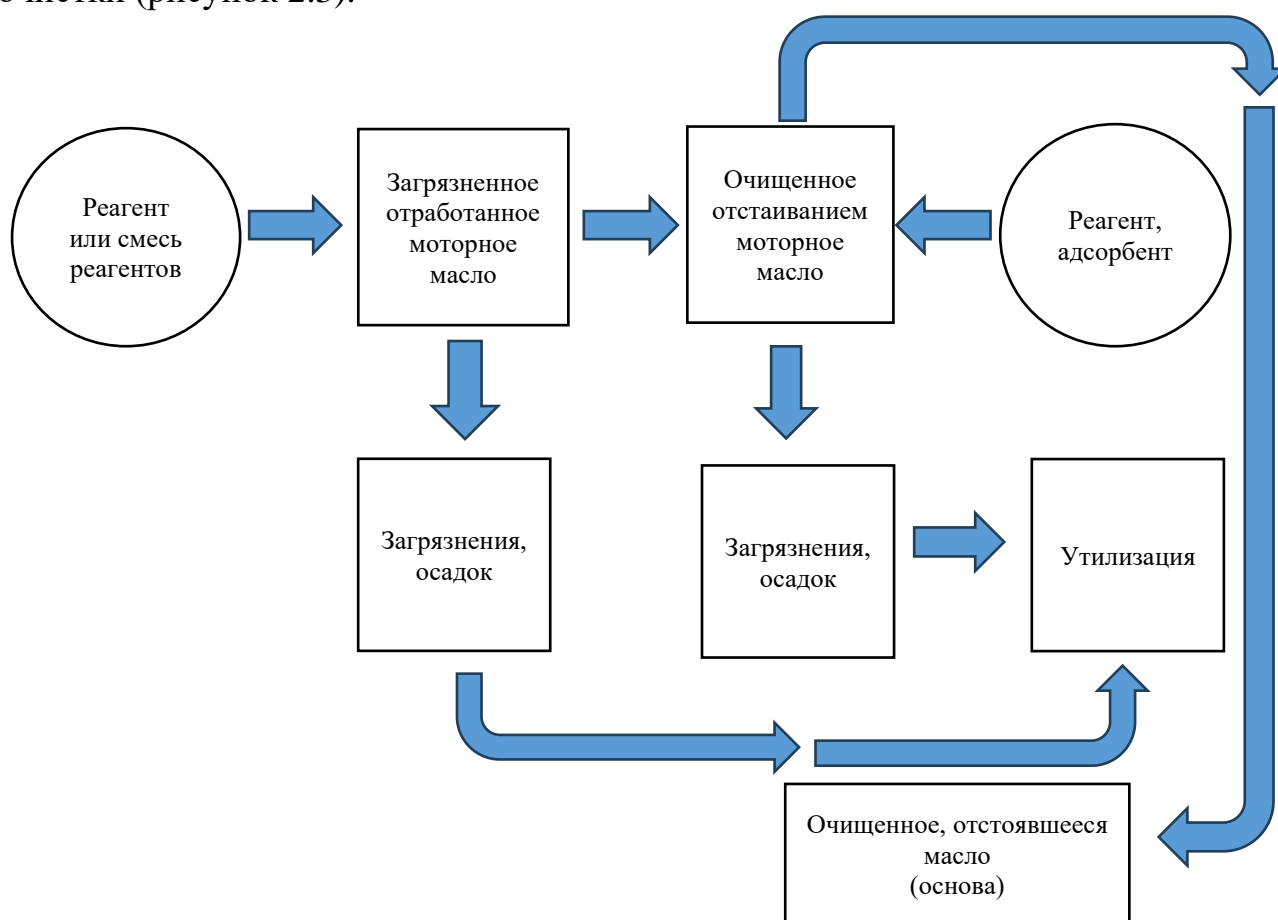


Рисунок 2.3 – Принципиальная схема процесса коагуляции и способа очистки отработанного масла

В предлагаемой схеме для разработки способа очистки основополагающим элементом является процесс коагуляции загрязнений в зависимости от концентрации внесения реагентов, их видов и разнообразия. Для укрупнения частиц загрязнений важным фактором является температура масла, метод удаления (как менее затратный) отстаиванием (выпадение в осадок загрязнений под действием веса укрупнившихся частиц) [38].

На этапе теоретического анализа принимается простейшая, малозатратная схема процесса, состоящая из следующих этапов. На первом этапе отработанное загрязненное моторное масло сливается из картера двигателя в емкость, производится его нагрев с последующим внесением коагулянтов, реагентов или их смесей, показавших наилучший результат в ходе исследований. Далее смесь перемешивается и отстаивается. После чего верхняя отстоявшаяся часть переливается в следующую емкость, куда также добавляется реагент - адсорбент, (выбранный в результате лабораторных исследований с рациональной концентрацией). Смесь нагревается и отстаивается с последующим сливом очищенного масла, используемого в дальнейшем для получения рационального состава промывочного масла.

Рассмотрение процесса коагуляции частиц загрязнений показало, что укрупнение происходит в соответствии с установленными в разработанных способах очистки закономерностями.

Однако, как уже отмечалось, конечный результат не в полной мере отвечает требованиям, предъявляемым к основе масла для получения промывочных масел.

Многokратное увеличение слоя масла в камере Горяева не позволяет рассмотреть частицы загрязнений, остающиеся в масле и их дисперсный состав.

Следует предположить, что они находятся практически в растворенном состоянии в масле, т.е. менее 0,01 мкм, что в конечном результате влияет на цвет масла.

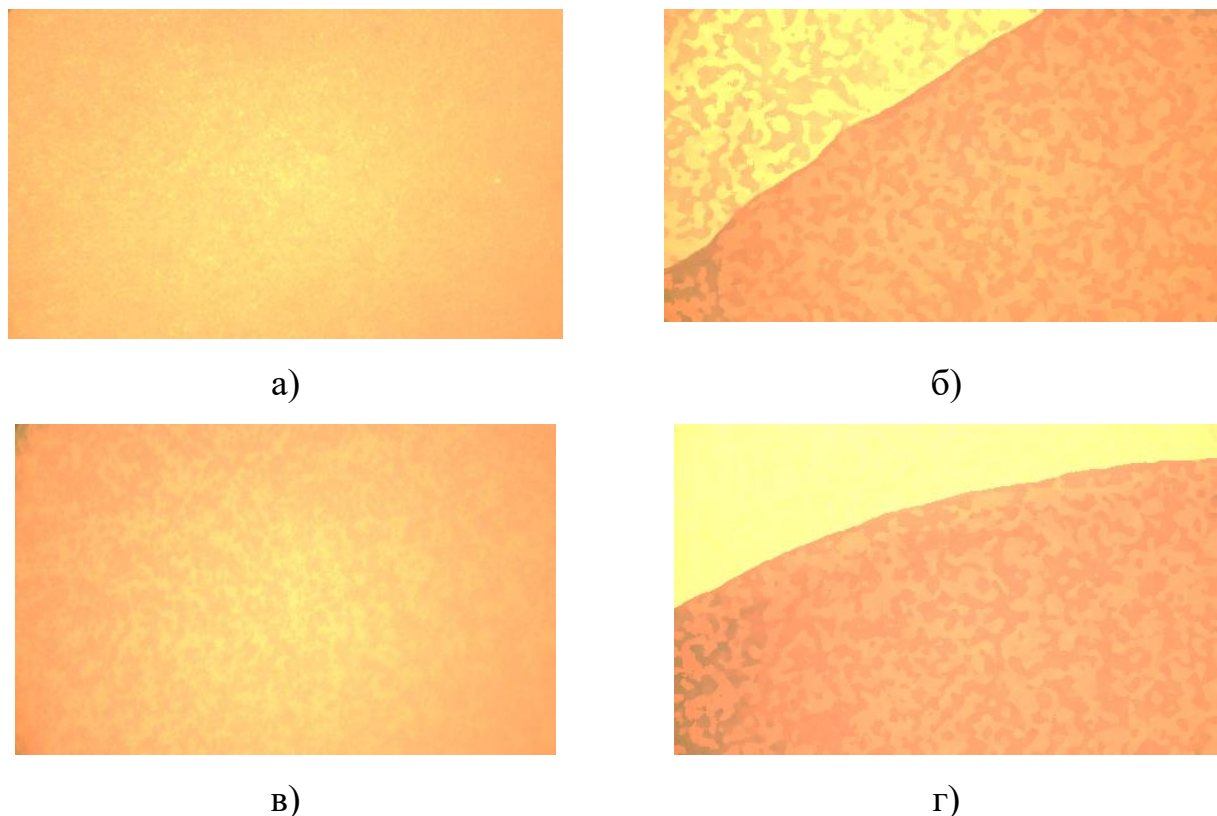
Среди известных реагентов для очистки загрязненных моторных масел отсутствуют соответствующие требованиям использования в упрощенных технологиях АПК.

Заслуживает внимания реагент *N*-метилперролидон. Применяемый для очистки масел практически не содержащих присадок.

Для наших условий разработки способа углубленной очистки, использование на первом этапе известных способов ФГБНУ ВНИИТиН может создать предпосылки решения поставленной задачи.

В очищенное известным способом моторное масло вносилась добавка *N*-метилперролидона и рассматривалась возможность укрупнения растворенных в масле смол.

На рисунке 2.4 представлены фотографии проб очищенного масла после внесения *N*-метилперролидона.



а - масло, очищенное (по способу с карбамидом); б – после внесения *N*-метилперролидона; в – масло, очищенное (по способу с моноэтаноламином); г – после внесения *N*-метилперролидона

Рисунок 2.4 – Фотографии, подтверждающие способность *N*-метилперролидона обеспечивать укрупнение практически растворенных частиц загрязнений в масле

В пробу масла вводим компоненты агентов - карбамида растворенного в гидроксиде аммония, моноэтаноламина и изопропилового спирта. Процесс коагуляции рассматривали под микроскопом.

Установлено, что и по первому, и по второму варианту имеет место укрупнение частиц загрязнений.

На рисунках 2.5, 2.6 показан процесс укрупнения частиц в зависимости от времени после внесения реагента.



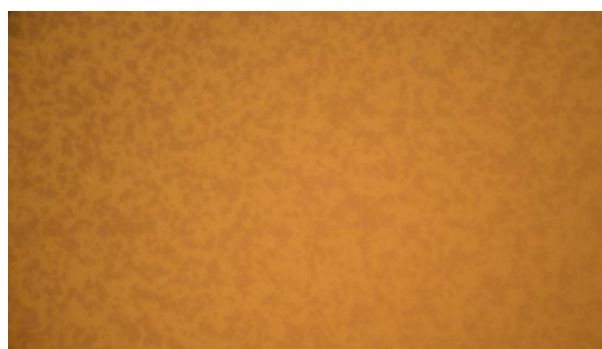
а)



б)



в)



г)



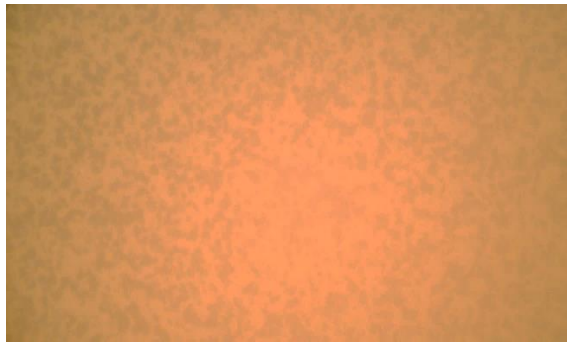
д)



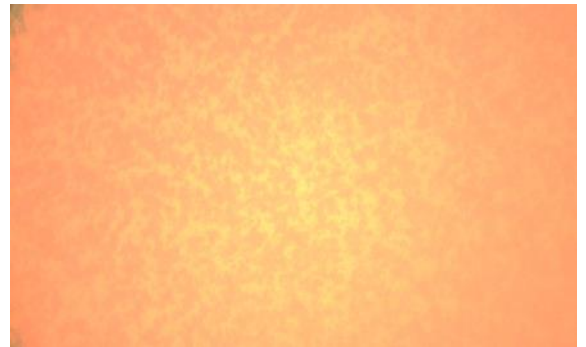
е)

а – исходное масло; б – после внесения карбамида с гидроксидом аммония и перемешивания 5 мин; в – после внесения карбамида с гидроксидом аммония и перемешивания 10 мин; г – после внесения карбамида с гидроксидом аммония и перемешивания 15 мин; д – после внесения карбамида с гидроксидом аммония и перемешивания 20 мин; е – после внесения карбамида с гидроксидом аммония и перемешивания 25 мин

Рисунок 2.5 – Процесс коагуляции загрязнений после внесения смеси карбамида с гидроксидом аммония



а)



б)



в)



г)



д)



е)

а – исходное масло; б – после внесения реагентов и перемешивания 5 мин; в – после внесения реагентов и перемешивания 10 мин; г – после внесения реагентов и перемешивания 15 мин; д – после внесения реагентов и перемешивания 20 мин; е – после внесения реагентов и перемешивания 25 мин

Рисунок 2.6 – Процесс коагуляции загрязнений после внесения смеси моноэтаноламина и изопропилового спирта

На основании полученных предварительных результатов можно сделать вывод о целесообразности проведения экспериментальных исследований по

предложенной схеме и использования новых реагентов, ранее не применявшихся для очистки отработанных моторных масел.

2.2 Обоснование гидродинамического процесса движения жидкости и перемешивания компонентов масла с добавками

Очистка отработанного масла и его дальнейшее перемешивание с моющими добавками носит в большей степени практический характер и зависит от ряда факторов. Например известно, что разогретое до температуры 80 °С очищенное масло имеет вязкость 8...9 мм²/с, а вносимые жидкости (дизельное топливо) 2...4 мм²/с [94]. Концентрация добавок в масле невелика и составляет 3...4%. Что упрощает решение задачи, и на первый взгляд может казаться легко реализуемым. Основными факторами являются время и поток (давление). Вместе с тем важным моментом являются технологические, конструктивные составляющие, например размеры емкости для перемешивания.

Применительно к процессу приготовления промывочного масла представляет интерес решение задачи, связанной с гидродинамикой перемешивания жидкости в баке. При этом, естественно, предусматриваются устройства для ее подачи и забора с использованием насосов, причем геометрические и мощностные характеристики устройств могут различаться при выполнении ими условия сохранения объемного баланса жидкости в баке. Описание механики жидкости может производиться с использованием различных подходов – как физических, так и только инженерных. Существенным в них является то, что в объеме жидкости или на границе (стенка бака) возникает поток жидкости, представляющий собой бьющую струю. Геометрически удаленным от места подачи жидкости является сток, местоположение которого должно при заданном режиме работы бака исключать возникновение течения жидкости от места подачи до места забора, т.к. в этом случае перемешивание не является эффективным.

Рассматриваемый способ теоретического анализа основан на физической теории движения жидкости по трубопроводам. Таким образом, мы провозглашаем использование нами физического подхода, а не инженерного.

Место подачи жидкости в бак может рассматриваться как внезапное расширение потока, при котором течение жидкости описывается теоремой Борда. Суть ее в следующем.

При движении жидкости по трубопроводу она испытывает различные виды сопротивлений, которые приводят к потере напора по длине трубопровода. Внезапное расширение потока представляет собой один из таких видов сопротивления, при котором, в частности, возникают завихрения. Типично внезапное расширение потока встречается при выходе жидкости из трубопровода меньшего диаметра в трубопровод большего диаметра, а также при подаче жидкости по трубопроводу в резервуар (бак). Для описания механики жидкости в рамках данного подхода рассмотрим изменение импульса силы (количества движения):

$$m\Delta v = P\Delta t; \quad (2.13)$$

где P – равнодействующая всех внешних сил давления, приложенных к объему жидкости ААВВ (Рисунок 2.7).

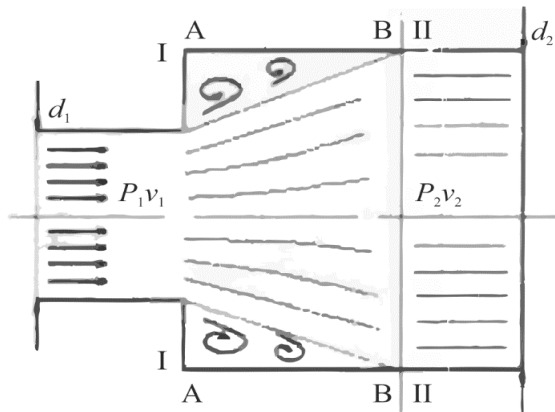


Рисунок 2.7 - Схема тока жидкости и действующих сил в резервуаре (баке)

Поскольку труба горизонтальна, то проекция силы тяжести, действующей на тот же объем жидкости, на ось трубы равна нулю. Для силы давления справедливо записать:

$$P = \omega_2(p_1 - p_2); \quad (2.14)$$

где ω_2 – площадь поперечного сечения II-II, в скобках присутствует разность давлений. Масса жидкости в рассматриваемом объеме равна:

$$m = \rho Q \Delta t; \quad (2.15)$$

где Δt – отрезок времени, за который частицы жидкости проходят путь от сечения I-I до сечения II-II, Q – объемный расход потока, ρ – плотность жидкости. Изменение скорости потока (вследствие сил сопротивления) есть:

$$\Delta v = v_2 - v_1; \quad (2.16)$$

С учетом полученных результатов и с использованием общепринятых обозначений, перепишем уравнение (2.13) в виде:

$$\rho Q \Delta t (v_2 - v_1) = \omega_2 (p_1 - p_2) \Delta t;$$

Поскольку $Q = \omega_2 v_2$, получаем:

$$\rho \omega_2 (v_2 - v_1) = \omega_2 (p_1 - p_2);$$

или

$$\frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \frac{v_2(v_2 - v_1)}{g}; \quad (2.17)$$

где g – ускорение свободного падения, $\gamma = \rho g$.

Наряду с уравнением (2.17), рассмотрим уравнение Бернулли для сечений I-I и II-II:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + \Delta h; \quad (2.18)$$

где Δh – потери напора на вихреобразование, откуда получаем:

$$\frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + \Delta h; \quad (2.19)$$

что в сочетании с уравнением (2.17) дает теорему Борда о внезапном расширении:

$$\Delta h = \frac{(v_2 - v_1)^2}{2g}; \quad (2.20)$$

Физический смысл величины $|v_2 - v_1|$ – потеря скорости при движении жидкости от сечения I-I к II-II.

Запишем для этих сечений уравнение непрерывности:

$$v_1 \omega_1 = v_2 \omega_2; \quad (2.21)$$

Для круглой трубы имеем:

$$v_2 = v_1 \frac{\pi d_1^2}{4} \frac{4}{\pi d_2^2} = v_1 \frac{d_1^2}{d_2^2}; \quad (2.22)$$

Подставим данное выражение в уравнение (2.20):

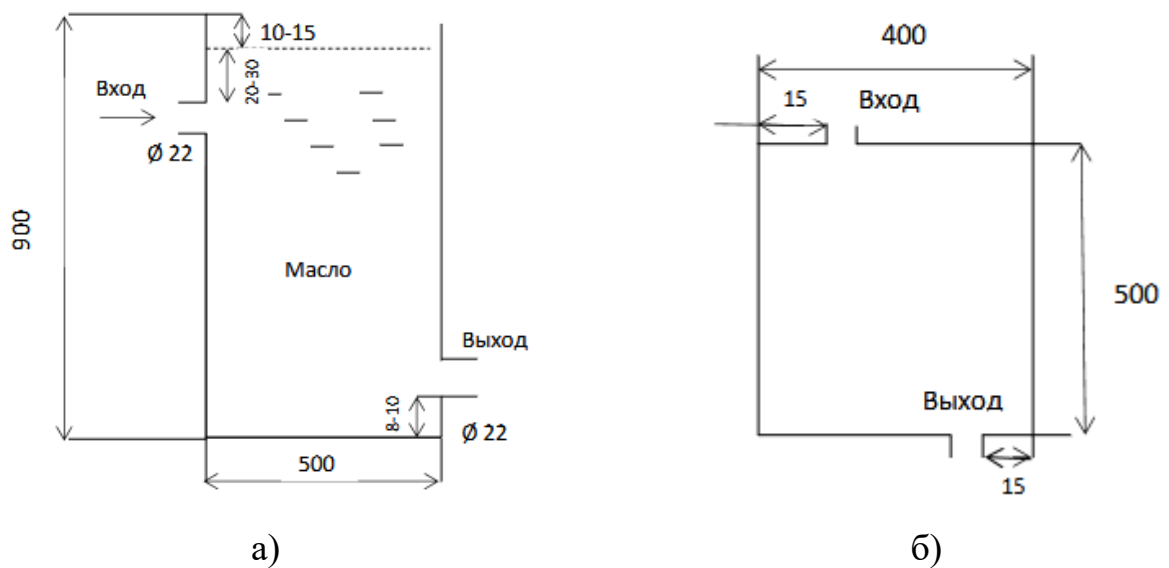
$$\Delta h = \frac{\left(v_1 \frac{d_1^2}{d_2^2} - v_1\right)^2}{2g} = \frac{v_1^2}{2g} \left(1 - \frac{d_1^2}{d_2^2}\right)^2; \quad (2.23)$$

Вводя коэффициент местных потерь $\xi = (1 - d_1^2/d_2^2)^2$, окончательно получим:

$$\Delta h = \xi \frac{v_1^2}{2g}. \quad (2.24)$$

При всей практической важности теоремы Борда в виде уравнения (2.24), она характеризует кинематику жидкости только в терминах квадрата скорости и не отвечает на вопрос, существенный для понимания динамики перемешивания жидкости. Обратимся к гидродинамическому рассмотрению течения жидкости в изучаемой системе. При этом необходимо рассмотреть два разных режима течения жидкости, актуальных для нашей системы: ламинарный и турбулентный режимы.

Геометрия задачи имеет вид, представленный на рисунке 2.8.



а - вид сбоку (бак сверху открыт); б - вид сверху

Рисунок 2.8 - Принципиальная схема для перемешивания промывочного масла

Модель режима перемешивания основывается на концепции затопленной струи и представляет собой уравнения Навье-Стокса для вязкой несжимаемой жидкости (с учетом осевой симметрии относительно направления струи, слагаемые с производными по азимутальному углу исключены, скорости вдоль азимутального вектора равны нулю) и граничными условиями, связанными с убыванием решения на бесконечности и равенством нулю радиальной компоненты скорости на оси.

$$u_r \frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{u_\theta}{r} \frac{\partial u_r}{\partial \theta} - \frac{u_\theta^2}{r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \nu \left[\Delta u_r - \frac{2}{r^2} u_r - \frac{2}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial(u_\theta \sin \theta)}{\partial \theta} \right]; \quad (2.25)$$

$$u_r \frac{\partial u_\theta}{\partial r} + \frac{u_\theta}{r} \frac{\partial u_\theta}{\partial \theta} + \frac{u_r u_\theta}{r} = -\frac{1}{\rho r} \frac{\partial p}{\partial \theta} + \nu \left[\Delta u_\theta + \frac{2}{r^2} \frac{\partial u_r}{\partial \theta} - \frac{u_\theta}{r^2 \sin^2 \theta} \right]; \quad (2.26)$$

где, u_r и u_θ – радиальная и полярная проекции скорости жидкости в сферических координатах соответственно, ν – кинематическая вязкость, ρ – плотность, p – давление, дополненные уравнением непрерывности.

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial(r^2 u_r)}{\partial r} + \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial(u_\theta \sin \theta)}{\partial \theta} = 0. \quad (2.27)$$

Краевыми эффектами пренебрегаем, считая бак достаточно большим по сравнению с характерными размерами, существенными для затопленной струи.

Решения модели в некоторых предельных случаях впервые были получены Л.Д. Ландау [53] и изложены в [54]. Ламинарное (вследствие существенной вязкости масла) движение струи практически означает, что радиальная скорость струи внутри бака быстро уменьшается и равна нулю на противоположной стенке бака.

Более точно можно даже утверждать, что радиальная скорость становится равной нулю намного раньше, нежели в окрестности противоположной стенки бака. В связи с этим, требуется создание дополнительных гидродинамических условий при перемешивании, исключающих возникновение областей застоя жидкости.

Решение для скоростей жидкости (рисунок 2.9), полученное в [54] для «сильной» струи с сохранением ламинарного режима течения имеет следующий вид:

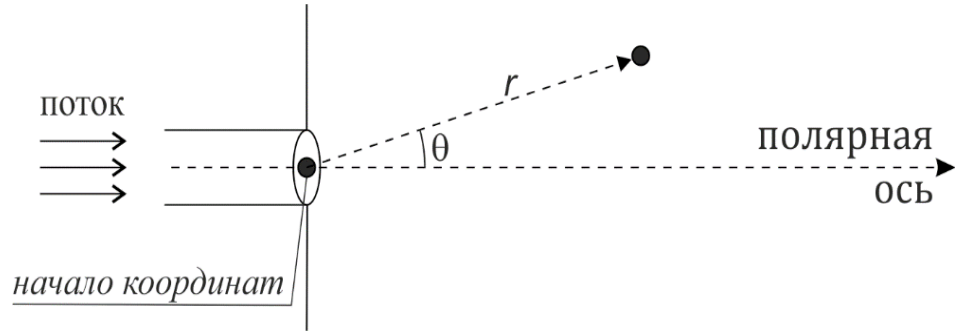


Рисунок 2.9 - Схема ламинарной струи в заполненном жидкостью пространстве

Для больших углов θ компоненты скорости u имеют вид:

$$u_{\theta} = -\frac{2\nu}{r} \operatorname{ctg} \frac{\theta}{2}, \quad u_r = -\frac{2\nu}{r}; \quad (2.28)$$

Для малых углов θ аналогичные выражения для компонент скорости имеют вид:

$$u_{\theta} = -\frac{4\nu\theta}{(\theta_0^2 + \theta^2)r}, \quad u_r = \frac{8\nu\theta_0^2}{(\theta_0^2 + \theta^2)^2 r}; \quad (2.29)$$

где $\theta_0 = 8\nu \sqrt{\frac{\pi\rho}{3P}}$ – некоторый физически малый угол, присутствие которого в уравнениях исключает расходимость при малых θ . Здесь P – полный поток импульса струи, равный интегралу по сферической поверхности, сводящемуся к интегралу Римана:

$$P = 2\pi \int_0^{\pi} r^2 \Pi_{rr} \cos \theta \sin \theta d\theta; \quad (2.30)$$

где Π_{rr} – соответствующая компонента тензора потока импульса в струе

$$\frac{1}{\rho} \Pi_{ik} = \frac{p}{\rho} \delta_{ik} + u_i u_k - \nu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_k} + \frac{\partial u_k}{\partial x_i} \right); \quad (2.31)$$

Для интересующей нас компоненты в сферических координатах, где $x_r = r$, имеем:

$$\frac{1}{\rho} \Pi_{rr} = \frac{p}{\rho} + u_r^2 - 2\nu \frac{\partial u_r}{\partial r}; \quad (2.32)$$

Существенным для получения результата (2.28) и (2.29) является вычисление распределения радиальной компоненты скорости по углам, определяющей компоненту Π_{rr} тензора потока импульса, а именно функции $F(\theta)$ в выражении:

$$u_r = \frac{1}{r} F(\theta); \quad (2.33)$$

В [11] было, в частности, получено выражение для функции $F(\theta)$, позволяющее моделировать кинематику жидкости при любых числах Рейнольдса. Проблема этого выражения заключается, однако в том, что интеграл (2.30) при этом, по всей видимости, не может быть вычислен аналитически.

Трудность же решения Ландау (2.28), (2.29) заключается в том, что движение в достаточно сильной струе в какой-то момент становится турбулентным, и, используя уравнения (2.28) и (2.29), мы не можем с необходимой степенью точности определить границы их применимости.

Фактически, может оказаться, что для ламинарного течения жидкости в случае сильной струи эти уравнения практически неприменимы, т.к. при такой струе течение существенно турбулентное, и тогда эти уравнения не имеют практического значения.

Несколько лет назад было получено более полное (по сравнению с решением Ландау) решение [53] для затопленной струи, альтернативное решению [54]. Оно имеет следующий вид:

$$v_r(r, \theta) = \frac{2v}{r} \left[\frac{A^2 - 1}{(A - \cos \theta)^2} - 1 \right] + \frac{B}{r}; \quad (2.34)$$

$$v_\theta(r, \theta) = -\frac{2v \sin \theta}{r(A - \cos \theta)} - \frac{B(A - \cos \theta)}{r \sin \theta}; \quad (2.35)$$

Здесь $A > 1$ – безразмерная константа, при больших значениях которой струя является слабой, а при малых значениях – сильной, и соответствующие решения Ландау в этих пределах при $B=0$ приведены в уравнениях (2.28) и (2.29), а константа B имеет размерность кинематической вязкости и может иметь любой знак, а ее роль и связанные с ней эффекты в настоящий момент не исследованы до конца.

При определенном соотношении констант, характеризующих жидкость, можно получить достаточно большие углы раствора затопленной струи, влияющие на эффективность перемешивания:

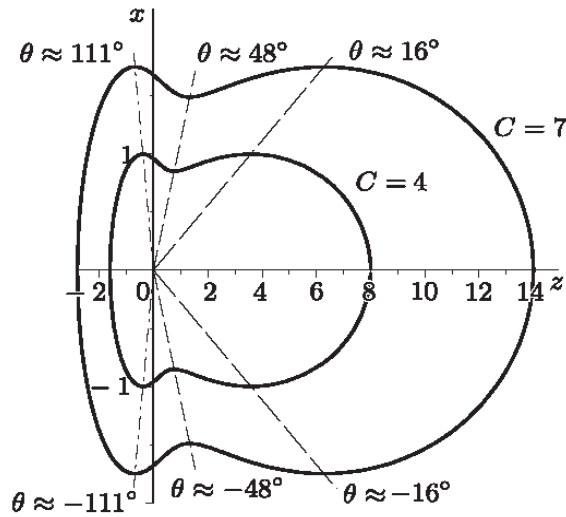


Рисунок 2.10 - Линии тока жидкости при $B > 0$

Константа

$$C = \frac{C_0}{|B|} > 0,$$

где

$C_0 = r \sin \theta \left[\frac{2v \sin \theta}{A - \cos \theta} + \frac{B(A - \cos \theta)}{\sin \theta} \right]$ – первый интеграл уравнения, определяющего линии тока.

В целом, приведенные выше обстоятельства оправдывают практическое определение эффективности перемешивания масла в баке в условиях ламинарных течений эмпирическим путем.

Получим решение для скоростей жидкости для турбулентного режима течения струи. Задача о перемешивании жидкости в баке при ее интенсивном поступлении через входное отверстие является по сути производной известной задачи о затопленной струе Ландау. Существенным является момент, связанный с режимом, который создается в баке поступающей струей – ламинарном или турбулентном. Выше было отмечено, что удовлетворительное решение для случая ламинарной струи, допускающее инженерный расчет, до сих пор не было обусловлено и реализовано научно-инженерным сообществом. Задача о перемешивании жидкости в баке принципиально была решена нами ранее [5] в другой геометрии. Последнее обстоятельство не является существенным в случае, когда размеры бака рассматриваются большими по сравнению с характерными размерами, связанными с затопленной струей. При проведении

гидродинамического расчета мы воспользовались результатами работы [54] применительно к турбулентной струе в заполненном жидкостью пространстве рисунок (2.11).

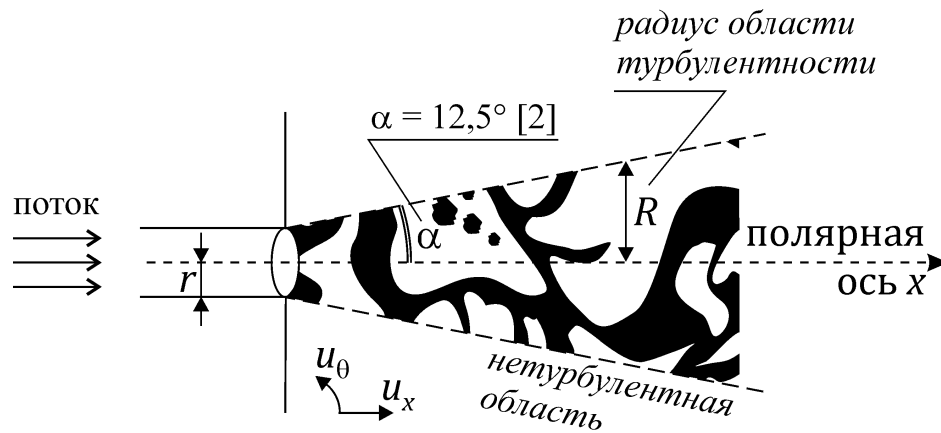


Рисунок 2.11 - Схема турбулентной струи в заполненном жидкостью пространстве

Рассмотрения полупространства на рисунке 2.11 достаточно для ее решения, поскольку краевые эффекты вносят дополнительный вклад в турбулентность. Угол α – угол конуса, ограничивающего турбулентную область. Жидкость характеризуется вектором скорости (u_x, u_θ) в сферических координатах, центр системы координат находится на пересечении оси истечения жидкости и вертикальной стенки слева. Геометрия задачи 2-мерная в связи с наличием осевой симметрии относительно полярной оси x .

Оценим число Рейнольдса:

$$Re \approx \frac{u_0 \cdot 2r}{\nu}; \quad (2.36)$$

где u_0 – скорость истечения жидкости из трубы, r – радиус трубы (единственный характерный размер в области истечения), ν – кинематическая вязкость жидкости.

Чтобы найти скорость истечения жидкости из входной трубы в бак, нужно разделить поток на площадь поперечного сечения входной трубы. Получаем $u_0 \approx 1,1$ м/с. Таким образом, непосредственно на входе в бак получаем значение числа Рейнольдса $Re \approx 2,75 \cdot 10^3$. Это – течение, характеризующееся начальной (минимальной) степенью турбулентности.

Найдем порядок скорости течения вдоль оси трубы на протяжении всего бака. Зависимость скорости от координаты x имеет вид:

$$u \approx \sqrt{\frac{P}{\rho x}}; \quad (2.37)$$

где P – полный поток импульса, ρ – плотность жидкости. В области вблизи точки истечения жидкости из трубы уравнение (2.37) не работает, данное соотношение носит асимптотический характер. Для полного потока импульса имеем:

$$P \sim \rho u^2 R^2 \quad (2.38)$$

где R – радиус области турбулентности в зависимости от x , т.е. радиус конуса на рисунке 2.11. Подставляя уравнение (2.38) в уравнение (2.37), получим:

$$u(x) \sim u_0 \frac{R}{x} \quad (2.39)$$

Оценим режим течения у стенки бака, противоположной входному отверстию. Хотя в модели на рисунке 2.11 противоположная стенка отсутствует, оценим по уравнению (2.39) скорость течения жидкости на расстоянии от трубы порядка ширины бака: $u(x = 15 \text{ м}) \sim 24 \text{ см/с}$, т.е. вчетверо ниже, чем при поступлении в бак. Следовательно, число Рейнольдса у противоположной стенки бака имеет оценку $Re \approx 0,75 \cdot 10^3$, что соответствует ламинарному течению. Следует, однако, иметь в виду, что, в связи с отражением от верхней границы бака, струя вносит возмущение, так что фактическое значение числа Рейнольдса будет выше в верхней части бака и приблизится к приведенной здесь оценке в нижней части бака. Поэтому для ответа на вопрос о сохранении турбулентности течения жидкости у дальней стенки целесообразны экспериментальные исследования.

Оценим размер конуса турбулентности на рисунке 2.11. Радиальная компонента скорости жидкости (т.е. с вектором скорости вдоль оси x) равна:

$$u_x(r, x) = u(x) f\left(\frac{r}{R(x)}\right); \quad (2.40)$$

где r – расстояние от оси до точки, в которой определяется скорость, внутри конуса турбулентности (т.е. $0 \leq r \leq R$). Функция $f(\xi)$ (равная 1 при $\xi=0$) быстро убывает с увеличением ее аргумента. Она становится равной $\frac{1}{2}$ уже при $\xi = 0,4$, а на границе турбулентной области достигает значения $\sim 0,01$. Для $R(x)$ имеется выражение:

$$R = x \operatorname{tg} \alpha; \quad (2.41)$$

где $\alpha \approx 12,5^\circ$ (экспериментальные данные, практически применимые к струе любой геометрии). Таким образом, из уравнения (2.41) получаем $R = 0,2x$, так что на удалении от отверстия трубы в 0,5 метра (т.е. примерно противоположная стенка) имеем $R = 0,1$ м. Таким образом, конус турбулентности как раз примерно достигает верхнего уровня жидкости в районе противоположной стенки бака. На границе конуса турбулентности получаем вектор скорости жидкости в направлении возрастания вдоль оси x согласно уравнению (2.40):

$$u_x = 0,07f(1) = 2,4 \text{ мм/с}. \quad (2.42)$$

Важный вопрос связан с тем, как движется жидкость за пределами конуса турбулентности, т.к. это определяет, застаивается жидкость в той области или нет. Полярная компонента скорости жидкости u_θ (направление, ортогональное оси x и определяемое раскрытием конуса в плоскости) на границе конуса турбулентности имеет вид:

$$u_\theta = -\frac{b}{x} \operatorname{ctg} \left(\frac{\theta}{2} \right) \quad (2.43)$$

где параметр b зависит от угла α , входящего потока жидкости и размера входного отверстия; выражение для него дано в [67]. Подставляя в уравнение (2.43) исходные данные, получаем $u_\theta = -20$ м/с. Знак «минус» означает, что жидкость из области вне конуса турбулентности втягивается внутрь конуса

Теперь оценим явно, происходит ли эффективное перемешивание жидкости вне конуса турбулентности. Для оценки обратимся к числу Рейнольдса и предположим, что оно соответствует ламинарному течению. Возьмем $Re = 1000$. С учетом того, какую оценку для числа Рейнольдса мы получили ранее, можно утверждать, что это – достаточно реалистичное предположение. Получаем:

$$1000 = Re = \frac{u_\theta \cdot l}{\nu} \quad (2.44)$$

где l – характерный размер области. Рассчитаем, исходя из этого, порядок движения жидкости вне конуса турбулентности и вдали от границы конуса. Для этого возьмем $l = 0,5$ м и получим по абсолютной величине $|u_\theta| = \frac{1000\nu}{l} = 1,8$ м/с,

установленный ранее знак «минус» сохраняется (полная совокупность вычисленных в рамках данного расчета параметров приведена в приложении Б).

Таким образом, с учетом высоты столба жидкости в баке, элемент жидкости, находящийся на самом большом удалении по вертикали от оси трубы, за 1 час проходит расстояние, вдвое большее высоты столба жидкости в баке, и жидкость в области вне конуса турбулентности заменяется. Фактически это происходит быстрее, т.к. мы не учитывали турбулентность отраженных потоков и вследствие откачки смеси из бака. Таким образом, можно утверждать, что жидкость в баке полностью перемешивается в течение 0,5 ч после включения струи.

2.3 Обоснование рациональных показателей оценки эффективности промывки системы смазки в реальных условиях эксплуатации

Очистка системы смазки, в рассматриваемом в данной работе контексте, предусматривает удаление смолистых загрязнений из масляных каналов и картера двигателя.

Известны критерии эффективности очистки от загрязнений деталей ДВС. К ним относится, в первую очередь, чистота поверхностей головки блока цилиндров, зеркала цилиндров, поршней и других деталей ЦПГ [6, 36, 50]. В реальных условиях эксплуатации, при проведении операции промывки системы смазки и очистки деталей, данные показатели малоприменимы и практически не применяются т.к. требуют разборки двигателя [70]. Одними из наиболее простых и принятых в условиях сельскохозяйственного производства являются такие показатели эффективности промывки системы смазки как изменение цвета промывочного масла и компрессия в двигателе. При этом практически отсутствует информация или описание изменения данных критериев при проведении операции удаления загрязнений. Предварительно проведенными опытами и наблюдениями установлена своеобразная взаимосвязь изменения компрессии в цилиндрах и цвета товарного промывочного масла, в зависимости от времени промывки двигателя.

На рисунке 2.12 представлена зависимость изменения цвета промывочного масла от времени промывки системы смазки двигателя Д-240.

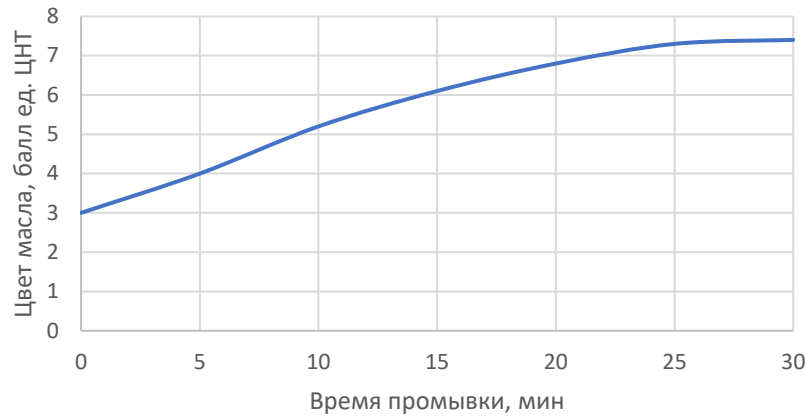


Рисунок 2.12 – Изменение цвета масла от времени промывки системы смазки

Чем больше времени масло (промывочное) циркулирует по системе смазки, тем оно становится темнее. Данный процесс имеет ограничения по времени. В определенный период времени процесс изменения цвета прекращается, масло приобретает черный цвет. Практически аналогичный вид имеет зависимость изменения среднего значения компрессии в цилиндрах двигателя, до определенного времени компрессия в цилиндрах изменяется незначительно. Далее следует рост и стабилизация на одном уровне (рисунок 2.13).

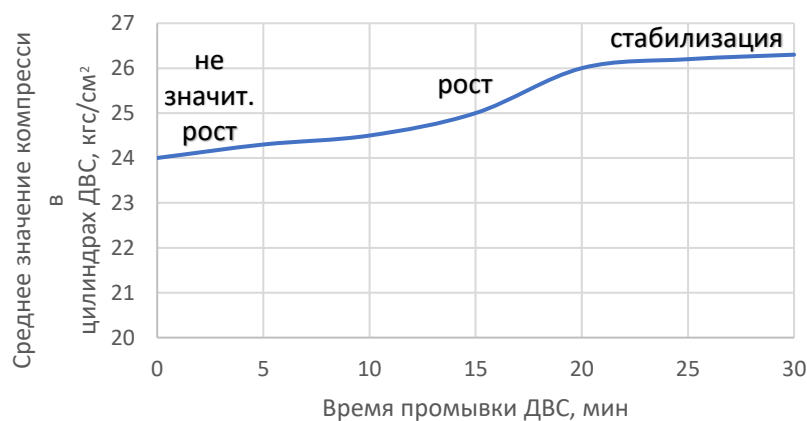


Рисунок 2.13 – Зависимость изменения компрессии в цилиндрах двигателя от времени промывки системы смазки промывочным маслом

Процесс роста и изменения компрессии можно характеризовать периодом, когда большая часть загрязнений в зазоре между кольцами и поршнем удаляется, и кольца становятся более подвижными.

Данный подход не позволяет судить об удалении твердых углеродистых отложений. Однако чаще всего промывочное масло не способно удалить твердые смолистые отложения с головки блока цилиндров, поверхностей поршней, но в определенной степени это характеризует эффективность процесса промывки, повышение эксплуатационных свойств двигателя, продление срока его службы до ремонта.

Анализируя представленные данные, просматривается взаимосвязь критериев оценки качества промывки системы смазки (рисунок 2.14).

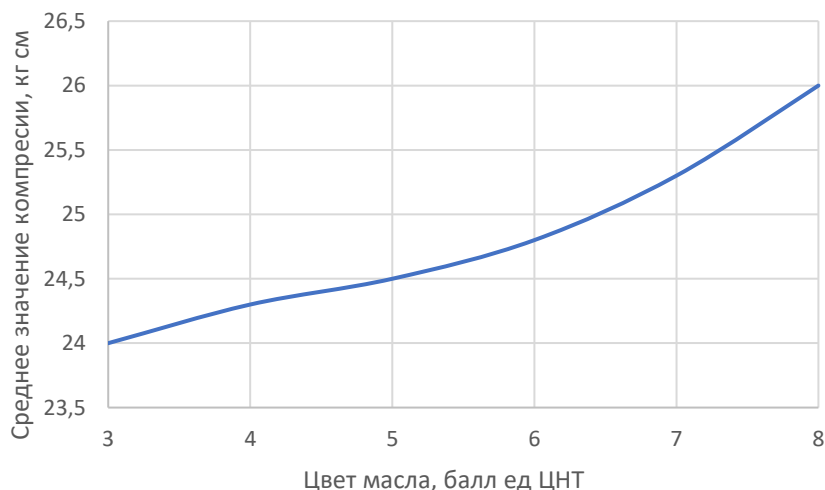


Рисунок 2.14 – Взаимосвязь показателей компрессии и изменения цвета промывочного масла

Зависимость имеет характер гиперболы с вертикальной асимптотой цвета масла.

Аппроксимируем данные трехпараметрической гиперболической зависимостью:

$$E = \frac{a}{c_0 - c} + b; \quad (2.45)$$

с подлежащими определению параметрами a , b и c_0 . Как видно из зависимостей, реальные значения, полученные опытным путем, в результате многочисленных

наблюдений, параметр b ожидается порядка 17–20 единиц, C_0 – порядка 6–7 единиц, параметр a порядка 1 единицы.

Используя метод наименьших квадратов «каноническая», функция примет вид:

$$F = \sum_{i=1}^N [E(C_i) - E_i]^2 = \sum_{i=1}^N \left[\frac{a}{c_0 - c_i} + b - E_i \right]^2; \quad (2.46)$$

где, C_i, E_i – данные измерений, в нашем случае $N=4$.

Приравнивая к нулю частные производные получаем:

$$\frac{\partial F}{\partial a} = 0 \quad \frac{\partial F}{\partial c_0} = 0 \quad \frac{\partial F}{\partial b} = 0; \quad (2.47)$$

Получим систему из трех уравнений относительно a, b и c_0 . Аналитически оно полностью не решается. Тогда для b можно получить выражение:

$$b = \frac{1}{N} \left[\sum E_i - a \sum \frac{1}{c_0 - c_i} \right]; \quad (2.48)$$

Подставляя его в два других, преобразуем каждое из них к виду:

$$a = \frac{\sum \frac{E_i}{c_0 - c_i} - \frac{1}{N} \sum E_i \sum \frac{1}{c_0 - c_i}}{\sum \frac{1}{(c_0 - c_i)^2} - \frac{1}{N} \left(\sum \frac{1}{c_0 - c_i} \right)^2}; \quad (2.49)$$

$$a = \frac{\sum \frac{E_i}{(c_0 - c_i)^2} - \frac{1}{N} \sum E_i \sum \frac{1}{(c_0 - c_i)^2}}{\sum \frac{1}{(c_0 - c_i)^3} - \frac{1}{N} \left(\sum \frac{1}{c_0 - c_i} \right)^2 \sum \frac{1}{c_0 - c_i}}. \quad (2.50)$$

Приравнивая друг к другу правые и левые части двух последних уравнений, получаем уравнение относительно C_0 , которое легко решить численно методом подбора параметра, $C_0 = 7,2$. Подставляя это значение в одно из двух последних уравнений, получим, $a = 1,05$. Подставляя a и c_0 , в приведенное выше уравнение для b , получим $b \approx 6,5$.

Таким образом, наша аппроксимирующая трехпараметрическая гиперболическая зависимость имеет вид (для данного конкретного случая):

$$E = \frac{1,05}{7,2 - c} + 6,5; \quad (2.51)$$

Как результирующую, получим дифференциальную функцию восстановления эффективности ДВС.

$$R(c) = \frac{dE}{dc} = \frac{1,05}{(7,2 - c)^2}. \quad (2.52)$$

Определять функцию «восстановления двигателя» можно на другом классе функции, не только на гиперболической. Однако подход, в целом, останется прежним.

Вместе с тем следует отметить, что предварительные исследования могут отличаться от реально получаемых значений, что предстоит подтвердить результатами экспериментальных исследований на двигателях тракторов с различной степенью загрязненности системы смазки.

2.4 Выводы

1. В результате теоретических исследований проведена оценка и определены предпосылки для разработки способа очистки и использования отработанного моторного масла для промывки системы смазки ДВС.

2. Получены уравнения, описывающие процесс коагуляции загрязнений с учетом остаточного действия присадок.

3. Предложена принципиальная схема очистки отработанных масел от загрязнений под действием реагентов для использования масла в качестве промывочной жидкости.

4. Описан гидродинамический процесс движения жидкости при получении состава промывочного масла. Получены уточненные уравнения для затопленной струи в процессе перемешивания масла с добавками.

5. Рассмотрены и предложены рациональные для использования в условиях АПК параметры и характеристики перемешивающего устройства и контроля качества очистки системы смазки в реальных условиях эксплуатации.

3 МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Оценка эффективности работы современных моторных масел и актуальности операции промывки системы смазки двигателей тракторов

По заявлениям разработчиков и производителей современных моторных масел в их составе присутствует комплекс моющих присадок, обеспечивающих работу двигателей тракторов практически без образования отложений на деталях цилиндро-поршневой группы весь период работы масла от замены до замены [30;39;40].

В соответствии с чем закономерен вопрос о целесообразности промывки системы смазки после слива, отработанного 250 - 300 часов моторного масла перед заправкой свежего.

В связи с чем, на предварительном этапе выполнения работы по разработке ресурсосберегающей технологии приготовления и использования промывочных масел на основе отработанных моторных масел, проведены исследования по оценке эффективности моторного масла М-10ДМ и его моющих свойств с исключением операций промывки системы смазки при регламентной замене моторного масла, и при ее проведении [117, 121].

Исследование и анализ проводились в реальных условиях эксплуатации в СХПК ПЗ «Пригородный» на тракторах МТЗ.

Перед началом испытаний проводился физико-химический анализ масла по следующим характеристикам: вязкость кинематическая при 100°С, щелочное и кислотное число масла, температура вспышки, цвет в единицах ЦНТ.

Исследования проводились на 2 тракторах, находящихся в приблизительно одинаковом техническом состоянии. При этом в одной из машин после слива отработанного свой срок моторного масла М-10ДМ проводилась операция промывки системы смазки промывочным товарным маслом, промывка двигателя другой машины не проводилась, и замена масла происходила сразу после слива отработанного моторного масла.

После первых 8 часов наработки из двигателей тракторов отбирались пробы масла для анализа изменения вязкости, загрязненности (содержание механических примесей, содержание нерастворимого осадка), щелочного и кислотного числа, изменения цвета моторного масла.

Далее через каждые 10 часов наработки из картера двигателя отбиралась проба масла и проводился анализ вышеперечисленных характеристик в течение всего времени до замены масла т.е. 250 часов наработки.

На основании полученных данных делается предварительный вывод о целесообразности и эффективности промывки системы смазки, необходимости проведения дальнейших исследований.

3.2 Методика оценки величины отложений на поверхности металла в зависимости от загрязненности моторного масла

Как известно, (раздел 1.1) на деталях двигателей внутреннего сгорания тракторов образуются загрязнения, величина которых в большей степени зависит от технического состояния (износа) деталей цилиндро-поршневой группы, качества и свойств используемого моторного масла.

Твердые отложения, нагары, формируются постепенно и их удаление не всегда представляется возможным. Смолистые отложения, в зависимости от наработки двигателя, могут переходить в твердые, трудно удаляемые загрязнения.

Для удаления загрязнений, разработки состава промывочного масла и алгоритма промывки важно знать механизм образования мазеподобных смолистых загрязнений, которые под действием температуры переходят в более твердые отложения.

Для рассмотрения процессов формирования загрязнений проводились исследования, моделирующие (в определенной степени) их образование в зависимости от загрязненности моторного масла и температуры нагрева поверхности металла.

Для этих целей изготавливались металлические стаканы из стали марки Ст3, диаметром 60 мм и высотой 15 мм. Каждый изготовленный образец промывался, прослушивался и взвешивался на электронных весах НК-250 AZG.

В подготовленные стаканы заливалось моторное масло М-10ДМ:

- товарное моторное масло М-10ДМ;
- товарное масло М-10ДМ, отработавшее в двигателе трактора МТЗ-82.1;
- масло М-10ДМ, проработавшее в том же двигателе 250 часов.

Толщина масляного слоя в стакане не превышала 2 миллиметра. Масло перед началом испытаний анализировалось по основным физико-химическим характеристикам:

- товарное по таким показателям как вязкость, щелочное и кислотное число, температура вспышки;
- работавшее в двигателе масло по таким показателям как вязкость, щелочное и кислотное число, температура вспышки, содержание механических примесей, содержание нерастворимого осадка.

Оценка характеристик масел проводилась в лабораторных условиях в соответствии с методиками, установленными ГОСТ на проведение физико-химических анализов [24 – 29]. Стаканы с маслом взвешивались и помещались на нагревательный элемент (электроплита), нагрев осуществлялся до образования на дне стакана неподвижной субстанции. После завершения нагрева стаканы охлаждались, происходило взвешивание. Полученная разница в массе до нагрева и после рассматривалась как масса загрязнений в зависимости от наработки и количества примесей в моторном масле.

3.3 Методика рассмотрения процесса растворения загрязнений под действием товарного промывочного масла

Образовавшиеся мазеподобные загрязнения на дне стаканов (методика 3.2) на следующем этапе исследования рассматривались на предмет растворения под действием промывочных товарных масел «Лукойл Стандарт» и «Роснефть».

В стаканы с осадком добавлялись промывочные масла. Стаканы накрывались крышками и помещались на нагревательный элемент. Нагрев осуществлялся до температуры 80 градусов по шкале Цельсия. После чего стаканы подвергались встряхиванию в течение 15 минут. Далее промывочное масло сливалось и производилось просушивание стаканов с последующим взвешиванием. Разница масс между исходным состоянием стаканов и загрязненным, до добавления промывочного масла и после взаимодействия с промывочным маслом считается как способность товарных масел размягчать и растворять загрязнения на поверхности металла.

Масло, сливаемое из стаканов, также проверялось на содержание нерастворимого осадка. Разница между исходным состоянием, когда содержание нерастворимого осадка равнялось нулю и полученным значением, оценивалась как способность масла растворять отложения.

3.4 Методика исследования возможности использования отработанного моторного масла в качестве основы промывочного масла

В качестве базового (основы) масла при приготовлении большинства производимых промывочных масел чаще всего используют индустриальное масло И-12А или И-20А.

Отработанное моторное масло по сравнению с индустриальным маслом содержит значительное количество загрязнений, продуктов старения.

При этом в отработанном моторном масле, по заявлению ряда исследователей, содержится значительное остаточное содержание присадок, по сравнению с индустриальным маслом. Если удалить из отработанного моторного масла все виды загрязнений, то полученный продукт может даже превосходить по своим характеристикам известные базовые масла.

Однако, как показывает опыт многолетних исследований ФГБНУ ВНИИТиН, существующие на сегодняшний день средства очистки масел (центрифуги, фильтры) не позволяют удалять из масла практически растворенные в нем смолы,

продукты окисления, что ограничивает использование отработанного масла в качестве базовой основы.

Одним из направлений, решающим задачи удаления мелкодисперсных загрязнений является их укрупнение и коагуляция, что упрощает их осаждение и удаление известными и доступными средствами и методами очистки.

3.4.1. Выбор реагентов для коагуляции загрязнений в масле

Учитывая опыт проведения исследований в данном направлении, полученный ФГБНУ ВНИИТиН при разработке способов очистки отработанных моторных, гидравлических, трансмиссионных и других масел [100, 111, 150], проводятся исследования по выбору наиболее эффективных реагентов для коагуляции загрязнений, с учетом необходимости снижения затрат на реализацию технологического процесса очистки и адаптацию к условиям применения в сельскохозяйственных предприятиях.

Для реализации процесса использовалось отработанное моторное масло М-10ДМ, слитое из картера двигателя трактора К-744.

Отработанное моторное масло анализировалось в лабораторных условиях на содержание механических примесей, воды, нерастворимого осадка, щелочному и кислотному числу, температуре вспышки и цвету.

Параллельно с этим, для упрощения процесса анализа в условиях предприятия АПК и дальнейшего рассмотрения возможностей контроля показателей использовались экспресс методы контроля масла.

В качестве реагентов на первом этапе рассматривались такие химические препараты и вещества как карбамид, моноэтаноламин, гидроксид аммония, изопропиловый спирт.

Отработанное моторное масло помещалось в сосуд и нагревалось до температуры 100°C, в него вносилась смесь моноэтаноламина 3 % и 3 % изопропилового спирта, смесь перемешивалась в течение пяти минут, и температура масла увеличивалась до 120-130.

Полученная смесь масла с реагентами использовалась по двум направлениям. По первому направлению проводился процесс центрифугирования в лабораторной центрифуге, при частоте вращения ротора 8000 об/мин в течение 15 минут, а по второму направлению смесь отстаивалась в сосуде (стакане), где через каждый час отбиралась капельная проба масла и помещалась на фильтровальную бумагу для анализа процесса коагуляции загрязнений и их осаждения.

По первому направлению оценка процесса коагуляции загрязнений и их удаления методом центрифугирования рассматривалась по каждой пробе масла, помещенной в камеру Горяева для дальнейшего рассмотрения под микроскопом "Биолам-70".

Укрупнение частиц с 0,1...0,7 мкм до размеров 15...20 мкм принималось как достаточно эффективное действие реагентов.

Процесс коагуляции и осаждения по хроматограмме масляного пятна заключался в анализе картины пятна и сравнении его с эталонным изображением.

Коагуляция- пятно из темно-серого переходило в четко выраженное черное в центре, с границей, переходящей в желтый цвет.

Осаждение - уменьшение ядра черного цвета до его полного исчезновения.

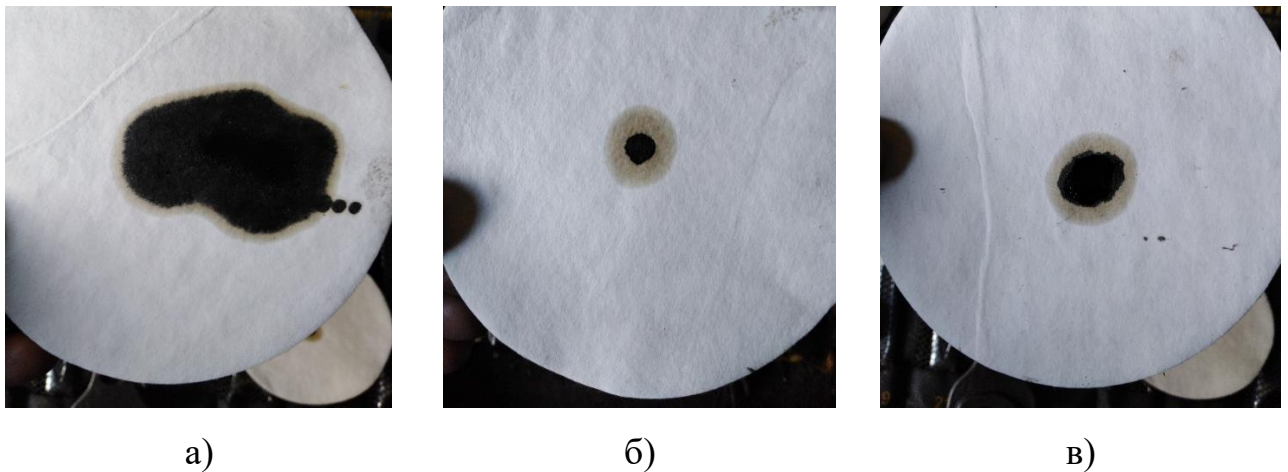
После завершения процесса осаждения проводился анализ масла по главным характеристикам - содержание нерастворимого осадка, щелочное и кислотное число лабораторными и экспресс методами.

Как известно из ранее проводимых институтом ФГБНУ ВНИИТиН исследований, использование изопропилового спирта может приводить к снижению вязкости (на 1...3 мм²/с), и температуры вспышки масла (с 220 до 170°С), что для наших условий использования очищенного масла можно рассматривать как положительный факт, так как у большинства промывочных масел температура вспышки находится в диапазоне 170...200°С, а вязкость в диапазоне 4...10 мм²/с.

По второму направлению в качестве коагулянтов и разделяющих агентов рассматривалась смесь карбамида с гидроксидом аммония в тех же пропорциях что и моноэтаноламина с изопропиловым спиртом.

Смесь готовилась путем предварительного измельчения карбамида и последующим перемешиванием его с гидроксидом аммония, нагрева смеси масла с реагентами до температуры 130°C и отстаивания. Контроль эффективности процесса коагуляции и удаления загрязнений проводился теми же методами что и по первому направлению.

На рисунке 3.1 представлен общий вид хроматограмм пятен масел для определения эффективности процесса коагуляции и осаждения загрязнений.



а - капля и хроматограмма исходного масла; б - капля масла после коагуляции;
в - капля масла после 30 минут отстаивания

Рисунок 3.1 – Определение эффективности процесса коагуляции и удаления загрязнений по масляному пятну

Данные реагенты (коагулянты) обеспечивают достаточно эффективную очистку отработанных моторных масел М-10Г₂ и М-10Г₂К. Моторное масло М-10ДМ содержит в своем составе более эффективный пакет присадок и в первую очередь моюще-диспергирующих [19]. Так как темно-коричневый, непрозрачный цвет масла затрудняет визуальное определение эффективности очистки системы смазки промывочным маслом.

На основании поставленной задачи получения максимально прозрачного и желтого цвета основы принималось решение использования *N*-метилперролидона в качестве коагулянта.

Известно, что данное вещество используется для очистки масел, практически не содержащих присадок, например трансформаторных, и вносится в масло в количестве 50% объема и более.

Для проведения исследования свойств *N*-метилперролидона отработанное моторное масло нагревалось до температуры 80°C и в него вносился препарат в количестве 10...50 %. Смесь подвергалась центрифугированию в лабораторной центрифуге при частоте вращения ротора 8000 об/мин в течение 30 минут с последующим анализом основных характеристик, основными и экспресс методами. Одним из направлений исследований и выбора рационального состава для удаления всех видов загрязнений и осветления отработанного масла являлась двухступенчатая система очистки.

На основании данного положения, масло, очищенное с использованием моноэтаноламина и изопропилового спирта, и масло очищенное с использованием карбамида растворенного в гидроксиде аммония, дополнительно очищалось с применением *N*-метилперролидона, с концентрацией внесения 10...50% от объема масла. Проба масла нагревалась до 80°C, в него вносился реагент и производилось перемешивание в течение 15 минут. Далее пробы разделялись, одна из которых подвергалась центрифугированию, другая подвергалась отстаиванию в течение 24 часов.

3.4.2. Выбор рациональной схемы технологического процесса удаления примесей из отработанного моторного масла

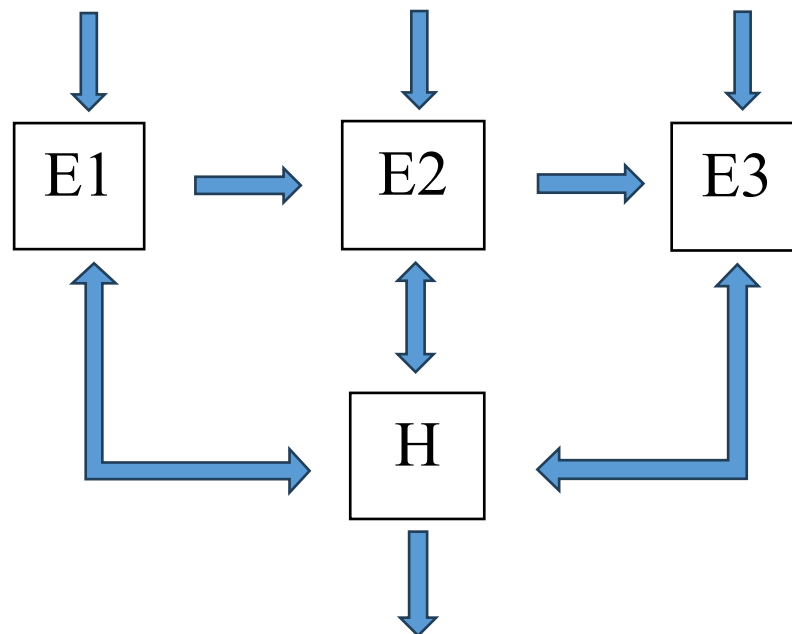
При выборе составов реагентов, рассмотрении процессов коагуляции и способа удаления скоагулировавших загрязнений предварительно рассматривались два направления – центрифугирование и отстаивание в поле гравитационных сил.

Первый способ предусматривает использование процесса центрифугирования. Способ и техническое средство – центрифуга в реальных условиях применения не должны нарушать достаточно непрочную «связь»

скоагулировавших загрязнений, а использование центрифуги не исключает дробление конгломератов. В данном случае более эффективно применять сепараторы, где эффект дробления минимизирован.

Использование различных видов фильтров предполагает их частую замену в силу быстрого закупоривания пор. Все рассмотренные способы требуют затрат на приобретение технических средств, их обслуживание и т.д. Способ отстаивания масел и осаждения загрязнений под собственным весом менее затратный, но уступает по производительности. В наших условиях получения основы для получения состава промывочного масла, используемого при замене отработанного моторного масла, производительность оборудования не является первоочередным критерием эффективности технологического процесса.

На основании данного подхода наиболее рациональной схемой очистки может быть принята схема и процесс отстаивания (рисунок 3.2). Предлагаемая схема может быть легко реализована в виде простой установки для очистки масел, а также приготовления состава масла с добавками (без применения фильтров и центрифуг).



E1, E2, E3 – емкости для масла; H – насос

Рисунок 3.2 – Принципиальная схема рационального способа очистки

3.5 Методика исследований по определению рационального состава промывочного масла

В процессе исследований использовалось моторное масло М-10ДМ, очищенное от всех видов загрязнений в соответствии с наиболее рациональным рассмотренным технологическим процессом удаления загрязнений.

В качестве компонентов, повышающих моющие свойства основы для удаления загрязнений из системы смазки, рассматривались следующие добавки:

- изопропилат калия;
- диметилсульфоксид;
- дизельное топливо

Выбор состава добавок основывался на анализе наиболее часто применяемых и рассматриваемых компонентов, добавляемых в масло для повышения моющих свойств масел, используемых для промывки системы смазки двигателей внутреннего сгорания [115, 129, 136]. Очищенное отработанное моторное масло М-10ДМ нагревают до температуры $80 \pm 5^\circ\text{C}$ и поочередно при перемешивании вносят в него дизельное топливо 1...5 масс. %, определяют изменение вязкости и температуры вспышки, далее диметилсульфоксид 1...5 масс. %, определяя щелочное и кислотное число, изопропилат калия 1...5 масс. % с анализом щелочного числа. Моющую способность масла после внесения каждого компонента оценивают на специально изготовленном устройстве (рисунок 3.3).



Рисунок 3.3 – Устройство для предварительного анализа моющих свойств масла с добавками

Устройство состоит из теплоизолированной трубы, с вставленной в нее кассетой из двух изогнутых по форме трубы пластин.

На поверхность пластин наносятся мазеподобные загрязнения – продукты очистки отработанного масла.

Кассета после нанесения загрязнений вставляется в трубу, далее в трубу заправляется исследуемый состав масла. Труба герметично закрывается крышками.

Температура предварительно нагретого масла с добавками составляла 40, 60 и 80°C.

После подготовки трубки ее устанавливают на платформу встряхивателя. Встряхиватель осуществляет возвратно-поступательные движения вдоль оси трубки. Процесс встряхивания продолжается в течение 30 минут, после чего трубка снимается и масло сливается для анализа. Достаются пластины и проводят оценку их загрязненности относительно исходного состояния. За исходное состояние принимается 100 % покрытие поверхности пластин загрязнениями.

Анализ характеристик масла, слитого из трубки, проводят на предмет содержания нерастворимого осадка и цвета масла в соответствии с методиками ГОСТ [24 – 29].

Параллельно с определением нерастворимого осадка на фильтровальную бумагу «белая лента» наносится капля масла для оценки изменения цвета пятна по бальной системе от 0 до 3.

- 0 – пятно желтого цвета;
- 1 – пятно светло-серого цвета;
- 2 – пятно темно-серого цвета;
- 3 – пятно черного цвета

Время после нанесения масляной капли до принятия решения об изменении цвета составляет 30 минут.

Принимается, что 1 балл – масляная смесь обладает низкими моющими свойствами; 2 – удовлетворительными моющими свойствами; 3 – хорошими моющими свойствами. После внесения всех компонентов и определения

рациональной концентрации добавок, проводятся окончательные сравнительные испытания экспериментального рационального состава промывочного масла на основе очищенного отработанного масла и товарного промывочного масла «Лукойл».

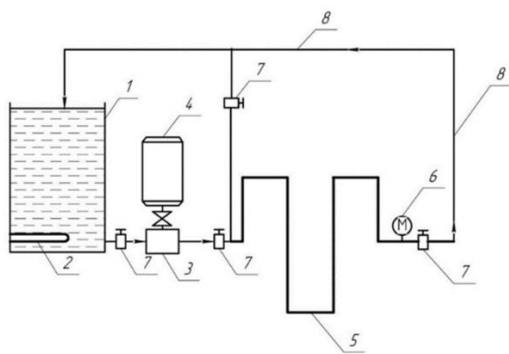
3.6 Исследование моющих свойств масел в устройстве, моделирующем работу системы смазки

В соответствии с методикой 3.5 определяется, в первом приближении, рациональный состав добавок в масле и их концентрация.

Однако эти исследования не позволяют приблизиться к реальным условиям работы промывочного масла в системе смазки двигателя из-за некоторых особенностей:

- давление в системе смазки при промывке ДВС может находиться в диапазоне от 1 до 4 кг/см²;
- система смазки имеет изгибы, где скапливаются отложения и загрязнения.

В соответствии с чем разработано и изготовлено устройство, моделирующее процесс движения масла по системе смазки (рисунок 3.4).



а)

б)

а – принципиальная схема; б – общий вид

Рисунок 3.4 – Устройство, моделирующее процесс движения промывочного масла по системе смазки

Устройство состоит из: бака – резервуара 1, нагревательного элемента 2, насоса НШ 3, электродвигателя 4, трубопровода 5, манометра 6, системы кранов 7, шлангов 8.

Исследования проводятся на очищенном отработанном моторном масле М-10ДМ с добавками и их концентрацией, определенной как рациональная и показавшая наилучший результат в исследованиях по методике 3.5.

Диаметр каналов в рассматриваемом устройстве значительно превосходит параметры каналов в реальной системе смазки. Данный факт объясняется отсутствием возможности при малых величинах оценить моющую способность масла.

Конструкция маслопровода предусматривает возможность изменения давления масла в системе, возможность разборки для нанесения загрязнений и оценки эффективности удаления загрязнений с поверхности металла. Подача масла осуществляется с помощью насоса НШ-32 с электроприводом. Регулирование давления масла в системе осуществляют за счет запорной арматуры и контролируют манометром. Время промывки системы смазки составляет 30 минут. Давление в системе смазки варьируют от 1 до 4 кг/см². Через каждые 10 минут работы системы из емкости с маслом отбирается проба масла для анализа содержания загрязнений и изменения цвета масла. Параллельно с этим на фильтровальную бумагу наносится капля масла для оценки изменения загрязненности по масляному пятну.

Исследования проводятся в сравнительных условиях на экспериментальном составе масла и товарном промывочном масле «Лукойл Стандарт». Эффективность промывки и удаления загрязнений осуществляется путем разборки системы и определения площади остаточной загрязненности на поверхностях труб и сравнивается с исходным состоянием.

Моющую способность масла в целом определяют по совокупному показателю площади загрязнений и содержанию загрязнений в масле после завершения операции промывки.

3.7 Оценка противоизносных свойств составов промывочных масел

Товарное промывочное масло, по сравнению с моторными маслами, как правило имеет более низкие противоизносные свойства, что ограничивает их использование в системе смазки 15-20 минутами работы.

Промывочные масла имеют более низкую вязкость и практически не содержат противоизносных присадок, что не позволяет им формировать в парах трения защитную масляную пленку для работы в длительном режиме.

К моменту завершения процесса промывки температура на поверхностях деталей (через 15-20 минут) может достигать до критически допустимой.

При использовании в качестве основы отработанного моторного масла этот факт сводится к минимуму, так как отработанное масло содержит остаточный запас антиокислительных, противоизносных присадок и промывочное масло на основе очищенного отработанного моторного масла в этом плане может иметь преимущество по сравнению с товарным промывочным маслом.

На основании вышеизложенного проводятся сравнительные исследования по оценке противоизносных свойств товарного масла марки «Лукойл», и экспериментального состава масла.

Испытания противоизносных свойств проводятся на машинах трения КТ-2 (ФГБНУ ВНИИТиН) и СМЦ-2 (ФГБОУ СГАУ имени Н.И. Вавилова) (рисунок 3.5).



а)



б)

а – Машина трения КТ-2; б – Машина трения СМЦ-2

Рисунок 3.5 – Общий вид машин трения

Испытания на машине трения КТ-2 проводятся при нагрузке 70Н и температуре масла 40, 60, 80, 100°C в течение 60 минут.

Противоизносные свойства оцениваются по диаметру пятна износа шаров Ø8 мм с помощью оптического микрометра.

Испытания на машине трения СМЦ-2 проводят на паре трения по схеме ролик-колодка. Материал пар аналогичен паре гильза-поршневое кольцо при твердости 190-220 НВ. Шероховатость поверхностей ролика и колодки 0,32...0,64 мкм. Запуск машины трения СМЦ-2 осуществляется при нагрузке 90Н, с последующим увеличением до 1,2 кН.

В результате проводимых исследований на данной машине трения определяется момент трения и температура поверхности ролика.

3.8 Определение элементного состава продуктов износа и загрязнений в промывочных маслах

Эффективность промывки системы смазки от загрязнений и продуктов износа является недостаточно проработанной и довольно актуальной задачей.

В производственных условиях практически отсутствуют методы контроля качества промывки системы смазки.

Инженерные службы ограничиваются визуальным наблюдением за изменением цвета масла с желто - прозрачного до черного, контролем изменения давления в системе смазки по приборам, встроенным в машину, и в редких случаях контролем изменения компрессии в цилиндрах.

Для наших условий разработки состава промывочного масла и оценки эффективности его работы данные показатели и характеристики являются недостаточными.

В связи с чем эффективность промывки системы смазки от продуктов износа контролировалась по содержанию металлов с помощью атомно-адсорбционного спектрометра МПА-915М (рисунок 3.6).



Рисунок 3.6 – Атомно-абсорбционный спектрометр МГА-915 М

Для выполнения измерений проводится отбор и подготовка проб масел для анализа, приготовление градуировочных растворов, подготовка графитовой кюветы и спектрометра к работе, его градуировка и проверка чистоты химических реагентов.

Объем проб масла для анализа составляет не менее 50 мл. Пробы отбираются в стержневые контейнеры со сроком хранения до проведения анализа не более одной недели.

При проведении анализа за аналитический сигнал нулевой точки принимается усредненный сигнал, полученный от пустой кюветы.

Масса (M , мг/л), того или иного элемента в кювете вычисляется по формуле:

$$M = C \cdot V, \quad (3.1)$$

где, C - массовая концентрация раствора масла, мкг/дм³ (мкг/л);

V - объем раствора, введенного в кювету, мм³ (мл).

Процедура нахождения массовой концентрации элемента при вводе в графитовую кювету 15,20 и 25 мм³ градуировочного раствора повторяется также не менее 3-х раз.

Для анализа результата используется специальное программное обеспечение, позволяющее рассчитывать среднее арифметическое и квадратичное отклонение ОСКО. Если ОСКО не превышает 6%, то градуировочная характеристика считается приемлемой.

При проведении исследований использовалось масло, приготовленное по

разработанной технологической схеме.

Для оценки эффективности промывки системы смазки были выбраны такие элементы, как железо и алюминий.

Выбор обосновывается тем, что данные элементы в определенной степени характеризуют как содержание в масле продуктов износа ЦПГ, образующихся в масле в процессе промывки, так и остаточные элементы после слива отработанного моторного масла.

В качестве исследуемых проб применялись следующие масла:

- моторное масло М-10ДМ товарное (после 30 минут его работы в двигателе трактора МТЗ на холостых оборотах в системе смазки без проведения операции промывки);

- разработанный состав промывочного масла, на основе очищенного отработанного масла М-10ДМ до промывки системы смазки;

- разработанный состав промывочного масла после промывки системы смазки в течении 30 минут.

Полученные результаты исследований свидетельствуют об эффективности промывочного масла, при этом принимается во внимание тот факт, что применение атомно-адсорбционной спектроскопии в условиях реальной эксплуатации является достаточно проблематичным и дорогостоящим методом контроля эффективности и качества промывки системы смазки.

3.9 Методика производственных испытаний экспериментального состава промывочного масла в двигателях тракторов

Для проведения производственных испытаний с двигателями тракторов сливалось отработанное моторное масло М-10ДМ. Объем отбора составлял 100 литров.

Масло доставлялось на участок очистки отработанных моторных масел ФГБНУ ВНИИТиН где проводилась его очистка с осветлением в соответствии с принятой схемой. Масло нагревалось в емкости до 80°C, далее в него вносилась

смесь изопропилового спирта и моноэтаноламина, в соответствии 3% от объема масла. Масло с добавками перемешивалось и нагревалось до температуры 110°C. Далее масло отстаивалось в течение 24 часов, когда отмечалась граница раздела фаз – светлой и темной на контрольном щупе. Верхняя отстоявшаяся часть масла – 90 % от объема сливалась в другую емкость. После чего масло вновь нагревалось до температуры 80°C и в него при перемешивании вносилось 10 % к объему добавка *N*-метилперролидона. Масло с добавкой отстаивалось в течение 24 часов. Отстоявшееся масло 85 % от объема сливалось в третью емкость, где производился процесс его нагрева до температуры 80°C и внесение элементов моющих добавок и дизельное топливо.

Для проведения производственных испытаний полученный состав промывочного масла доставлялся в СХПК «Борец» Сампурского округа и СХПК ПЗ «Пригородный» Тамбовского округа.

В соответствии с информацией инженерных службы хозяйства определялись трактора максимально приближенные по срокам замены моторного масла. Важным критерием выбора являлись двигатели тракторов со значительным сроком службы (8-10 лет), со сниженным значением мощностных характеристик при высоких нагрузках, увеличенным расходом топлива. На основании данных предварительного анализа выбраны три трактора МТЗ-82. С помощью эндоскопа оценивалась загрязненность внутренних поверхностей (рисунок 3.7).

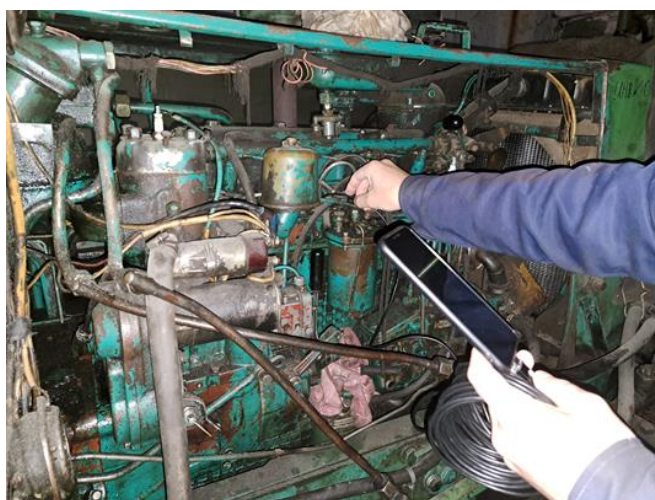


Рисунок 3.7 – Контроль загрязненности поверхностей деталей ДВС с помощью эндоскопа

Проводилось определение компрессии в цилиндрах с помощью компрессометра КИ-28125. Замер проводился с трехкратной повторяемостью, а полученные данные сравнивались с нормативными значениями. Значение компрессии оценивалось как до промывки системы смазки, так и после.

Неравномерность компрессии в цилиндрах рассчитывается по формуле:

$$N = \frac{2(P_{max} - P_{min})}{P_{max} + P_{min}} 100\%; \quad (3.2)$$

где P_{max} - наибольшая величина компрессии в цилиндрах, МПа;

P_{min} - наименьшая величина компрессии в цилиндрах, Мпа.

Допустимая неравномерность не должна превышать 10 %.

Повышение подвижности поршневых колец и удаление отложений на деталях цилиндра-поршневой группы, как известно, связано с расходом топлива, а расход топлива, в определенной степени, зависит и от чистоты деталей ЦПГ. В свою очередь расход топлива является косвенной характеристикой эффективности промывки системы смазки двигателя от загрязнений.

Для оценки данного эффекта перед началом промывки системы смазки и после ее завершения проводился замер расхода топлива с помощью расходомера «БелАК». Также проводилась разборка и промывка центрифуги очистки масла системы смазки ДВС.

Как и при проведении экспериментальных исследований, проводилась оценка загрязненности системы смазки и эффективности ее промывки в лабораторных условиях и экспресс методами, проводился анализ физико-химических характеристик промывочного масла по таким показателям как: содержание нерастворимого осадка, механических примесей, проводилось определение щелочного и кислотного числа. Методами капельных проб непосредственно в условиях испытаний проводился анализ изменения загрязненности на фильтровальной бумаге «Белая лента».

После проведения подготовительных и оценочных работ в двигатели тракторов заправлялось экспериментальное промывочное масло. Двигатель запускался и работал попеременно по 2-3 минуты на холостых оборотах и

повышенных (1500-1600 об/мин). Через каждые 10 минут из картеров посредством специально установленных кранов (на место сливной пробки) отбиралась проба масла и на фильтровальную бумагу наносилась капельная проба. Полученные данные заносились в журнал наблюдений.

На протяжении всего времени промывки фиксировалось изменение давление в системе смазки и температуры масла по датчикам в кабине трактора.

После завершения промывки системы смазки двигатель останавливался, снималась и очищалась центрифуга очистки масла с анализом и замером толщины отложений на стенках ротора. Выворачивались форсунки и посредством эндоскопа с фотофиксацией определялась чистота поверхностей деталей ЦПГ.

Далее в двигатель заправлялось свежее масло, измерялась компрессия в цилиндрах, расход топлива. Тракторы направлялись для выполнения с/х работ.

Перед запуском наблюдаемых и подвергаемых испытаниям тракторов в условия повседневной эксплуатации принималось решение о необходимости сравнительного анализа, заключающегося в сравнении изменения свойств моторного масла в двигателях, где перед заменой масла была проведена промывка и в двигателе трактора МТЗ, где замена масла проводилась без промывки системы смазки. Проводился контроль изменения физико-химических характеристик в течении первых 50 часов наработки.

На основании всего комплекса исследований и испытаний составлялся акт и протокол производственных испытаний.

3.10 Методика исследований по восстановлению загрязненного промывочного масла для повторного применения

Промывочное масло после его применения в ДВС содержит значительное количество загрязнений, продуктов окисления и старения масла, механических примесей, смол и подлежит утилизации.

В литературных источниках практически отсутствует информация о способах и методах утилизации и переработки промывочных масел.

Исходя из опыта работы и информации полученной лабораторией «использования смазочных материалов и отработанных нефтепродуктов» ФГБНУ ВНИИТиН отработанное промывочное масло сливается в общую емкость как смесь отработанных нефтепродуктов.

При этом возникает вопрос о целесообразности и эффективности данного подхода. Промывочное масло работает в двигателе не более 30 минут, и его базовая составляющая практически не изменяется.

Очистить промывочное масло от механических примесей возможно достаточно простыми средствами, такими как центрифуга и фильтры. Однако удалить растворенные смолистые отложения не представляется возможным.

Для установления возможности повторного использования, проработавшего в ДВС промывочного масла, проводились исследования по его регенерации способом, разработанным при выполнении данной работы.

Отработавшее в двигателе трактора МТЗ-82 промывочное масло на основе отработанного моторного масла с моющими добавками сливалось в емкость и подвергалось исследованиям. Проводился анализ его физико-химических характеристик, таких как: вязкость, содержание механических примесей, нерастворимого осадка, определение кислотного и щелочного числа, температуры вспышки и цвета масла.

Далее масло подвергалось очистке с помощью центрифуги (на установке УОМ-3М ФГБНУ ВНИИТиН) и вновь анализировалось на содержание примесей и смол, изменение цвета масла.

На следующем этапе проводились исследования по очистке масла физико-химическим способом т.е. с использованием реагентов, применяемых для коагуляции растворенных мелкодиспергированных примесей.

Отработанное промывочное масло нагревалось в емкости до температуры 80°C. В отдельной емкости (стакане) готовился раствор карбамида в гидроксиде аммония. Карбамид предварительно измельчался, далее смешивался с гидроксидом аммония 50:50 в концентрации к загрязненному маслу 1,2,3 масс %.

Полученная смесь нагревалась и перемешивалась до полного растворения

карбамида и добавлялась к маслу. Температура масла с добавками увеличивалась до 110°C при постоянном перемешивании смеси в течение 10 минут.

После проведения данных манипуляций часть масла подвергалась очистке на лабораторной центрифуге при частоте вращения ротора 8000 об/мин, другая часть оставлялась для отстаивания.

Через каждый час отстаивания масла, из него отбиралась капельная проба и помещалась на фильтровальную бумагу. Отстаивание проводилось до тех пор, пока пятно не станет желтого цвета без следов загрязнений.

Если масло показывало недостаточные моющие свойства, то в него вносились моющие добавки.

При проведении данных исследований не ставилась задача стендовых или производственных испытаний восстановленного промывочного масла на основе отработанного моторного масла.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Результаты исследований по оценке актуальности проведения операции промывки системы смазки двигателей тракторов от загрязнений

В результате работы двигателей тракторов в условиях сельскохозяйственного производства, моторные масла претерпевают значительные изменения. В них накапливаются продукты старения, загрязнения, происходит угар и срабатывание присадок [55, 71, 73, 98].

По достижении наработки 250-300 часов, масла становятся непригодными к дальнейшему использованию и сливаются при проведении операции технического обслуживания трактора [97, 99].

Вместе с тем, из-за отсутствия средств оперативного контроля, бортовых технических средств анализа изменения показателей и свойств работающих в двигателях масел, их характеристики могут изменяться с отклонениями от известных закономерностей по ряду известных причин [108, 114]:

- величина нагрузки;
- качество товарного заправляемого масла с отклонениями от требований стандартов;
- неудовлетворительное техническое состояние и износ деталей двигателя, вызывающие повышенные температуры, образование нагаров, интенсификацию образования продуктов старения в масле, увеличение угара;
- использование дизельных топлив утяжеленного фракционного состава с повышенным содержанием фактических смол.

В связи с чем, к периоду наработки 150-200 часов масло может быть непригодным к использованию, а загрязнения, смолы, асфальтены повышают риск увеличения образования отложений, загрязнений в каналах системы смазки, на дне масляного картера [134, 138, 148].

Для снижения влияния загрязнений на эксплуатационные характеристики двигателя, продления сроков его службы, увеличения межремонтного периода, в

регламенте обслуживания предусмотрена операция промывки системы смазки (см. раздел 1.1, 1.2). Однако данные операции в АПК используются крайне редко.

Разработчики и производители моторных масел на минеральной основе для дизельных двигателей тракторов утверждают, что такие современные масла как М-10ДМ, выпускаемое по ТУ, масло М-10Г₂ и др. обладают высокими моющими, моюще-диспергирующими свойствами и способны обеспечивать эффективную работу двигателя, отсутствие нагаров и отложений на деталях цилиндро-поршневой группы весь период эксплуатации до замены масла [10, 139].

Перед началом проведения экспериментальных исследований оценим заявленные преимущества в реальных условиях эксплуатации. Проведем сравнительный анализ изменения свойств моторного масла при условии его замены с промывкой системы смазки и без нее в условиях работы тракторов при выполнении сельскохозяйственных полевых работ.

Для предварительной оценки актуальности проводимых исследований по разработке состава промывочного масла проведены наблюдения и анализ, способствующие подтверждению правильности выбранной цели, поставленной на основании анализа состояния вопроса.

Под наблюдение были взяты тракторы марки МТЗ, эксплуатирующиеся в сельскохозяйственном предприятии СХПК ПЗ «Пригородный».

В таблице 4.1 представлены физико-химические характеристики товарного моторного масла М-10ДМ.

Таблица 4.1 – Основные физико-химические характеристики товарного моторного масла М-10ДМ производимого по ГОСТ 8581-78

Показатели	Значения
Щелочное число, мг <i>КОН</i> /г	9,0
Кинематическая вязкость мм ² /с при 100°С	12
Температура вспышки в открытом тигле, °С	230
Кислотное число, мг <i>КОН</i> /г	1,8
Механические примеси	отсутствуют
Цвет, балл ед. ЦНТ	5,0

Товарное масло заправлялось в двигатели тракторов после слива отработанного моторного масла (той же марки).

В первом случае масло заправлялось сразу после слива отработанного масла и промывки центрифуги без очистки системы смазки от загрязнений.

Во втором случае после слива отработанного масла в картер двигателя заправлялось промывочное масло компании «Лукойл». Двигатель работал на данном масле на холостых оборотах в течение 20 минут, после чего масло сливалось, и в картер заправлялось товарное моторное масло М -10ДМ.

Далее обе машины работали в обычном режиме в течение 8 часов. После завершения работ и остановки двигателя из картеров отбирались пробы масла, объемом 0,5 литра для проведения сравнительного анализа физико-химических характеристик.

В таблице 4.2 приведены результаты анализа.

Таблица 4.2 – Результаты анализа основных физико-химических характеристик масла М-10ДМ, работавшего в двигателях тракторов МТЗ 8 часов

Показатели	Показатели	
	Масло М-10ДМ (без промывки системы смазки)	Масло М-10ДМ (с промывкой системы смазки)
Щелочное число, мг <i>КОН</i> /г	8,5	9,0
Кинематическая вязкость мм ² /с при 100°С	12,2	11,8
Температура вспышки в открытом тигле, °С	230	225
Кислотное число, мг <i>КОН</i> /г	1,95	1,82
Механические примеси, %	0,12	0,03
Содержание нерастворимого осадка, %	0,08	Отс.
Цвет, балл ед. ЦНТ	6,5-7,0	5,0-5,5

Анализируя результаты, представленные в таблице 4.2 следует отметить, что моторное масло после 8 часов работы в двигателе без промывки системы смазки

изменило цвет на 1,5-2,0 балла, незначительно возросло содержание нерастворимого осадка по сравнению с товарным маслом (таблица 4.1). Содержание механических примесей соответствует значению 0,12 как следствие «смыва» оставшихся примесей после заправки свежего масла.

В моторном масле М-10ДМ, заправленном в двигатель после промывки системы смазки промывочным маслом компании «Лукойл» показатели за 8 часов работы двигателя практически, не изменились (таблица 4.2).

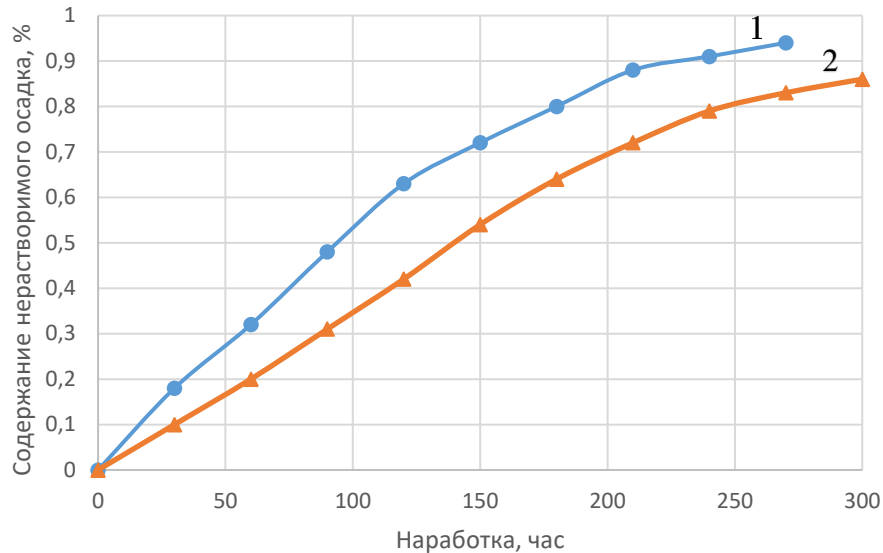
Полученные результаты не раскрывают полностью понимания о моющих свойствах современного моторного масла, позволяющего полностью отказаться от операции промывки системы смазки двигателя перед заменой моторного масла.

Существует некоторое видение ученых и практиков о том, что остаточные продукты окисления (как в первом случае, когда масло заменено без промывки системы смазки) интенсифицируют процесс старения масла и снижают срок его службы до замены, ухудшают эксплуатационные характеристики двигателя и его надежность.

Проведенные исследования позволили сделать предположение о реалистичности выдвинутых ранее гипотез, что послужило основанием продолжить наблюдение и анализ изменения свойств моторного масла без промывки и с промывкой системы смазки. Наблюдение и контроль показателей проводились в течение 300 часов наработки. Тракторы в течение всего периода работали на аналогичных сельскохозяйственных работах (культивация, боронование, транспортные работы).

Через каждые 30 часов работы из картера двигателя через кран, установленный на место сливной пробки, отбиралась проба масла для анализа изменения содержания механических примесей, нерастворимого осадка, щелочного и кислотного числа, цвета масла, в соответствии с методиками ГОСТ, в лабораторных условиях ФГБНУ ВНИИТиН.

На рисунке 4.1 представлены зависимости изменения содержания механических примесей и нерастворимого осадка в масле от наработки.



- 1 – изменение содержания нерастворимого осадка в двигателе трактора №1 без промывки системы смазки;
- 2 – изменение содержания нерастворимого осадка в двигателе трактора №2 с промывкой системы смазки

Рисунок 4.1 - Изменение содержания нерастворимого осадка в масле от наработки

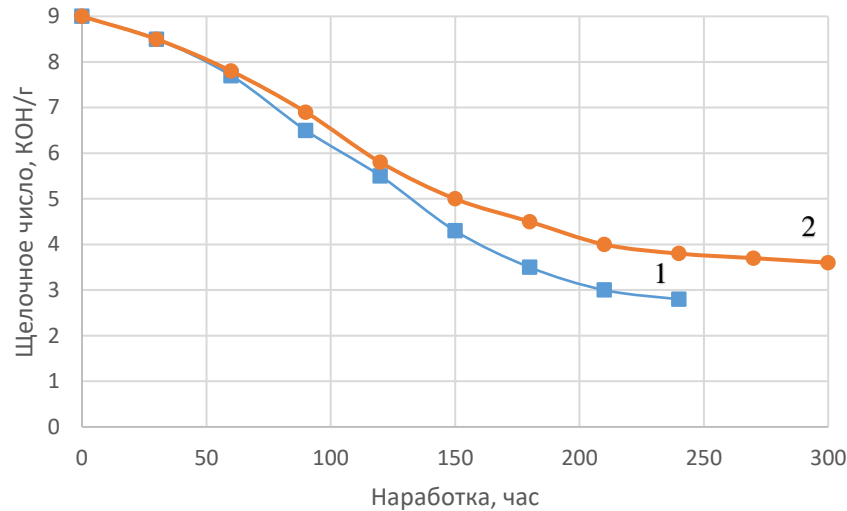
Установлено, что содержание нерастворимого осадка и в первом, и во втором тракторе изменилось в соответствии с известной закономерностью. Однако, в наблюдаемом тракторе 1, где не производилась операция промывки системы смазки, к 240 часам наработки содержание нерастворимого осадка приблизилось к браковочным значениям.

В двигателе трактора 2 содержание механических примесей к 240 часам наработки не превышало 0,9% и масло продолжало работать до 300 часов. Содержание нерастворимого осадка в масле трактора 1 к 240 часам составило 0,92%, а у трактора 2 - 0,8%.

Сравнивая данные показатели, можно однозначно утверждать, что промывка системы смазки позволяет продлить срок службы моторного масла.

Интенсивность срабатывания присадок в маслах оценивалась по изменению щелочного числа масла. На рисунке 4.2 представлены зависимости изменения

щелочного числа в масле от наработки, без промывки и с промывкой системы смазки.



1 – без промывки системы смазки; 2 – с промывкой системы смазки

Рисунок 4.2 – Изменение щелочного числа масла М-10ДМ от наработки в двигателе тракторов МТЗ-82

Анализируя полученные зависимости следует отметить, что в двигателе трактора 2, где после слива отработанного масла проводилась промывка системы смазки, по сравнению с 1, щелочное число к моменту завершения наблюдения имело значение на 10-15 % выше, что свидетельствует о его высокой работоспособности. Удаление смолистых отложений и загрязнений позволило снизить «расход» присадок (на нейтрализацию продуктов окисления).

В целом, анализируя результаты исследований, однозначно следует признать эффективность и целесообразность промывки системы смазки после слива отработанного моторного масла.

В условиях работы тракторов с более мощными двигателями, на работах с более высокими нагрузками, на топливах и маслах с отклонениями от требований ГОСТ данный факт может быть значительно убедительнее. Как отмечено в анализе состояния вопроса, промывочные масла также имеют различные характеристики и моющие свойства.

При всем при этом не следует упускать из внимания и тот факт, что объем картеров двигателей тракторов может быть различным и вмещать от 10 до 30 литров масла, а это при цене промывочного масла от 100 до 1000 рублей за 1 литр значительно повышает затраты на техническое обслуживание трактора.

Анализ капельных проб масел показал на адекватность и целесообразность, в первом приближении, оценки фактического состояния и загрязненности моторного масла, сроков его замены, вместе с контролем щелочного числа экспресс-методом с помощью переносной лаборатории ФГБНУ ВНИИТИН.

4.2 Результаты исследований по оценке динамики изменения свойств моторного масла и образования загрязнений от наработки

Исследование заключалось в следующем. В специально изготовленные металлические стаканы заливалось свежее товарное масло М-10ДМ, и это же масло, но проработавшее в двигателях тракторов «МТЗ» 125 и 250 часов. Стаканы помещались на нагревательный прибор (электроплиту) и подвергались непрерывному нагреву в течение 8 часов. Через первые 4 часа нагрева и далее через каждые 2 часа производилось взвешивание стаканов на аналитических весах и оценивалось изменение массы стаканов и характеристики моторного масла.

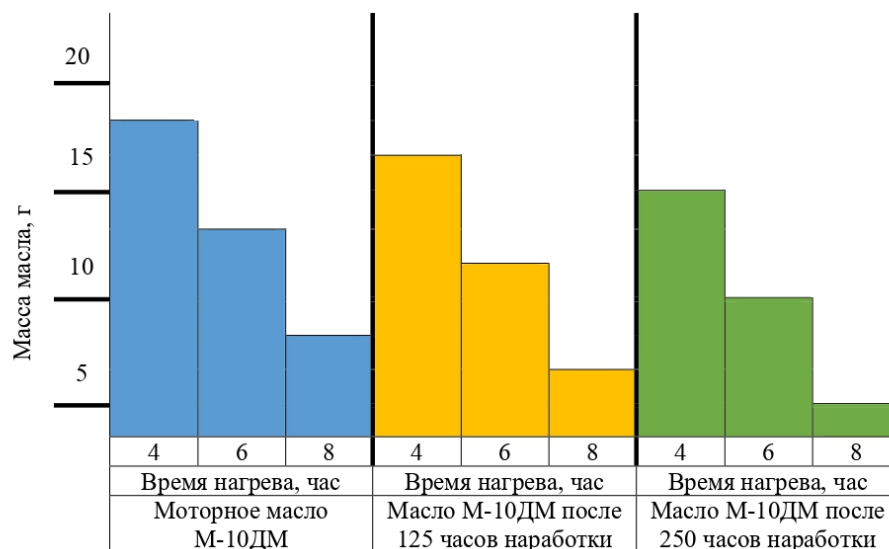


Рисунок 4.3 – Динамика изменения массы масла М-10ДМ в зависимости от времени его нагрева

Установлено, что масса по мере нагрева товарного масла снизилась с 17 до 8г за 8 часов нагрева, еще более низкие показатели у масел проработавших в двигателе 125 и 250 часов.

В данном случае температура на нагревательном элементе и в масле не контролировалась. При более высоких температурах нагрева полученные значения могут существенно отличаться.

Для наших условий было важно оценить возможность образования отложений и динамику их образования с целью оценки слоя загрязнений для проведения дальнейших исследований.

По результатам измерения толщины слоя осадка в стаканах с загрязненным маслом определено, что на поверхности металла образуется слой загрязнений темного (черного) цвета. Данные загрязнения в последующем будут рассмотрены при проведении исследований по их удалению промывочными маслами.

На рисунке 4.4 представлены результаты оценки формирующегося слоя загрязнений в зависимости от времени нагрева.

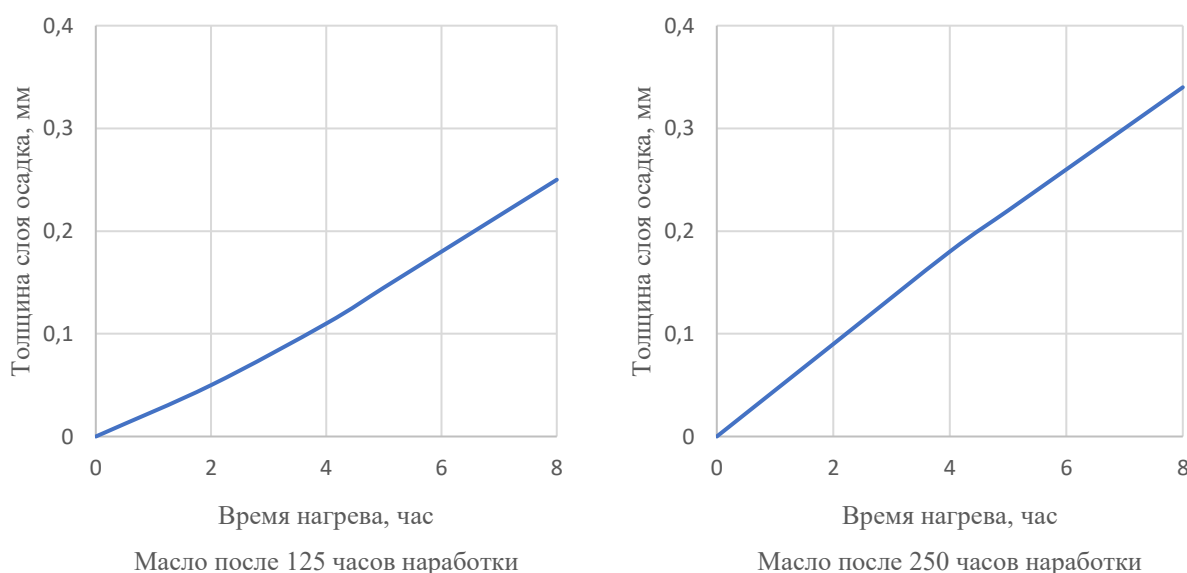


Рисунок 4.4 – Зависимость изменения толщины слоя осадка от времени нагрева в стакане и наработки (загрязненности) масла

После слива масла из стаканов, на дне образуется осадок, который зависит в большей степени от исходной загрязненности масла. Осадок представляет собой мазеподобную субстанцию.

Как и в результате наблюдений за формированием осадка в стакане (раздел 4.1) при рассмотрении процесса на работавших маслах подтверждается гипотеза возможности образования отложений в ЦПГ и на других деталях (картер, масляные каналы, при нахождении масла в т.ч. и в состоянии «покоя»).

В соответствии с принятой методикой проводился анализ изменения свойств масел, подвергающихся нагреву.

На рисунке 4.5 представлена зависимость изменения загрязненности моторного масла М-10ДМ используемого в двигателе трактора МТЗ-82, в зависимости от наработки и температуры нагрева.

Определено незначительное увеличение содержания нерастворимого осадка в масле при увеличении времени нагрева.

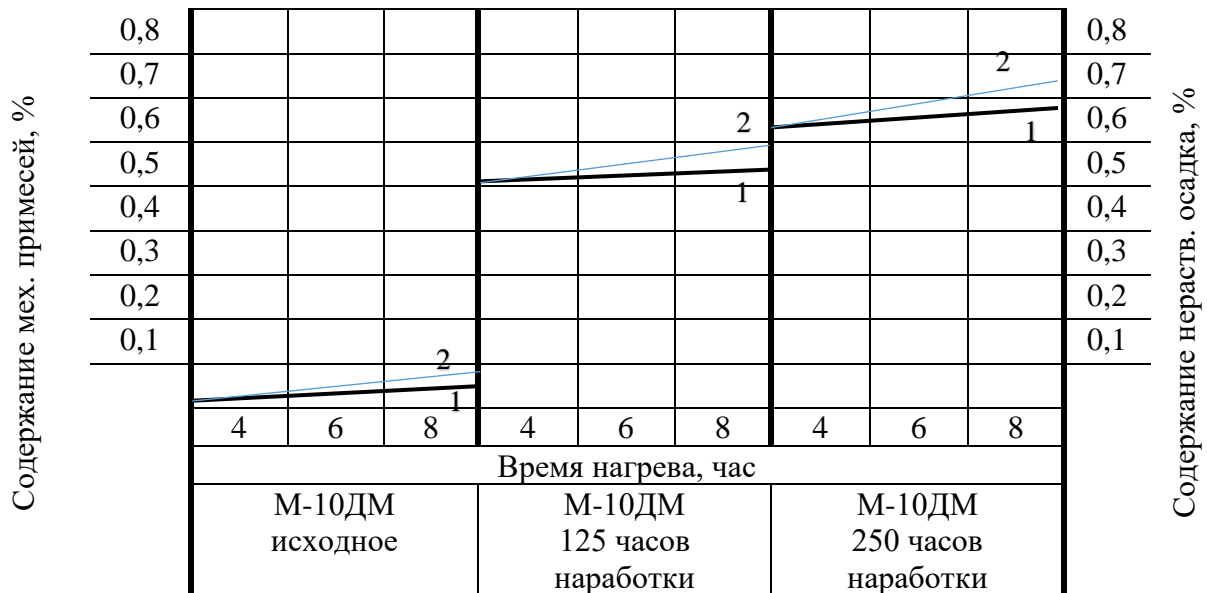


Рисунок 4.5 – Зависимость изменения содержания механических примесей (1) и нерастворимого осадка (2) в масле от наработки и времени нагрева

На рисунке 4.6 представлена зависимость изменения щелочного и кислотного числа масла от наработки и времени нагрева.

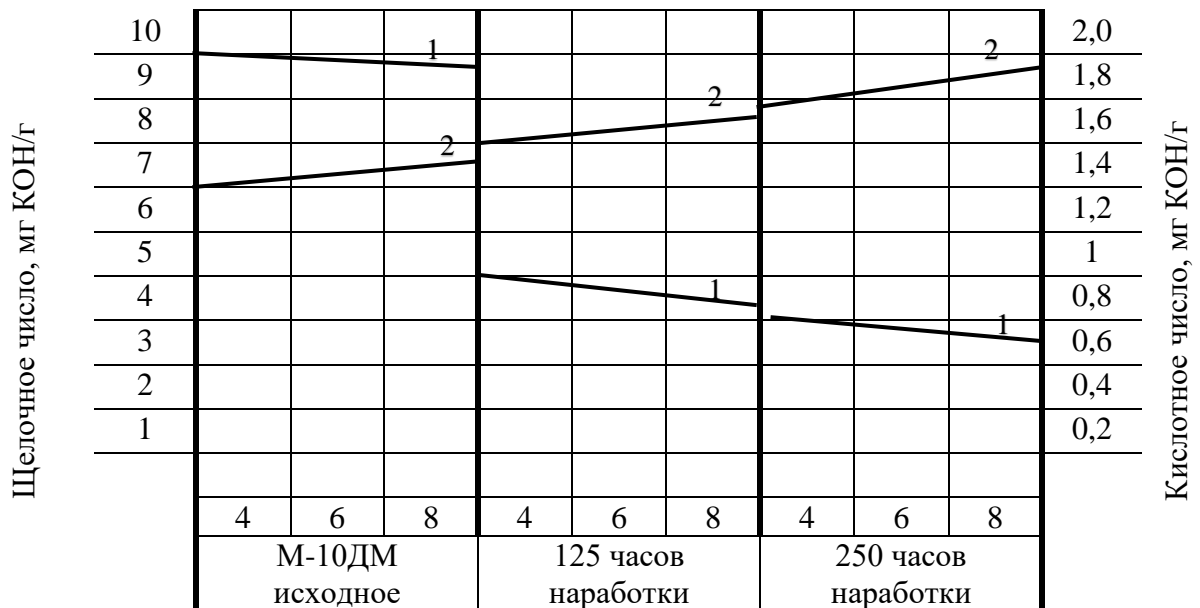


Рисунок 4.6 - Зависимость изменения щелочного (1) и кислотного (2) числа от наработки и времени нагрева масла

Установлено, что при нагреве масла в зависимости от его загрязненности, на поверхности металла образуется слой отложений, что коррелируется с общим представлением об образовании отложений на деталях ЦПГ.

Чем моторное масло больше загрязнено, тем больше вероятность формирования на поверхности металла слоя отложений. Тем меньше его срок службы до замены по основным браковочным характеристикам.

4.3 Определение характеристик и параметров процесса получения основы промывочного масла из отработанного моторного масла и разработка способа очистки

Промывочное масло состоит из основы, базового масла и добавок для повышения его моющих, противоизносных свойств [72, 143].

Отработанное моторное масло загрязнено механическими примесями, смолами, асфальтенами, водой, продуктами сгорания топлива и окисления самого масла [12, 146]. При этом в масле чаще всего присутствует остаточное содержание противоизносных, моющих, антикоррозионных и других присадок, порядка 15-30% от первоначального содержания [14, 15].

В литературных источниках, в результате анализа состояния вопроса, не найдено работ и составов масел, где в качестве базового компонента промывочного масла рассмотрено отработанное моторное масло.

Данный факт возможно объяснить отсутствием способов глубокой очистки отработанного масла от загрязнений с целью его дальнейшего использования в качестве базового масла.

При приготовлении промывочных жидкостей наиболее близкими значениями и показателями обладает отработанное моторное масло, очищенное по известному способу и технологиям ФГБНУ ВНИИТиН [13, 100].

К характеристикам, ограничивающим возможность использования очищенных моторных масел в качестве базовых для разработки состава промывочного масла, прежде всего относится остаточное содержание нерастворимого осадка, цвет масла, незначительное остаточное количество продуктов окисления, старения масла [2, 7, 147].

Использование известных способов ФГБНУ ВНИИТиН также ограничивается для наших условий и целей, требует применения специального оборудования, что увеличивает затраты на получение конечного продукта.

В соответствии с задачей разработки способа и технологии очистки отработанных масел проводятся исследования в соответствии с методикой 3.5

В таблице 4.3 представлены физико-химические характеристики отработанного масла, используемого для очистки, слитого из картера двигателя по достижении наработки 250 часов и после очистки известным способом ФГБНУ ВНИИТиН, и индустриального масла И-20А, применяемого в качестве базового при промышленном изготовлении промывочных масел.

Таблица 4.3 – Сравнительная характеристика масел, используемых при проведении экспериментальных исследований по разработке способа очистки и получения состава промывочного масла

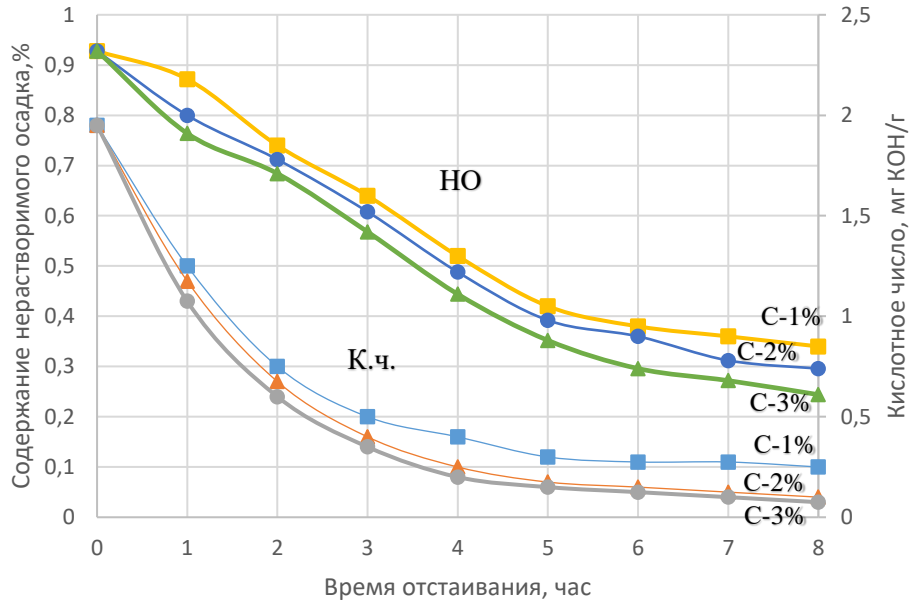
Показатели	Отработанное моторное масло М-10ДМ	Отработанное масло М-10ДМ очищенное	Товарное масло И-20А (базовое) ГОСТ 20799-88
Вязкость кинематическая, мм ² /с при 100 ⁰ С	11,1	10,5	29-35
Содержание мех. примесей, %	0,95	отс.	отс.
Содержание нерастворимого осадка, %	0,80	0,1	отс.
Содержание воды, %	0,1	отс.	следы
Температура вспышки, ⁰ С	195	200	200
Щелочное число, мг КОН/г	3,5	2,8	не нормир.
Кислотное число, мг КОН/Г	1,9	0,15	0,03
Цвет масла, балл ед.ЦНТ	9	6	3

В целом очищенное отработанное моторное масло по способу ВНИИТиН имеет удовлетворительные показатели, за исключением содержания нерастворимого осадка, кислотного числа и цвета масла.

В процессе очистки по способу ФГБНУ ВНИИТиН использовались известные реагенты, бак-реактор и установка для очистки масел УОМ-100. Очистка производилась в условиях экспериментального производства ФГБНУ ВНИИТиН.

На первом этапе исследования производился выбор наиболее эффективных реагентов. Отработанное моторное масло М-10ДМ нагревалось до температуры 100⁰С. Далее в масло вводился размолотый и растворенный в гидроксиде аммония карбамид в концентрации 1...3% масс. Смесь нагревалась до температуры 135⁰С и перемешивалась в течение 15 минут. После чего отбиралась проба масла для рассмотрения под микроскопом эффективности процесса коагуляции.

Производился отстой масла в течение 8 часов. Через каждый час отстаивания в условиях химической лаборатории оценивалось изменение содержания механических примесей, нерастворимого осадка, кислотного числа и цвета масла.



НО -нерастворимый осадок; К.ч. – кислотное число; С – концентрация карбамида
 Рисунок 4.7 – Зависимость изменения содержания нерастворимого осадка и кислотного числа масла от концентрации карбамида в гидроксиде аммония и времени отстаивания

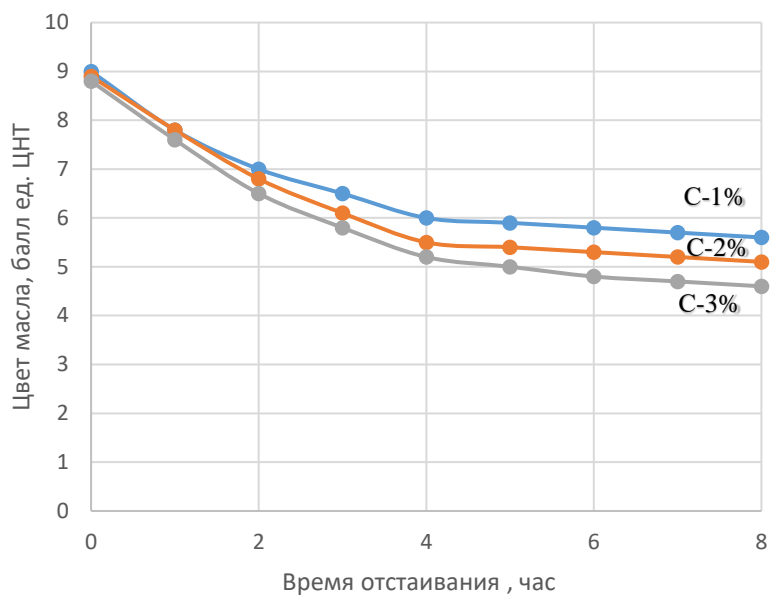
Установлено, что внесение карбамида позволяет значительно снизить содержание нерастворимого осадка и кислотное число.

Однако, данные значения не до конца удовлетворяют требованиям, предъявляемым к базовому маслу.

Рациональной концентрацией карбамида в гидроксиде аммония в масле является значение 3% [108]. Время осаждения частиц загрязнения может составлять от 4 до 8 часов.

Использование центробежных очистителей масла (моделирование на лабораторной центрифуге) позволяет сократить время очистки в 8-10 раз.

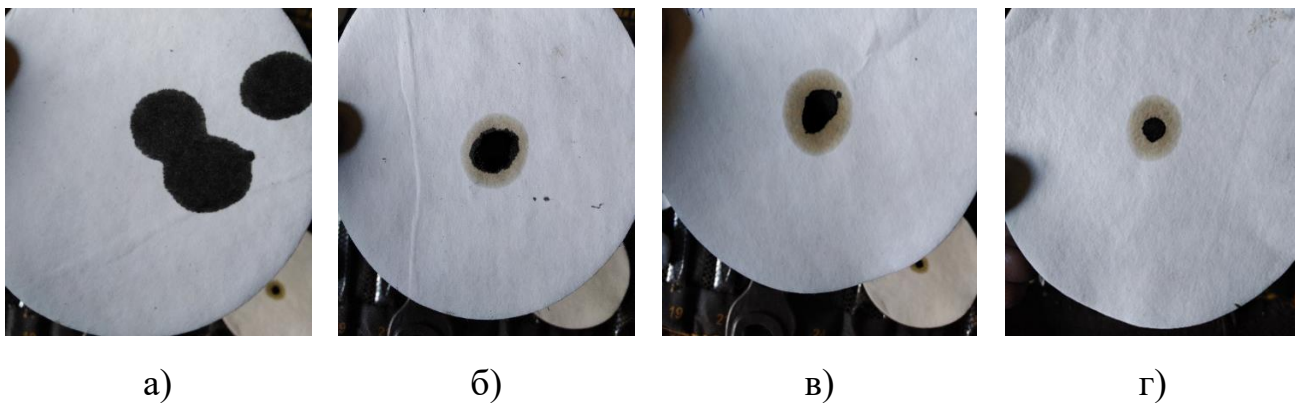
Цвет масла (рисунок 4.8) изменяется с 9 баллов до 5-6 баллов. При этом в большом объеме цвет масла остается темным.



С – концентрация карбамида

Рисунок 4.8 – Зависимость изменения цвета масла от времени отстаивания

Нанесение каплевой пробы на фильтровальную бумагу показало достаточно высокую информативность анализа и оценки прохождения процесса коагуляции и очистки масла (рисунок 4.9).



а – исходное состояние масла; б – коагуляция загрязнений; в – пятно масла после 2 часов отстаивания; г - пятно масла после 8 часов отстаивания

Рисунок 4.9 – Хроматограммы масляных пятен при прохождении процесса коагуляции

На следующем этапе выбора реагентов рассматривалась эффективность работы моноэтаноламина совместно с изопропиловым спиртом (патент ФГБНУ

ВНИИТиН «Способ очистки отработанного загрязненного моторного масла» RU 2818564 С1) [100]. На рисунках 4.10, 4.11 представлена зависимость изменения содержания нерастворимого осадка, щелочного и кислотного числа, цвета масла от времени отстаивания и концентрации реагентов.

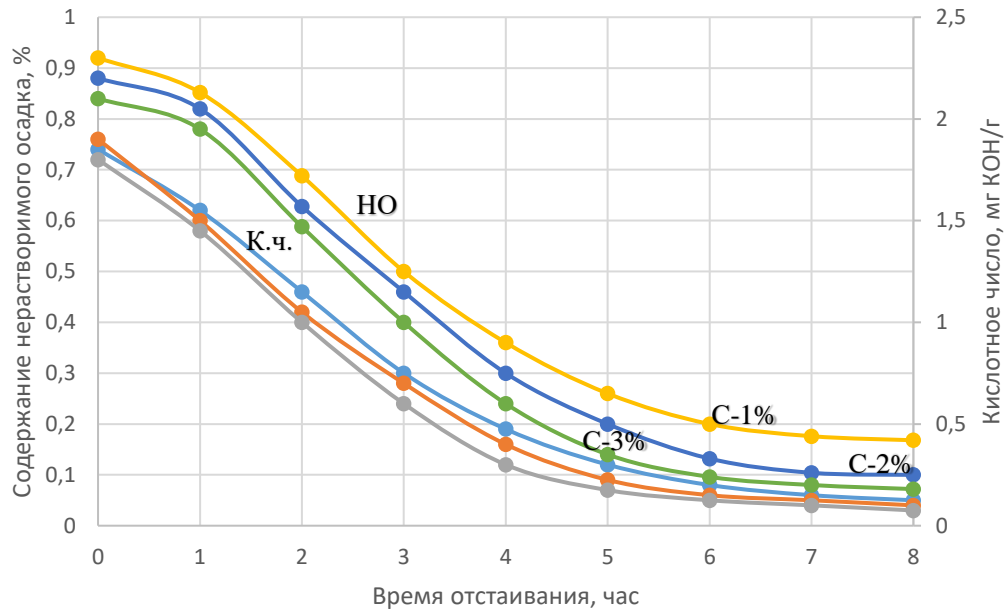
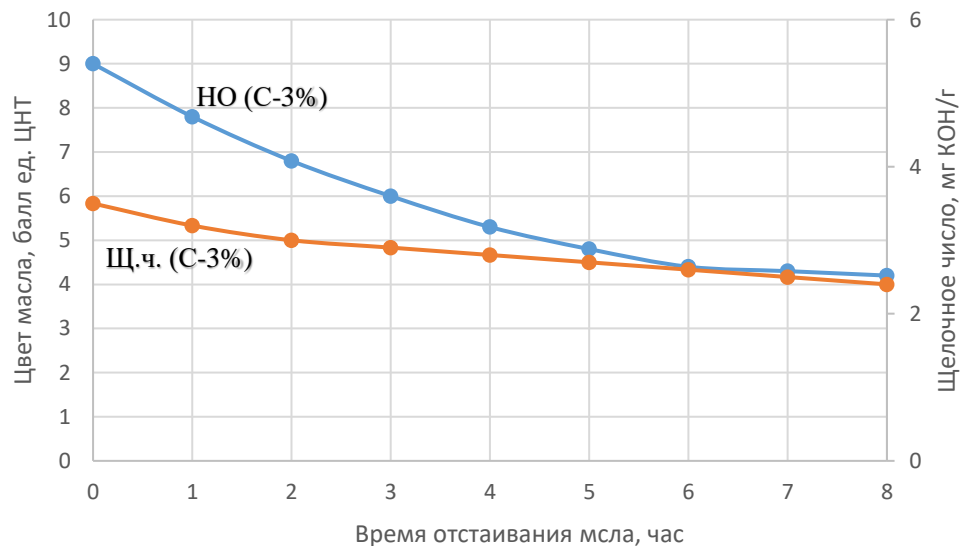


Рисунок 4.10 – Зависимость изменения содержания нерастворимого осадка (НО) и кислотного числа (К.ч.) от концентрации моноэтаноламина и изопропилового спирта от времени отстаивания масла



НО - нерастворимой осадок; Щ.ч. – щелочное число

Рисунок 4.11 – Зависимость изменения цвета масла и щелочного числа от времени отстаивания при концентрации реагентов (С-3 масс. %) в масле

Определено некоторое повышение эффективности удаления растворенных примесей в масле под воздействием моноэтаноламина и изопропилового спирта по сравнению с использованием карбамида растворенного в гидроксиде аммония.

При этом установлено, что использование изопропилового спирта снижает вязкость очищенного масла на 1-2 мм²/с и температуру вспышки на 5-10⁰С.

Данные факты считаются отрицательными при получении основы масла и приготовления аналогов гидравлических, трансмиссионных, консервационных масел.

При использовании основы из отработанного масла для приготовления промывочного масла эти характеристики не столь принципиальны так как промывочное масло может иметь вязкость 6-8 мм²/с.

Для проведения дальнейших исследований принято во внимание то, что в процессе очистки трансформаторных, промышленных масел используется реагент *N*-метилперролидон.

Ранее известными исследованиями установлено, что данный реагент применяется для очистки масел не содержащих присадок и не рассматривался в качестве добавки для очистки отработанных моторных масел.

На основании известной информации проведены исследования, предполагающие двухступенчатую схему очистки. А именно на первой ступени очистку отработанного моторного масла с использованием 3% раствора моноэтаноламина с изопропиловым спиртом и после отстаивания масла добавление в него *N*-метилперролидона.

Масло после первой ступени очистки нагревалось до 80⁰С и в него вносился реагент в концентрации 80,60,40,20,10 масс. %, смесь нагревалась до температуры 110±5⁰С и перемешивалась в течение 10 минут.

После перемешивания смесь разделялась на две части. Одна из них подвергалась центрифугированию в течение 30 минут с последующим анализом изменения содержания нерастворимого осадка, цвета, кислотного и щелочного числа, выхода очищенного масла в процентах. Другая отстаивалась в течение 8

часов при температуре 18-20⁰С. При этом через каждый час отстаивания анализировалось изменение содержания нерастворимого осадка и цвета.

В таблице 4.4 представлены результаты экспериментальных исследований по очистке масла с использованием *N*-метилперролидона и последующим центрифугированием при частоте вращения ротора лабораторной центрифуги 8000 об/мин в течение 30 минут.

Таблица 4.4 – Результаты анализа изменения характеристик масла

Показатели	Концентрация <i>N</i> -метилперролидона, масс %				
	0,005	0,01	0,012	0,013	0,014
Содержание нерастворимого осадка, %					
Щелочное число, мг КОН/г	2,0	2,1	2,2	2,2	2,3
Кислотное число, мг КОН/г	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07
Цвет масла, балл ед. ЦНТ	2,5	3,0	3,5	3,5	3,5
Выход очищенного масла к первоначальному объему, %	30	40	70	85	95

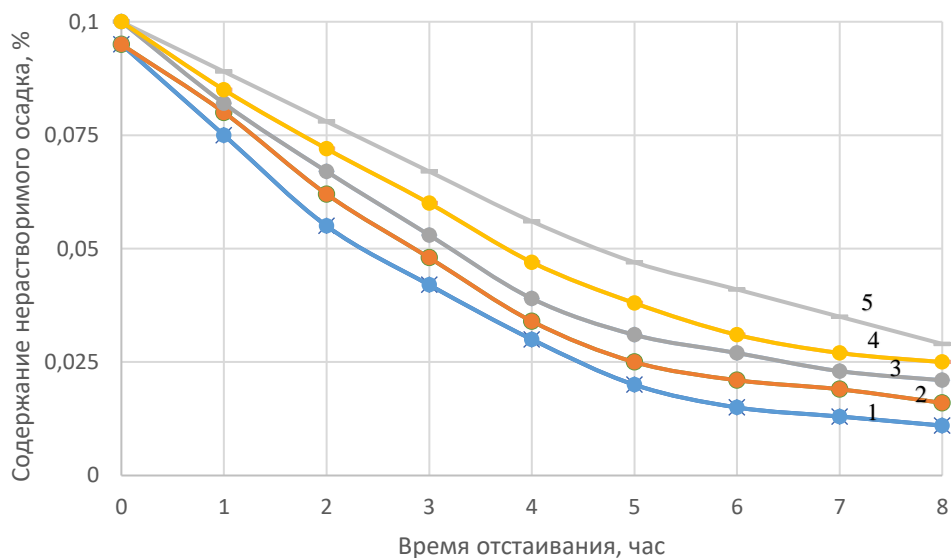
Анализируя данные представленные в таблице следует отметить, что снижение концентрации *N*-метилперролидона вносимого в масло на первом этапе не оказывает значительного влияния на конечную загрязненность масла. При этом увеличивается выход очищенного масла. Щелочное число под воздействием реагента остается практически неизменным, как и не значительный рост кислотного числа по мере снижения концентрации добавки.

Эффект изменения цвета установлен при концентрации реагента 80 масс %, но и при снижении концентрации вносимой добавки цвет масла находился в приближенном значении к показателю у товарного масла И-20А, используемого в качестве основы при приготовлении промывочных масел, выпускаемых в промышленности.

Как отмечалось выше, высокая эффективность очистки масла с внесением реагента и последующим центрифугированием предполагает применение сложных, дорогостоящих технических средств очистки, что увеличивает затраты на реализацию способа очистки.

По направлению упрощения способа очистки масла, без использования средств очистки, получены результаты изменения содержания нерастворимого осадка и цвета масла методом отстаивания.

На рисунке 4.12 представлены характеристики изменения содержания нерастворимого осадка и цвета масла от времени отстаивания и концентрации *N*-метилперролидона.



1 – 80%; 2 – 60%; 3 – 40%; 4 – 20%; 5 – 10%

Рисунок 4.12 – Зависимость изменения содержания нерастворимого осадка в масле от времени отстаивания и концентрации реагентов, добавляемых в масло

Таблица 4.5 – Изменение цвета масла в процессе его отстаивания

Концентрация реагента, %	80				60				40				20				10			
	2	4	6	8	2	4	6	8	2	4	6	8	2	4	6	8	2	4	6	8
Цвет масла, балл ед. ЦНТ	4	3	3	2	4	3	3	2	4	3	3	2	4	3	3	3	4	3	3	3

Анализируя полученные результаты исследования установлено, что конечный результат за время отстаивания масла в течение 7-8 часов практически аналогичен результатам полученным методом центрифугирования за 30 минут очистки.

На основании полученных данных и принятой концепции упрощения технологического процесса очистки отработанного моторного масла (ОММ) для приготовления в условиях предприятия АПК масел для промывки систем смазки двигателей тракторов разработана принципиальная схема и изготовлена установка, (рисунки 4.13, 4.14).

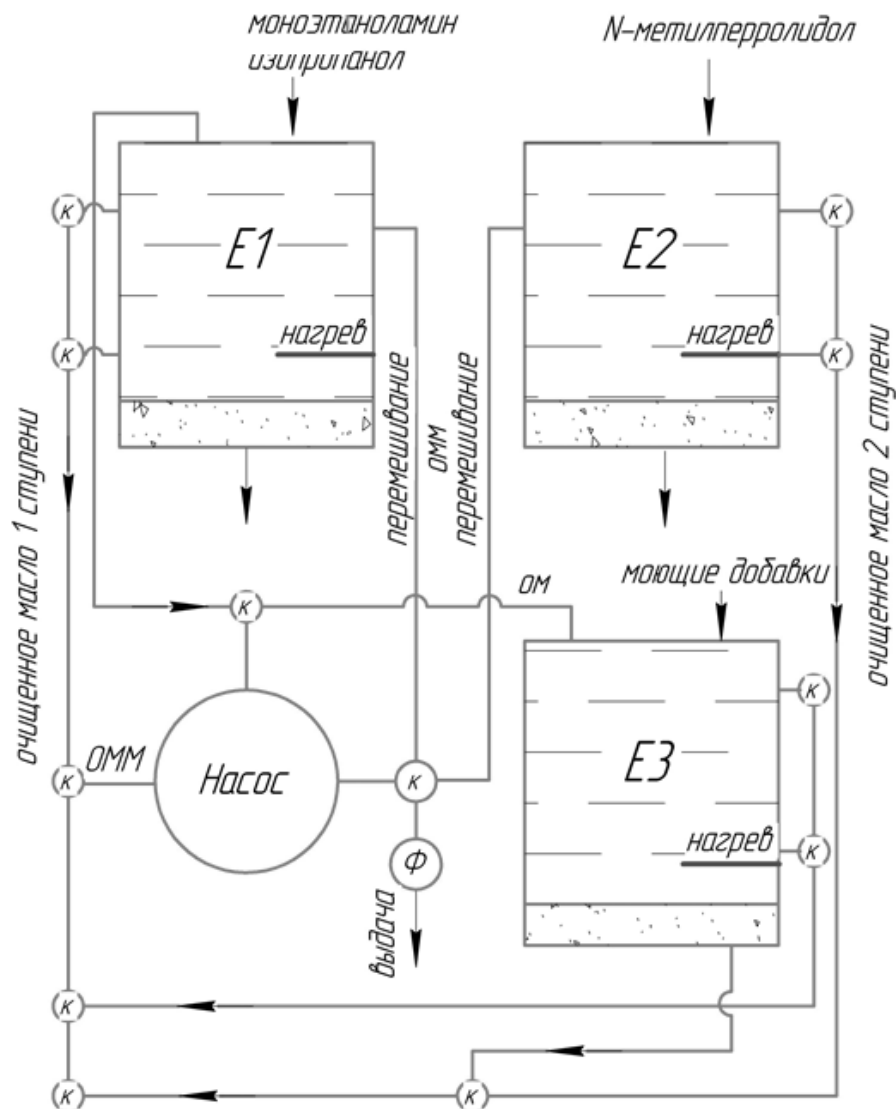


Рисунок 4.13 – Принципиальная схема технологического процесса очистки отработанных моторных масел и получения на их основе промывочных масел



а)



б)

а – вид спереди, б – вид сзади

Рисунок 4.14 – Общий вид установки для очистки отработанных моторных масел от загрязнений и получения на их основе масел для промывки ДВС

Установка состоит из рамы и трех емкостей, закрепленных на ней. Все емкости оборудованы нагревательными элементами и закреплены таким образом, что имеют возможность опрокидываться вперед на 90° для облегчения выгрузки осадка. Перекачивание масла из бака в бак, перемешивание масла, закачивание в баки и выгрузка отстоявшегося, очищенного масла осуществляется с помощью насоса НШ-32, вращение которому передается от электродвигателя. На раме также смонтированы: система трубопроводов, система кранов, фильтры, пульт управления.

Технологический процесс очистки масла на установке заключается в следующем. Отработанное моторное масло сливается с двигателей тракторов и закачивается в емкость Е1 (рисунок 4.14), либо закачивается из промежуточной емкости при помощи насоса. При заполнении емкости на $1/2$ или выше этого уровня, включается нагрев. При достижении необходимой температуры добавляются реагенты. Через систему кранов включается режим перемешивания. После прохождения процесса коагуляции масло оставляют отстаиваться. Контроль эффективности отстаивания и очистки масла проводится методом оценки капельной пробы на фильтровальной бумаге. По окончании процесса выпадения загрязнений в осадок, посредством насоса и системы кранов очищенное масло

(ОМ) перекачивается в емкость Е2, где происходит его нагрев. Очистку загрязнений из емкости Е1 проводят путем поворота емкости на 90° , фиксации ее и выгрузке осадка в емкость для сбора загрязнений (на рисунке не показана).

В таблице 4.6 представлены результаты физико-химического анализа масла до и после очистки в разработанной установке.

Таблица 4.6 - Результаты физико-химического анализа масла

Показатели	Значение	
	Исходное масло	Масло после очистки
Вязкость кинематическая, мм ² /с при 100°С	11,0	9,8
Содержание примесей, % мех	0,64	отсут.
Содержание нерастворимого осадка, %	0,56	0,001
Температура вспышки, °С	218	200
Цвет, балл ед. ЦНТ	8	3,5

В результате предварительного эксперимента подтверждена высокая эффективность очистки отработанного моторного масла от загрязнений и примесей.

Очищенное масло имеет характеристики, пригодные для его использования в качестве базового масла при приготовлении состава промывочного масла для использования в двигателях тракторов.

4.4 Результаты исследований по определению рационального состава промывочного масла на базе отработанного моторного масла

Как установлено в результате анализ состояния вопроса, промывочное масло состоит из основы и моющих добавок к нему.

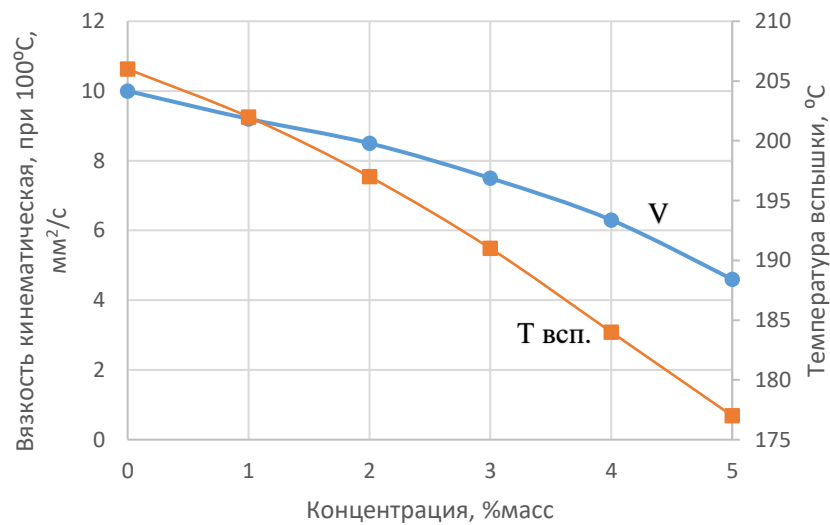
Промывочные масла имеют вязкость от 4-6 мм²/с до 7-9 мм²/с. Одним из наиболее простых подходов для снижения вязкости является использование

жидкостей, способных понижать вязкость, являющихся добавками той же органической основы, а именно нефтепродукты [20]. Наиболее часто для снижения вязкости используется дизельное топливо.

Рассмотрим влияние добавок дизельного топлива на вязкость очищенного моторного масла. Как установлено в результате исследований по обоснованию наиболее эффективного способа очистки, при использовании изопропилового спирта вязкость очищаемого масла и его температура вспышки снижаются на 5-10%.

Для проведения исследований в очищаемое моторное масло вносилось дизельное топливо в концентрации 1-5 %. Масло нагревалось до 80°C , добавлялось топливо и смесь перемешивалась в течение 5 минут.

На рисунке 4.15 представлена зависимость изменения вязкости и температуры вспышки масла от концентрации добавки дизельного топлива.



V – вязкость масла; $T_{\text{всп.}}$ – температура вспышки

Рисунок 4.15 – Зависимость изменения вязкости и температуры вспышки масла от концентрации добавки дизельного топлива

Установлено, что внесение в масло 1-2 масс. % дизельного топлива снижает вязкость с $9,8 \text{ мм}^2/\text{с}$ до $9,5 \text{ мм}^2/\text{с}$. Далее при увеличении концентрации с 3 до 5 % наблюдается практически линейная зависимость. Однако дальнейшее увеличение

концентрации добавки не целесообразно, так как снижение температуры вспышки ниже 160°C и вязкости ниже $5 \text{ мм}^2/\text{с}$ может приводить к отрицательным результатам. Снижение вязкости ниже известных пограничных значений ухудшает противоизносные свойства масла, уменьшает толщину масляной пленки на деталях ЦПГ и ухудшает теплоотвод от деталей двигателя в процессе его даже кратковременной работы.

В соответствии с полученными результатами исследований принято наиболее рациональным, ограничиться добавкой дизельного топлива в количестве 3 масс. %. На следующем этапе анализировалось изменение кислотного и щелочного числа очищенного масла с добавкой топлива, посредством смешивания с диметилсульфоксидом.

Диметилсульфоксид (ДМСО) - $(\text{CH}_3)_2\text{SO}$ жидкость, представляющая собой апротонный растворитель, который растворяет как полярные, так и неполярные соединения и хорошо смешивается с широким спектром органических растворителей. Для наших условий присутствия на деталях ДВС смолистых соединений ДМСО может повышать эффективность их размягчения и растворения.

На рисунке 4.16 представлена зависимость изменения щелочного и кислотного числа очищенного масла, смешанного с дизельным топливом (2%) от концентрации добавки ДМСО.

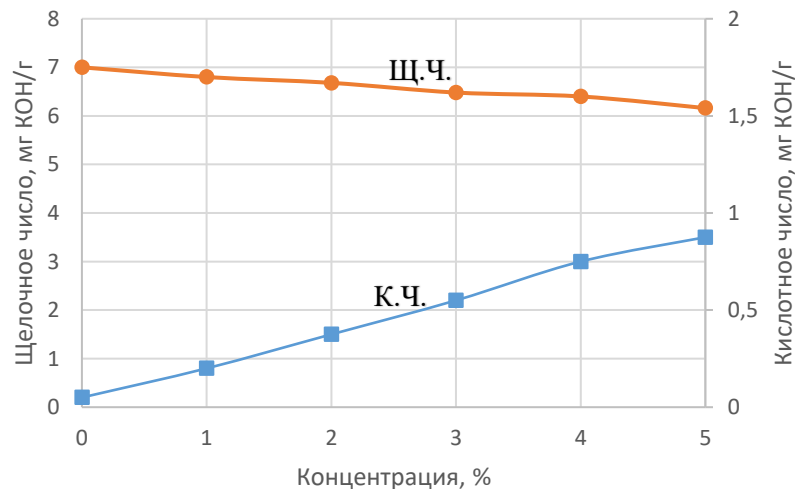


Рисунок 4.16 – Зависимость изменения кислотного числа (К.Ч.) и щелочного числа (Щ.Ч.) масла от концентрации добавки ДМСО

В результате исследований определено, что внесение ДМСО снижает щелочное число масла с 6,9 мг КОН/г до 6,2 мг КОН/г при концентрации 5 масс. % с ростом кислотного числа с 0,1 мг КОН/г до 0,8 мг КОН/г. Рациональную концентрацию ДМСО можно установить только после проведения исследований по моделированию процесса смыва загрязнений с поверхности металла в сравнительном режиме.

Изопропилат калия достаточно известное вещество, обладающее моющими свойствами и используемое для промывки системы смазки. Для наших условий разработки рационального состава промывочного масла, на основе отработанного очищенного моторного масла с добавлением дизельного топлива и ДМСО рассматривалась и анализировалась возможность внесения в полученную смесь изопропилата калия в концентрации 1...5 масс. %. На рисунке 4.17 представлена зависимость изменения щелочного и кислотного числа масла от концентрации изопропилата калия. При этом концентрация ДМСО составляла 3%.

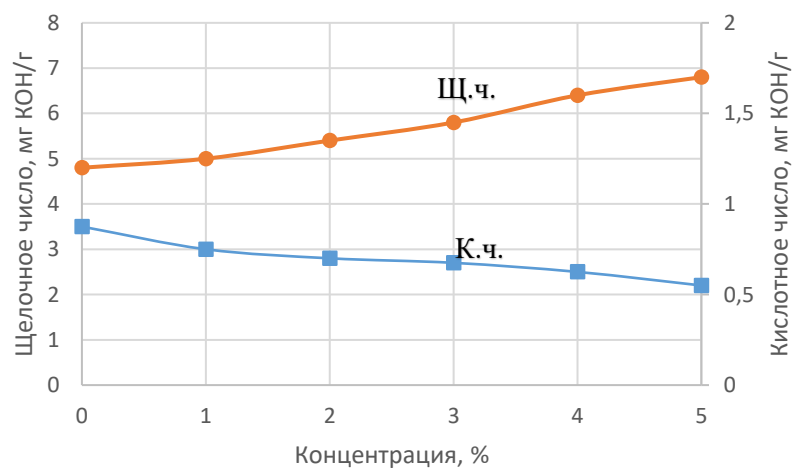
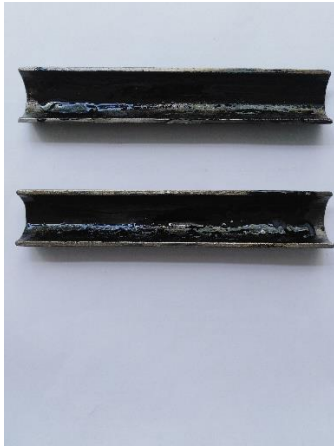


Рисунок 4.17 – Зависимость изменения щелочного числа (Щ.ч.) и кислотного числа (К.ч.) масла от концентрации добавки изопропилата калия

Анализируя полученные данные можно полагать, что моющие свойства масла под действием изопропилата калия повышаются. Кислотное число за счет нейтрализующего действия добавки снижается. Рациональную концентрацию

добавки можно определить проведением процесса моделирования работы состава промывочного масла на поверхности металла. Результаты реализации моделирования процесса удаления загрязнений, смолистых, сажевых отложений (в соответствии с методикой 3.6) представлены на фотографиях (рисунки 4.18 – 4.20).



1)



2)



3)

1 – исходное загрязнение; 2 – после промывки составом с добавлением 2% дизельного топлива + 1% ДМСО; 3 – после промывки с добавлением 1% ДТ + 1% ДМСО + 1% изопропилата калия

Рисунок 4.18 – Изменение загрязненности пластин от концентрации добавок



1')



2')



3')

1' – исходное загрязнение; 2' – после промывки составом с добавлением 2% дизельного топлива + 3% ДМСО; 3' – после промывки с добавлением 2% ДТ + 3% масс. ДМСО + 3% изопропилата калия

Рисунок 4.19 – Изменение загрязненности пластин от концентрации добавок



1" – исходное загрязнение; 2" – после промывки составом с добавлением 2% дизельного топлива + 1% ДМСО; 3" – после промывки с добавлением 1% ДТ + 5% ДМСО + 5% изопропилата калия

Рисунок 4.20 – Изменение загрязненности пластин от концентрации добавок

Сравнительный анализ загрязненности пластин до и после промывки (на модельном устройстве) при различной концентрации добавок показал, что наиболее рациональной концентрацией моющих компонентов в масле следует принять значение 3 % дизельного топлива, 3 % ДМСО, 3 % изопропилата калия. Увеличение концентрации не приводит к значительным снижениям загрязненности пластин.

4.5 Исследование параметров процесса перемешивания базового масла с добавками

На основании результатов теоретических исследований (раздел 2.2) проводилась проверка адекватности полученных уравнений и определялись рациональные параметры процесса перемешивания очищенного моторного масла (по разработанному способу очистки) с добавками.

Так как рациональная концентрация добавок и оценка моющих свойств в предыдущем разделе была определена, то основными определяющими

параметрами перемешивания на разработанной установке были время перемешивания, давление в системе и температура.

Оценка эффективности перемешивания проводилась по таким показателям как: вязкость жидкости с добавками (как равномерность распределения), плотность жидкости (масла) в зависимости от используемых добавок. Необходимость процесса перемешивания обусловлена тем, что вносимые добавки при недостаточной интенсивности перемешивания, вызывают выпадение в осадок компонентов добавок и расслоение смеси. Процесс анализируется на основе тех теоретических направлений, которые рассматривались в разделе 2.2 непосредственно в установке, изготовленной с учетом конструктивных размеров, обусловленных в теоретических расчетах.

Как указано выше, одной из критических характеристик смешивания очищенного масла с дизельным топливом является вязкость масла. В процессе моделирования (раздел 4.5) определено, что рациональным показателем вязкости масла с добавками топлива является значение 7-8 мм²/с. На основании ранее полученных данных (концентрация дизельного топлива 3%) производилось перемешивание смеси. При этом определялось время перемешивания при различном давлении жидкости в системе (1-4 кгс/см²). На рисунке 4.21 представлена зависимость изменения времени перемешивания масла с дизельным топливом и давления в системе, при температуре 80°С.

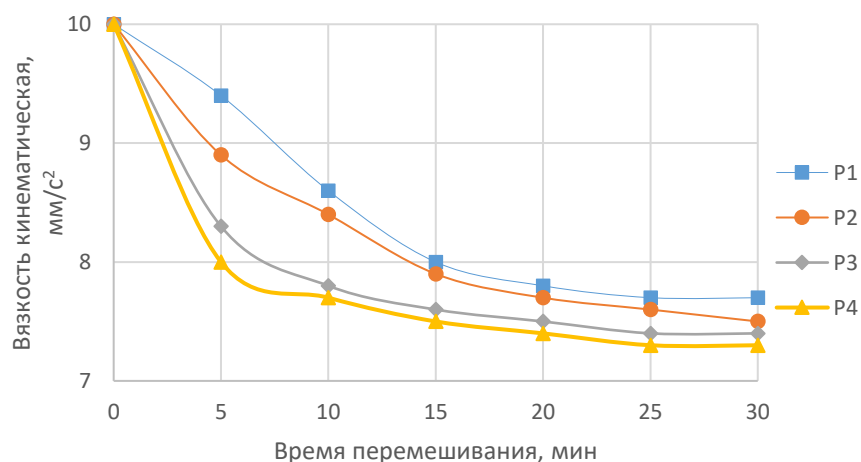


Рисунок 4.21 – Зависимость изменения вязкости от времени перемешивания масла с дизельным топливом при различном давлении P (1, 2, 3, 4 кг/см²)

Однородность смеси оценивалась по изменению вязкости с 10 мм²/с до 8 мм²/с. Установлено, что для перемешивания масла с дизельным топливом достаточно 5-15 минут для получения однородной смеси с заданными свойствами (вязкостью 7-8 мм²/с).

Наблюдение перемешанных проб показало, на отсутствие образования отложений, неоднородности (визуально) смеси.

Наиболее рациональным давлением в системе возможно считать значение 3 кгс/см². В тоже время через 15 минут перемешивания достигается достаточно эффективное смешивание даже при давлении 1 кгс/см².

Аналогичным образом изменилась и плотность жидкости до значения ≈ 890 г/см³ за тот же период перемешивания 5-10 минут. При различном давлении в системе.

При проведении исследований рассматривался рациональный температурный режим процесса. Основанием для определения оптимального значения являлся тот факт, что вязкость масла при температуре 20,30,40,50°C значительно выше, чем при более высоких температурах, что может влиять на эффективность и равномерность распределения добавок по всему объему готовящегося состава промывочного масла.

Установлено, что при температуре масла 30°C в емкости образуется осадок 0,3 мм после перемешивания и отстаивания в течении 24 часов.

При перемешивании масла, нагретого с добавками до температуры 60°C осадок, практически отсутствует. И далее по мере увеличения температуры осадок практически не образуется.

При перемешивании масла с добавками помимо установленных технологических параметров процесса, важным условием эффективности равномерности распределения добавок по всему объему приготавливаемого промывочного масла является конструктивно-технологические особенности устройства и процесса.

В частности, важным условием в проводимых исследованиях приняты такие параметры, как длина, ширина, высота резервуара, где производится

перемешивание, место забора масла из резервуара и место вхождения струи (затопленной) при движении по циклу (как рассматривалось в теоретической части работы).

В производимых экспериментальных исследованиях принято, что ширина резервуара составляет 500 мм, длина 1000 мм, высота 1200 мм.

Исходя из принятых условий рассматривалось рациональное расположение мест забора масла в верхней части емкости – 100 мм от верхнего уровня масла, в нижней части 50 мм от дна резервуара.

Температура нагрева масла составила 80°C, время перемешивания 10 минут, давление жидкости в системе (по манометру) 4 кгс/см².

Контроль эффективности перемешивания в данных, проводимых исследованиях проводили по капельной пробе масла при рассмотрении на покровном стекле под микроскопом.

Присутствие глобул, их дисперсный состав, являлись показателями эффективности перемешивания. Отсутствие «включений», однородная масса среды является основанием для признания высокой эффективности перемешивания масла с составом добавок.

С учетом проведенных в первой части исследований (раздел 4.6), в макетной установке производился нагрев, очищенного отработанного моторного масла до температуры 30,40,50,60,70,80,90,100°C, с помощью нагревательных элементов. При каждой из вышеперечисленных значений температур, вносились добавки и производилось перемешивание шестеренным насосом по циклу в течении 10 минут. Давление в системе поддерживалось 4 кгс/ см².

После завершения процесса, из емкости отбиралась проба масла и отправлялась на отстаивание в течение 24 часов.

По результатам анализа образования осадка, расслоения, определялась рациональная температура перемешивания.

На рисунке 4.22 представлена зависимость толщины слоя осадка от изменения температуры при нагреве и перемешивании 10 минут.

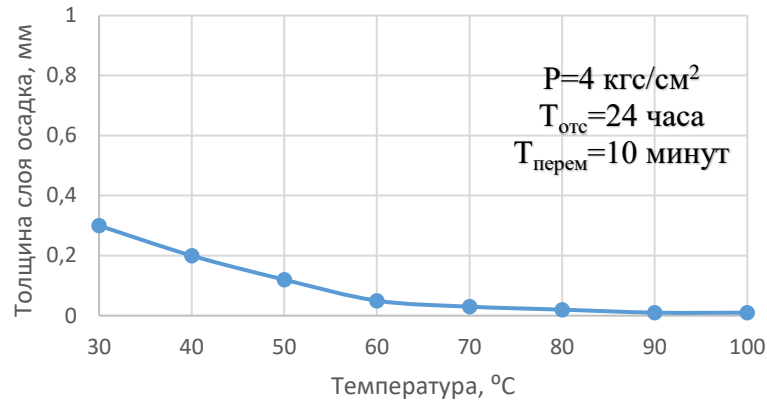


Рисунок 4.22 – Зависимость изменения слоя осадка от температуры нагрева масла с добавками после перемешивания и отстаивания

При перемешивании в течение 5 и 10 минут масла с добавками при заборе сверху и подаче в нижнюю часть емкости «инородные» включения не обнаружены, т.е. состав достаточно эффективно перемешан и является однородным.

Проведем теоретическую оценку достаточного времени перемешивания согласно модели, изложенной в виде уравнений 2.2. Зная давление жидкости на входе в бак, легко оценить ее скорость движения в этой точке по закону Бернулли:

$$u_0 = \sqrt{2P/\rho};$$

Рациональное давление 3 кгс/см² равно в системе СИ примерно $3 \cdot 10^5$ Н/м². Подставляя в вышеприведенное уравнение, получаем на входе очень высокую скорость – примерно 25 м/с². Ниже приведем данные для такого режима впуска масла для сравнения с ранее комментированными в приложении Б:

Число Рейнольдса:

Диаметр входного отверстия $D \approx 2,5$ см²;

Скорость входного потока $v = 25,7$ м/с;

Кинематическая вязкость $\nu = 1,00E-0,5$ м/с²;

$Re \approx 6,43E+0,4$;

Скорость течения вдоль оси трубы:

Ширина бака $Db = 0,5$ м;

Скорость у дальней стенки $vm \approx 570$ см/с;

Размер конуса турбулентности:

Диаметр конуса у дальней стенки, $Dk \approx 0,1$ м;

X-комп. скорости на границе конуса $v_x = 57$ мм/с;

Движение жидкости за пределами конуса турбулентности:

Ср. скорость на границе конуса $v_a \approx -0,06024$ м/с;

Замена жидкости вне конуса турбулентности:

Полярная компонента скорости $v_\theta \approx 1,00E+00$ м/ч $6,32E - 01$;

При этом получаем скорость у дальней стенки 570 м/с, что более чем в 10 раз превышает результат в приложении Б. Поскольку время перемешивания линейно зависит от скорости движения жидкости, оно составит примерно 1/10 часа, что в минутах с округлением до ближайшего числа, кратного 10 гарантированно даст 10 минут (оценка сверху). Это полностью подтверждает представленный выше экспериментальный результат.

Таблица 4.7 – Оценка времени полного перемешивания

Давление (кгс/см ²)	x-комп. скорости у дальней стенки (см/с)	Оценка времени полного перемешивания (мин)
0,0055	24	30
1	330	23
2	465	17
3	570	10

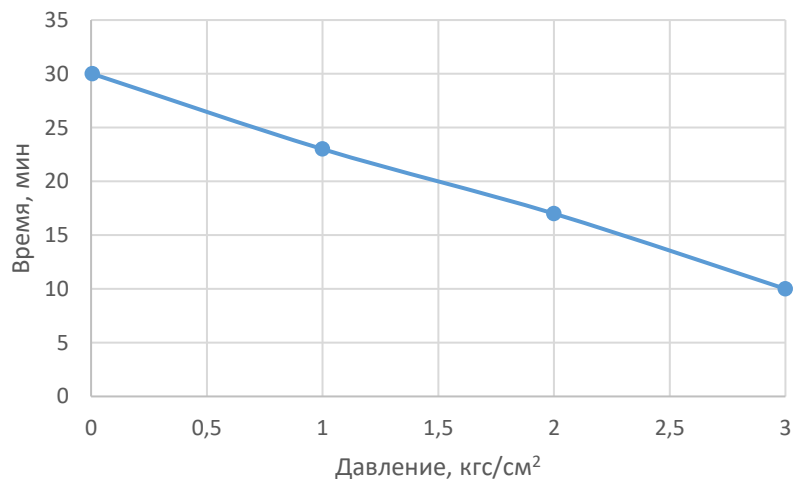


Рисунок 4.23 – Зависимость изменения времени перемешивания от давления жидкости

4.6 Моделирование процесса удаления загрязнений под действием промывочных масел

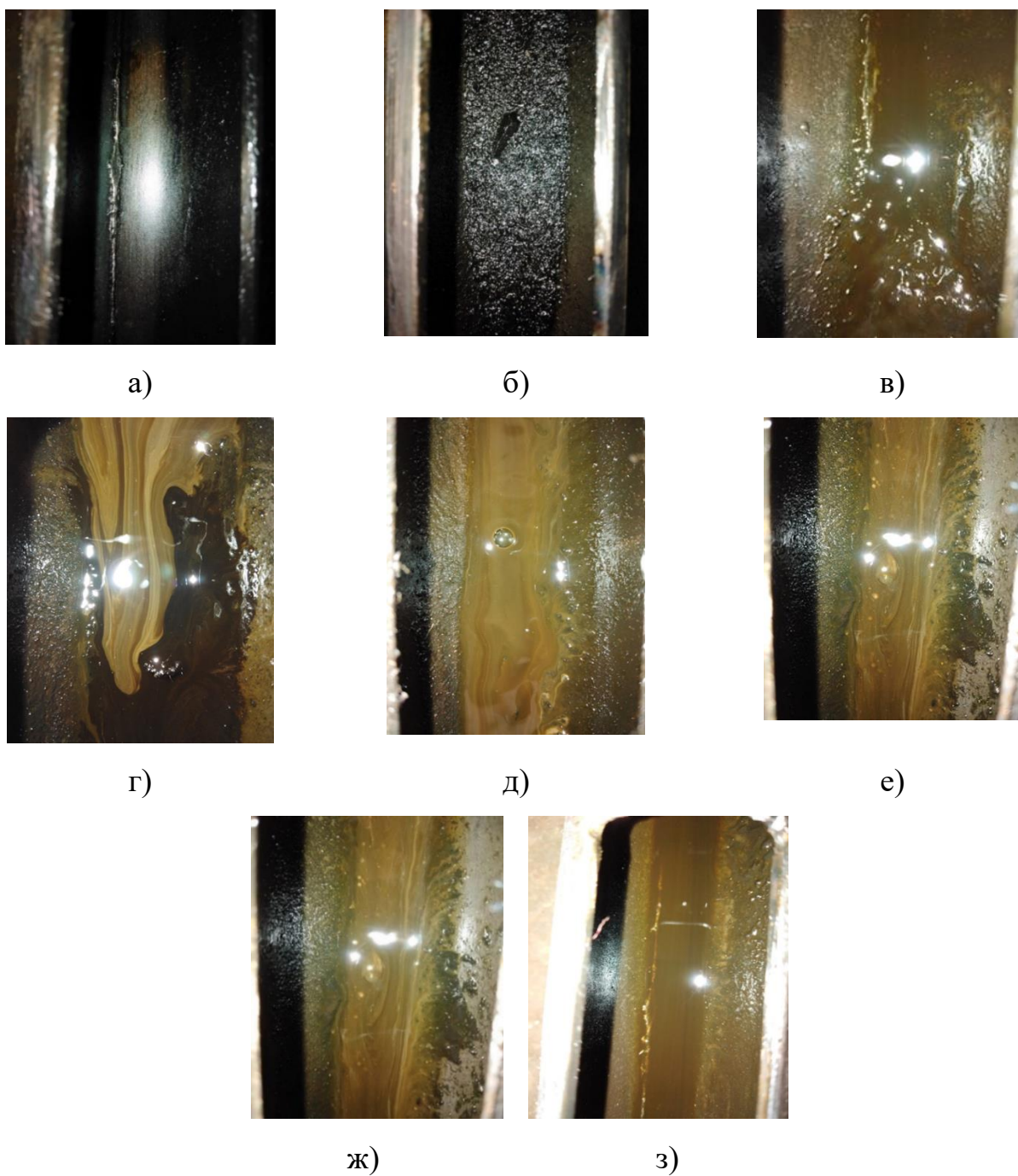
В ранее представленных результатах исследования (раздел 4.3, 4.4) показана моющая способность масел в условиях, отдаленных от реальной работы масла по смыву загрязнений из системы смазки и масляных каналов. В процессе движения масла по магистрали имеют место многочисленные изгибы, перепады давления струи в каналах. В реальных условиях эксплуатации тракторов давление масла из-за технического состояния двигателей и т.д. может меняться, скорость движения струи масла, отрыв частиц загрязнений, их смыв зависят от вышеперечисленных факторов. Приблизиться к рассмотрению процессов «смыва» загрязнений из масляных каналов возможно проведением относительного моделирования движения масла по магистрали.

Для этих целей разработано устройство, состоящее из емкости с нагревательными элементами, систем трубопроводов, уголков, насоса НШ-32 с приводом от электродвигателя, кранов, манометра (методика 3.6).

Исследования проводятся в сравнительном режиме на составе очищенного отработанного масла с моющими добавками (в соответствии с патентом на промывочное масло RU 2805073 C1) [100].

В качестве сравнительного промывочного масла использовалось товарное промывочное масло «Лукойл». Масло, в объеме 20 литров, заливалось в емкость, откуда насосом нагнеталось в масляную магистраль с предварительно нанесенными загрязнениями. Конструкция магистрали является разборной.

Давление в системе смазки регулируется от 1 до 4 кгс/см². Температура нагрева масла перед началом запуска системы в работу, составляла $80 \pm 5^{\circ}\text{C}$ и поддерживалась путем включения и отключения нагревательных элементов в емкости. Загрязнения – продукт очистки моторного масла равномерно наносились на внутренние поверхности системы трубопровода. Толщина слоя загрязнений составляла 2-3 мм.



а – исходное состояние; б – с нанесенным загрязнением; в – после 5 минут промывки; г - после 10 минут промывки; д – после 15 минут промывки; е – после 20 минут промывки; ж – после 25 минут промывки; з – после 30 минут промывки

Рисунок 4.24 – Изменение загрязненности пластин в зависимости от времени промывки при давлении 1 кгс/см^2

На следующем этапе при тех же условиях увеличивалось давление в системе до 2 кг/см^2 (см. приложение В).

4.7 Результаты определения противоизносных свойств промывочных масел

Промывочное масло в двигателе внутреннего сгорания используется в краткосрочном режиме в течение 15-20 минут, в связи с чем, как правило, в него не добавляются противоизносные присадки.

Смазывающая способность товарных промывочных масел определяется прежде всего его вязкостной характеристикой, обеспечивающей необходимую и достаточную толщину масляной пленки на поверхности трения кривошипно-шатунного механизма.

Практически полное отсутствие в промывочном масле противоизносных присадок, относительно низкая вязкость и регламентирует столь короткое время промывки.

В наших условиях, когда в качестве базового масла для получения промывочной жидкости используется отработанное моторное масло - содержание противоизносных присадок значительно больше, по сравнению с базовыми маслами.

В таблице 4.8 представлены результаты оценки диаметра пятна износа на четырехшариковой машине трения.

Таблица 4.8 – Результаты определения диаметра пятна износа в маслах, используемых при получении промывочных масел

Показатели	Отработанное моторное масло М-10ДМ	Очищенное отработанное моторное масло М-10ДМ	Индустриальное масло
Диаметр пятна износа при нагрузке 70Н, мм	0,51	0,22	0,39

В отработанном моторном масле присутствуют механические примеси и продукты старения масла, что значительно увеличивает диаметр пятна износа. После очистки масла по предложенному способу, диаметр пятна износа уменьшился более чем в два раза. Сравнивая значения пятна износа очищенного

масла и товарного масла И-20А, следует отметить преимущества по этому показателю первого образца. Также отметим, что моторное масло имеет более высокую вязкость по сравнению с маслом И-20А (5-6 мм²/с).

Вносимое в промывочные масла при их приготовлении добавки могут повышать противоизносные и смазывающие свойства базовых масел или понижать, в зависимости от их свойств.

В результате проведенных экспериментальных исследований по разработке состава промывочного масла определялось изменение противоизносных свойств масла в зависимости от вида добавки, таблица 4.9.

Таблица 4.9 – Изменение диаметра пятна износа при испытании моторного очищенного отработанного масла от вида добавок

Показатели	Очищенное моторное масло М-10ДМ	Очищенное М-10ДМ с добавкой диметилсульфоксида	Очищенное масло М-10ДМ с добавкой изопропилата калия	Очищенное масло М-10ДМ с добавкой диз.топлива	Товарное промывочное масло «Лукойл»
Диаметр пятна износа при нагрузке 70Н, мм	0,22	0,20	0,23	0,30	0,32

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что внесение диметилсульфоксида и изопропилата калия не оказывает значительного влияния на изменение противоизносных свойств составов масел. Внесение же дизельного топлива в принятой и обоснованной концентрации оказывает более существенное влияние. Если у очищенного масла диаметр пятна износа составлял 0,22 мм, то внесение дизельного топлива увеличило это значение до 0,30 мм. Тем не менее эта характеристика у разрабатываемого состава в целом ниже, чем у товарного промывочного масла, что в первом приближении может говорить о возможности увеличения времени промывки системы смазки от загрязнений и соответственно большей эффективности удаления загрязнений из системы смазки двигателя.

Однако определенный показатель (диаметр пятна износа) не является бесспорным и безапелляционным. В силу того, что испытания проводились при незначительной нагрузке и температуре масла 20-25°C, а в условиях работы дизельного ДВС нагрузки могут быть значительно выше при температуре масла на поверхности трения на порядок выше.

На следующем этапе исследования проводились испытания в более жестких условиях на машине трения СМЦ-2 в парах трения колодка-ролик. При этом определялся износ пар трения и индекс задира.

В таблице 4.10 представлены результаты сравнительных испытаний разработанного состава масла и товарного масла «Лукойл».

Таблица 4.10 – Результаты сравнительных испытаний составов помывочных масел

Показатели	Экспериментальный состав помывочного масла	Товарное помывочное масло «Лукойл»
Момент трения, Н·м	2,9	4,0
Температура поверхности ролика, °С	90	135

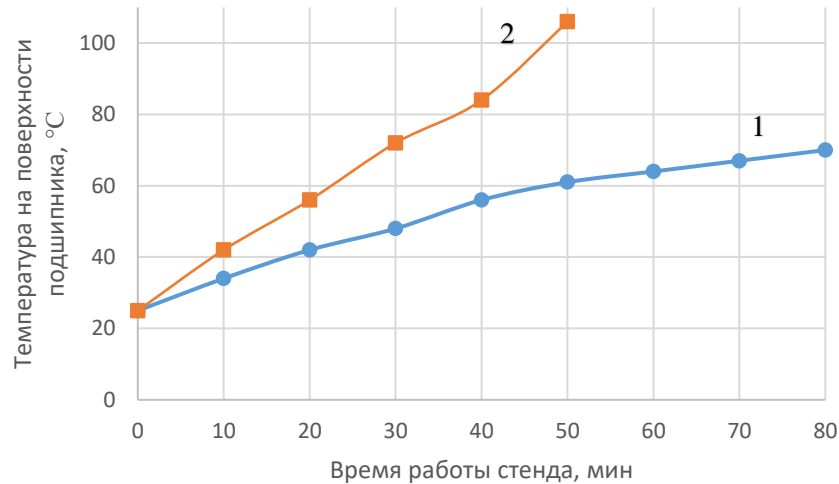
Установлено, что экспериментальный состав помывочного масла на базе очищенного отработанного моторного масла с моющими добавками на 10-15% превосходит товарное помывочное масло «Лукойл» по противоизносным и антифрикционным свойствам.

Далее проводились испытания составов масел в стенде, моделирующим работу подшипников качения.

Стенд (на рисунках не показан) состоит из двух металлических «емкостей» с закрепленными на валу корпуса коническими подшипниками качения. Нагрузка создается с помощью прижима подвижной части сепаратора с роликами к неподвижному кольцу подшипника. Температура масла в емкости составляла 80°C.

Основными контролируемыми параметрами эффективности работы масел является температура нагрева подшипников в зависимости от времени работы в

масле. На рисунке 4.25 представлена зависимость изменения температуры подшипников от времени работы в сравниваемых маслах.



- 1 – экспериментальный состав промывочного масла;
2 – промывочное масло «Лукойл»

Рисунок 4.25 – Зависимость изменения нагрева поверхности подшипника от времени работы стэнда

Установлено, что экспериментальный состав масла имеет более высокую работоспособность в жестких условиях работы при высоких нагрузках. Подшипник оставался работоспособным (вращался) после 80 минут испытаний при частоте 980 об/мин в экспериментальном составе масла (линия 1). Температура поверхности подшипника к 40 минутам работы составляла 55°C. Температура подшипника качения, работавшего в промывочном масле «Лукойл» к 40 минутам работы составляла 81°C и далее через 10 минут составляла 90°C.

4.8 Результаты определения элементного состава продуктов износа и загрязнений в маслах

Основными источниками поступления железа в моторное масло являются: цилиндры двигателя, поршневые кольца, привод клапанов, блок цилиндров, масляный насос, подшипники, шестерни. Нормой содержания железа в моторном

масле является значение меньше 30 мг/кг (р.р.м) (ASTM 05185-09). Критическое содержание железа 500 – 1000 мг/кг. В свежем моторном масле содержание железа - около 1 мг/кг. Источниками поступления алюминия в моторное масло являются: поршни, вкладыши, масляный насос, и некоторые другие детали. Допустимой нормой содержания алюминия в моторном масле является значение не выше 10 мг/кг (р.р.м) (ASTM 05185-09). В свежем моторном масле содержание алюминия, как правило, около 1 мг/кг.

Таблица 4.11 – Содержание продуктов износа и загрязнений в маслах

Номер пробы	Наименование образца	Железо		Алюминий	
		мг/л	ppm	мг/л	ppm
№1	Масло М-10ДМ (свежее)	0,83	0,91	1,39	1,53
№2	Отработанное масло М-10ДМ 250 м/ч	54,2	59,08	5,8	6,3
№3	Состав промывочного масла до промывки	1,1	1,19	1,89	2,06
№4	Состав промывочного масла после промывки	26,2	28,82	4,07	4,48
№5	Заправленное масло (с промывкой системы смазки)	35,1	38,2	4,7	5,1

Содержание железа и алюминия в пробе №1 соответствует нормативным значениям, указанным в технической документации на масло.

В пробе №2 – отработавшем моторном масле М-10ДМ определено значительное увеличение содержания продуктов износа по сравнению с №1.

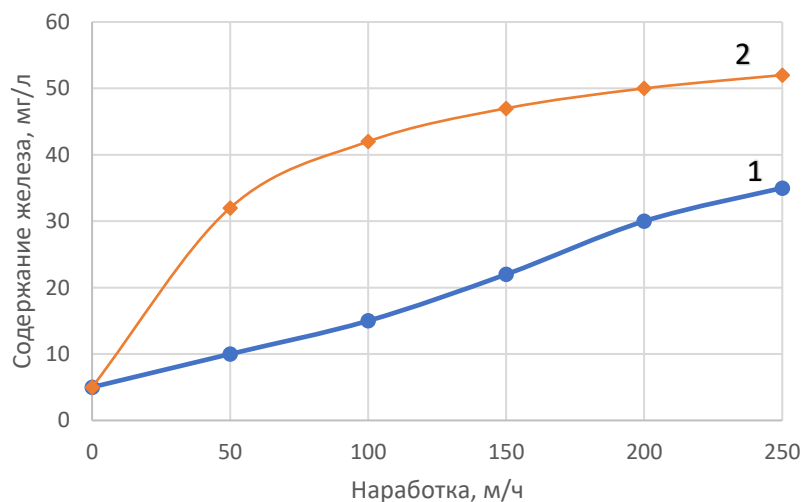
В пробе №3 после очистки отработанного моторного масла с использованием реагентов и внесением добавок содержание железа и алюминия значительно уменьшилось и приблизилось к значениям исходного масла. Такое уменьшение содержания продуктов износа в очищенном моторном масле вероятно связано с переходом продуктов износа в осадок.

После проведения операции промывки системы смазки (проба №4) содержание продуктов износа в составе промывочного масла возросло на порядок. Промывочное масло вымыло из системы смазки, оставшиеся на дне картера и в

масляных каналах загрязнения и остатки отработанного масла. Увеличение содержания железа и алюминия в масле в результате ускоренного износа деталей двигателя во время промывки системы смазки составом промывочного масла можно исключить, так как проведенные ранее исследования на машинах трения показали высокие противоизносные свойства разработанного состава (раздел 4.7).

После того как система смазки была промыта экспериментальным составом промывочного масла, в двигатель было заправлено свежее масло. Далее трактор работал в течение 250 часов на операции боронования (проба №5). Установлено, что в сравнении с маслом (проба №2) проработавшем тот же период времени, содержание железа и алюминия соответственно на 30 и 10% меньше, чем в том же двигателе без промывки системы смазки.

На рисунке 4.26 представлена зависимость изменения содержания железа в масле без промывки системы смазки и с промывкой.



2 – без промывки системы смазки;

1 – с промывкой системы смазки

Рисунок 4.26 – Зависимость изменения содержания железа в масле от наработки

Полученные результаты могут с достаточно высокой долей вероятности утверждать о более высокой надежности работе двигателя, снижении износа и увеличению срока службы двигателя до ремонта.

4.9 Результаты сравнительных производственных испытаний разработанного состава и товарного промывочного масла

Испытания проводились в СХПК ПЗ «Пригородный» Тамбовского округа Тамбовской области на тракторах марки МТЗ 6-8 лет эксплуатации.

Выбор машин основывался на анализе технического состояния двигателей, сроков и периодичности замены моторных масел, экспресс анализе работавшего в двигателе масла, установлением нагрузочных режимов за период наработки 250 часов (аналогичные).

Перед началом испытаний эндоскопом оценивалась загрязненность деталей, в том числе поверхности клапанной крышки, поршней. Определялся средний расход топлива, компрессия в цилиндрах, давление масла в системе смазки на холостых и повышенных оборотах.

Отработанное масло сливалось из картера прогретого двигателя, разбирались и очищались роторы центрифуг от загрязнений.

На рисунках 4.27, 4.28 представлены фрагменты выполненных работ.



Рисунок 4.27 – Прогрев двигателя, слив отработанного масла



Рисунок 4.28 – Состояние стакана ротора

Для сравнительного анализа моющей способности экспериментального состава масла и товарного промывочного масла «Лукойл» аналогичные операции проводились и на одном из тракторов МТЗ, работавшем в условиях данного

сельхозпредприятия на тех же работах и приблизительно аналогичного технического состояния.

Образцы экспериментальных составов масел готовились в условиях экспериментального производства ФГБНУ ВНИИТиН.

Отработанное масло отбиралось в том же хозяйстве в объеме 40 литров, слитое из картеров двигателей тракторов.

Очистка отработанного масла проводилась на установке по технологии, представленной в работе. Концентрация вносимых добавок составляла 3% по всем компонентам моющих добавок.

Перед началом заправки масла в картер двигателя, с помощью хроматограммы оценивалось состояние масла, рисунок 4.29.



а)



б)

а – капля экспериментального состава промывочного масла;

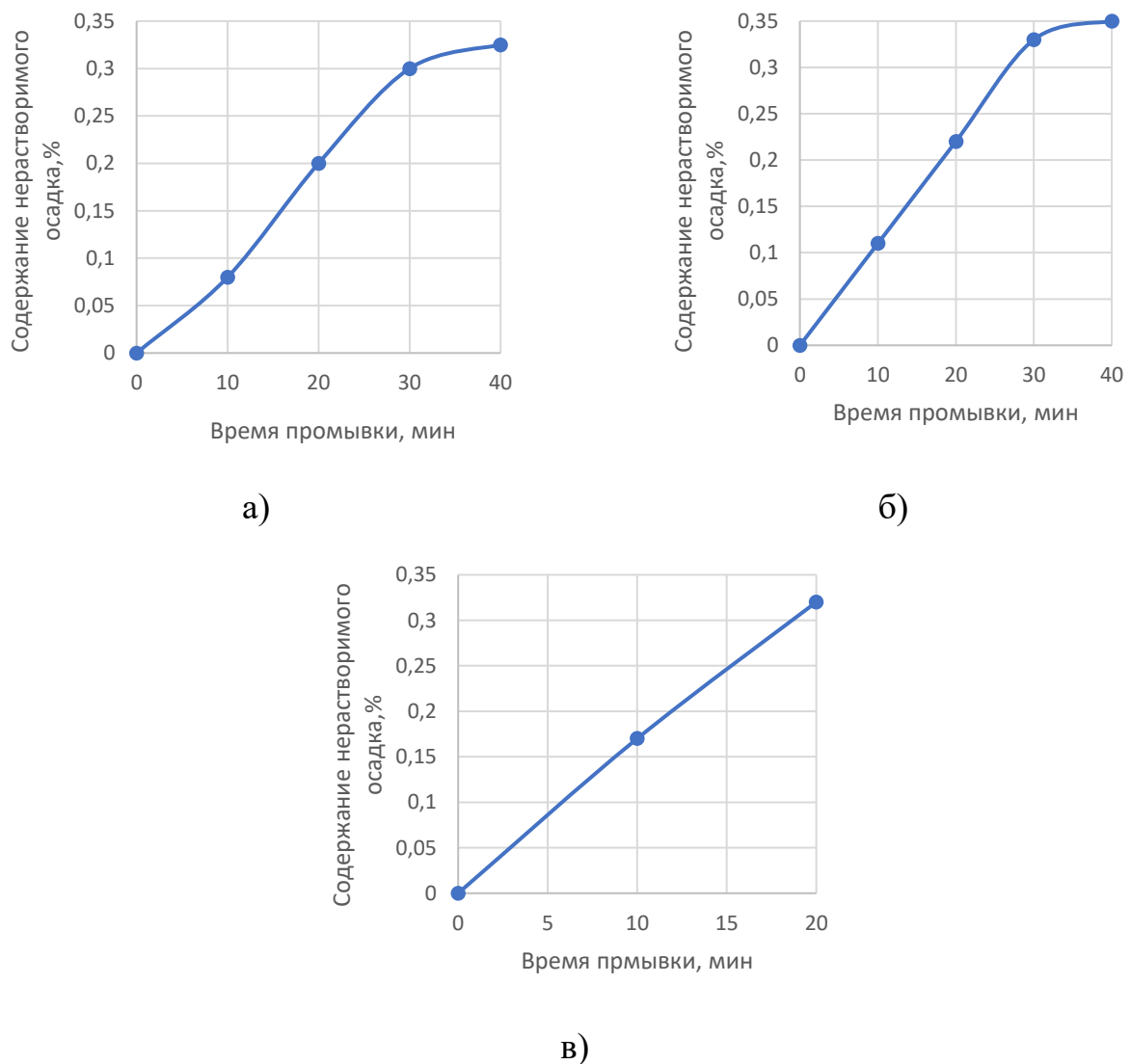
б – капля промывочного масла «Лукойл»

Рисунок 4.29 - Хроматограммы масляных пятен

После заправки промывочных масел в двигатели тракторов проводился их запуск и работа в течение 5 минут на холостых оборотах.

Далее через каждые последующие 10 минут работы из картеров двигателей тракторов отбиралась (без остановки с помощью шприца) проба масла 30 мл. для последующего анализа изменения содержания нерастворимого осадка и цвета масла, в условиях химической лаборатории. Кроме этого, на фильтровальную бумагу наносилась капельная проба масла. Испытания продолжались 40 минут на экспериментальном масле и 20 минут на товарном масле «Лукойл».

На рисунке 4.30 показаны зависимости изменения содержания нерастворимого осадка и цвета масла в тракторах №1, №2, №3.

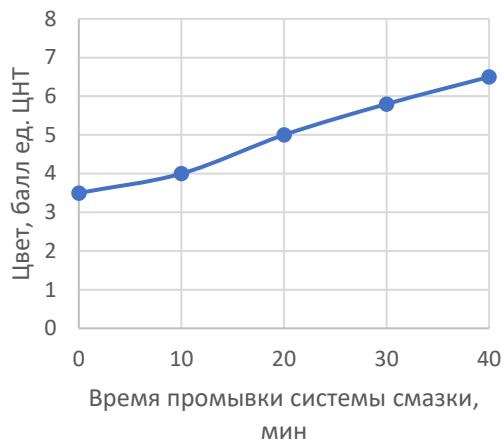


а – трактор №1 (экспериментальный состав); б – трактор №2 (экспериментальный состав); в – трактор №3 (товарное масло «Лукойл»)

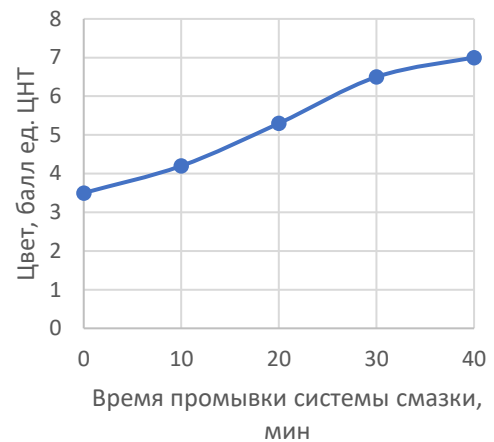
Рисунок 4.30 – Зависимость изменения содержания нерастворимого осадка в масле от времени промывки

В результате анализа полученных данных установлено, что система смазки тракторов после слива отработанных масел оставалась загрязненной и возможно содержала некоторое количество отработанного масла. Во всех случаях к моменту завершения промывки системы смазки содержание нерастворимого осадка, смол, продуктов загрязнений в масле находилось на достаточно высоком, недопустимом уровне.

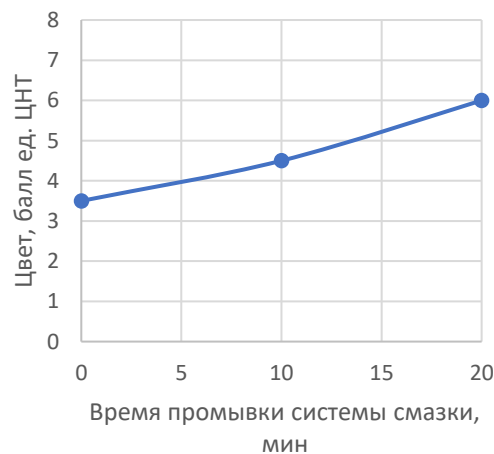
На рисунке 4.31 представлена зависимость изменения цвета масла от времени промывки системы смазки.



а)



б)



в)

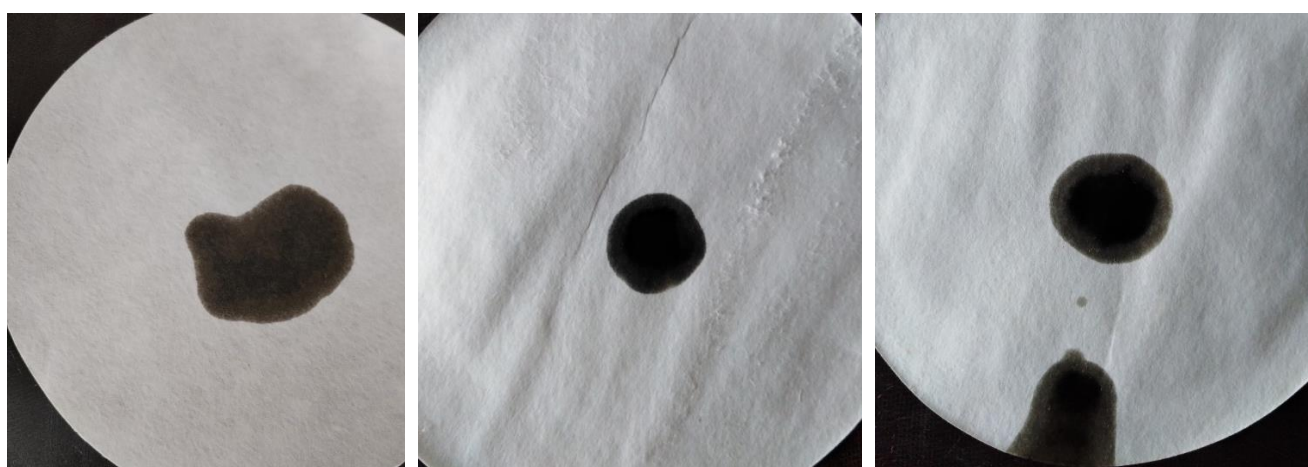
а – трактор №1 (экспериментальный состав); б – трактор №2 (экспериментальный состав); в – трактор №3 (товарное промывочное масло «Лукойл»)

Рисунок 4.31 – Зависимость изменения цвета масла в дизельных двигателях тракторов МТЗ

В результате анализа полученных данных установлено, что цвет экспериментального состава масла и товарного масла изменялись практически по линейной зависимости, т.е. масло темнело.

Незначительная разница (цвета экспериментального состава) имелась между вариантами (а), (б) и (в), данный факт объясняется более длительным процессом промывки.

Вместе с анализом в лабораторных условиях, как указывалось выше, проводилась оценка изменения загрязнения масла и по хроматограмме масляного пятна.



а)

б)

в)

а – хроматограмма масляного пятна трактора №1, где использовалось экспериментальное масло; б – хроматограмма масляного пятна трактора №2 по результатам промывки системы смазки экспериментальным маслом; в – хроматограмма масляного пятна трактора №3 по результатам промывки системы смазки товарным промывочным маслом «Лукойл»

Рисунок 4.32 - Хроматограммы масляных пятен

Анализируя изображения полученных масляных пятен следует отметить, что метод хроматографии в определенной степени отображает эффективность промывки системы смазки и удаления из нее загрязнений.

В условиях эксплуатации, на взгляд авторов работы, экспресс методом возможно получить общее представление о загрязненности системы смазки, что

является убедительным фактом для инженерно-технических служб, когда масло из желтого, прозрачного цвета, обретает черный цвет.

В целом, сравнивая хроматограммы отмечено, что они практически аналогичны и в двигателях тракторов №1 и №2, где использовался экспериментальный состав масла, и в двигателе №3, где применялось товарное масло «Лукойл».

После завершения операции промывки, двигатели останавливались, проводилась разборка центрифуг, слив масла и оценка загрязненности роторов центрифуг.

На рисунке 4.33 показан общий вид роторов центрифуг трех тракторов.



а)



б)



в)

а, б – где использовалось экспериментальное промывочное масло и ротор центрифуги трактора №3; в – где применялось товарное промывочное масло

Рисунок 4.33 – Загрязненность роторов центрифуг тракторов №1 и №2

Даже за короткий промежуток работы масла в системе смазки в двигателях тракторов (а, б), где использовалось экспериментальное промывочное масло на основе очищенного отработанного моторного масла с добавками, толщина слоя осадка является значительной, если сравнивать с известными фактами накопления загрязнений в роторе центрифуги при «нормальном» режиме работы.

Товарное промывочное масло «Лукойл», участвовавшее в промывке системы смазки 20 минут (по рекомендации изготовителей) показало более низкие

результаты по сравнению с экспериментальным разработанным составом промывочного масла.

При этом следует принять во внимание и тот факт, что кроме временных различий, в процессе промывки системы смазки двигатель работал на холостом ходу (600 ± 50 об/мин), в то время как при использовании промывочного экспериментального масла обороты систематически изменялись через каждые 5 минут работы с 600 об/мин до 1200 об/мин. Влияние данного подхода можно оценить, определив изменение элементного состава загрязнений в масле (железа и алюминия), т.е. рассмотреть влияние увеличения оборотов двигателя на появление продуктов износа, хотя данные объективные значения «уловить» довольно сложно в силу того, что в процессе очистки системы смазки в промывочное масло попадают загрязнения, оставшиеся после слива отработанного моторного масла.

Важным элементом оценки качества промывки системы смазки дизельного двигателя трактора является визуальный, безразборное определение остаточных элементов загрязнений на некоторых (доступных без разборки двигателя) деталях.

В частности, при проведении производственных испытаний в соответствии с методикой 3.9 с помощью эндоскопа рассматривались поверхности деталей под клапанной крышкой и на поверхности поршней ЦПГ после выкручивания форсунок (рисунок 4.34).

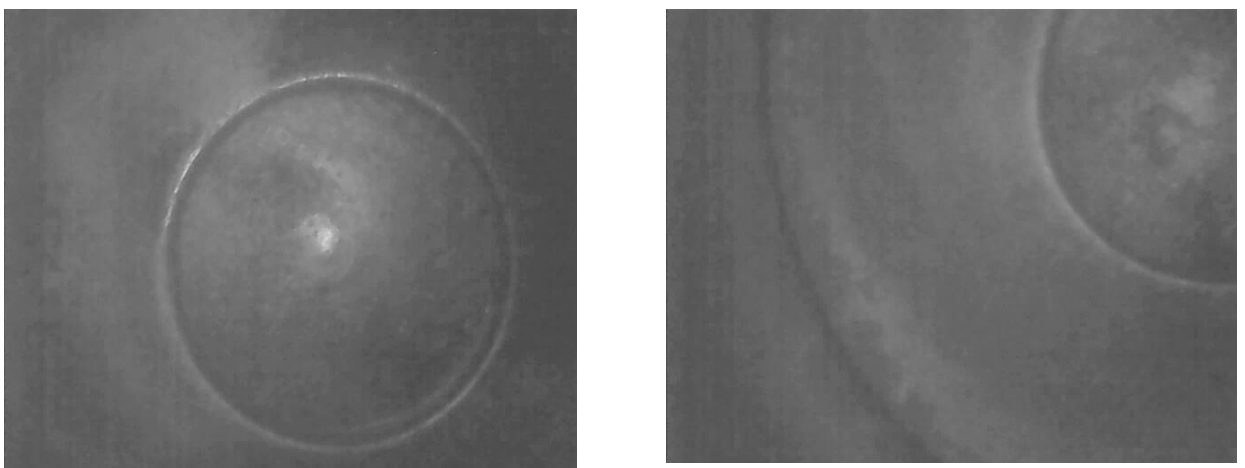


Рисунок 4.34 – Анализ загрязненности деталей двигателей посредством эндоскопа через установочные отверстия форсунок

4.10 Восстановление характеристик загрязненного промывочного масла

Промывочное масло, после слива из картера двигателя, по завершении операции очистки системы смазки содержит значительное количество загрязнений и не пригодно к повторному использованию.

В доступных литературных источниках не представлена информация о технологиях очистки таких масел.

Рассмотрим возможность очистки промывочного масла как разработанного состава, так и товарного промывочного масла «Лукойл».

В таблице 4.11 представлены результаты анализа физико-химических характеристик разработанного состава промывочного масла после завершения операции промывки двигателя Д-242 (в условиях эксплуатации).

Таблица 4.11 – Показатели разработанного состава промывочного масла после слива из картера двигателя Д-242.

Показатели	Значения
Вязкость кинематическая, мм ² /с при 100°С	8,5
Температура вспышки, °С	195
Щелочное число, мг КОН/г	3,5
Кислотное число, КОН/г	0,95
Содержание мех. примесей, %	0,91
Содержание нерастворимого осадка, %	0,86
Цвет, балл ед. ЦНТ	8

Анализируя данные в таблице следует отметить, что вязкость и температура вспышки несколько увеличились, что может свидетельствовать о выгорании части добавки дизельного топлива из состава промывочного масла.

Значение щелочного числа мало изменилось, а кислотное число выросло за счет накопления продуктов окисления.

Значительное содержание механических примесей и нерастворимого осадка свидетельствует о загрязненности масла и необходимости удаления данных

примесей. Также масло изменило свой цвет с желто-красноватого, прозрачного до практически черного.

Исследование по очистке загрязненного состава промывочного масла, на основе очищенного отработанного моторного масла, проводили двумя способами.

По первому способу в загрязненное промывочное масло (по разработанному способу очистки с добавками) при температуре 80°C вносился 1% моноэтаноламина и 1% изопропилового спирта, смесь нагревалась до 120°C и проводилось ее центрифугирование на лабораторной центрифуге. На следующем этапе, частично очищенное и осветленное масло нагревалось до температуры 60°C и в него вносился *N*-метилперролидон 10% к объему, смесь перемешивалась и подогревалась до 70°C, после чего вновь центрифугировалась на лабораторной центрифуге при частоте вращения ротора 8000 об/мин. Для упрощения способа очистки и адаптации к условиям отсутствия технических средств очистки центрифугирование заменялось отстаиванием (и на первом, и на втором этапе).

В таблице 4.12 представлены результаты анализа характеристик масла после очистки.

Таблица 4.12 – Результаты анализа характеристик промывочного масла после его очистки разработанным способом.

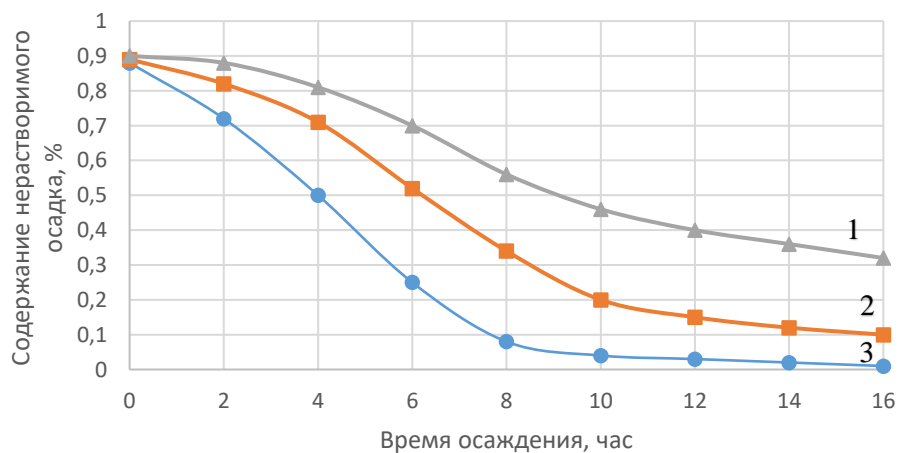
Показатели	Очищенное масло с использованием реагентов и центрифуги	Очищенное масло по упрощенной технологии отстаиванием
Вязкость кинематическая, мм ² /с при 100°C	8,5	8,1
Температура вспышки, °C	185	184
Щелочное число, мг КОН/г	2,1	1,9
Кислотное число, КОН/г	0,1	0,05
Содержание мех. примесей, %	0,001	0,001
Содержание нерастворимого осадка, %	0,01	0,015
Цвет, балл ед. ЦНТ	3,5	4

Установлено, что очистка разработанным способом позволяет удалить из промывочного масла практически все виды загрязнений с осветлением и не исключает возможность его повторного использования по прямому назначению.

Снижение концентрации вносимых реагентов обусловлено предположением об их остаточном содержании в масле после промывки ДВС. Время очистки масла в первом случае с использованием технического средства (центрифуги) составило 1 час, в то время как по упрощенной технологии (отстаиванием) 16 часов.

В ходе проведения исследований рассматривалась возможность очистки масел с использованием менее затратных и более доступных реагентов (патент ФГБНУ ВНИИТиН «Способ очистки отработанных моторных минеральных масел» № RU 2773468 С1).

В промывочный состав вносится добавка, приготовленная из 2 % очищаемого минерального масла, 1 % моноэтаноламина, раствора 1 % карбамида в 2 % гидроксида аммония и добавляется в процентном соотношении к объему масла 1,2,3%. Смесь нагревается до 100°C и отстаивается до полного осаждения примесей. На рисунке 4.35 представлены зависимости изменения содержания нерастворимого осадка в масле от концентрации реагента и времени осаждения (отстаивания).



1 – 1%; 2 – 2%; 3 – 3%

Рисунок 4.35 – Изменения содержания нерастворимого осадка в экспериментальном составе промывочного масла в зависимости от времени удаления загрязнений (осаждения)

В результате проведенных исследований установлено, что загрязненное промывочное масло возможно очистить с использованием доступных реагентов, не прибегая к техническим средствам очистки. Рациональной концентрацией смеси карбамида с гидроксидом аммония является 3% к объему очищаемого масла.

Рассмотрим возможность очистки от загрязнений товарного промывочного масла «Лукойл» после его использования в ДВС трактора.

На рисунке 4.36 представлены результаты анализа основных характеристик масла «Лукойл» с добавлением 3-х % раствора карбамида в гидроксиде аммония от времени отстаивания.

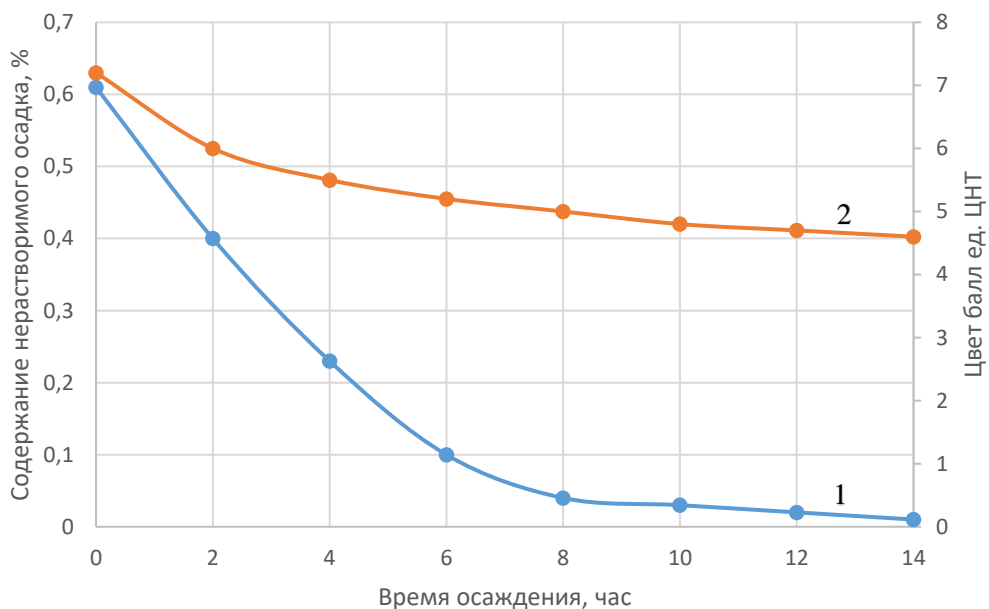


Рисунок 4.36 – Зависимость изменения содержания нерастворимого осадка (1) и механических примесей (2) промывочного масла «Лукойл» от времени осаждения

Установлено, что загрязненное товарное промывочное масло под воздействием смеси реагентов – карбамида, растворенного в гидроксиде аммония (3% к объему масла) способно за 8 часов осаждения приблизиться к исходным показателям масла.

В результате исследований не оценивались моющие свойства данного масла после очистки.

4.11 Выводы

1. В результате исследований по оценке актуальности и необходимости проведения операции промывки системы смазки двигателей тракторов от загрязнений установлено, что данная операция позволяет снизить содержание механических примесей во вновь заправленном масле М-10ДМ на 40%. Щелочное число масла за период наработки 250 часов снижается до 4 мг КОН/г, в то время как при отказе от промывки системы смазки до 2,8 мг КОН/г.

В целом подтверждена эффективность и целесообразность использования операции промывки системы смазки, способствующая увеличению срока службы масла, повышению надежности работы двигателя.

2. Установлено, что промывочное масло «Лукойл» позволяет удалять основную массу загрязнений с поверхности металла. Содержание нерастворимого осадка в масле за время промывки 30 минут увеличилось от 0 до 0,22...0,28%, цвет масла изменился с 3,4 баллов до 5 единиц ЦНТ.

3. Определено, что внесение в отработанное моторное масло размолотого карбамида растворенного в гидроксиде аммония позволяет скоагулировать растворенные мелкодисперсные частицы смол, а последующее отстаивание в течение 8 часов снизить их содержание с 0,9 до 0,25% при концентрации компонентов в масле 3%, цвет масла изменяется с 9 баллов до 5. Хроматограмма масляных пятен подтверждает эффективность процесса коагуляции. При использовании 3% раствора моноэтаноламина и изопропилового спирта снижается содержание нерастворимого осадка с 0,9 до 0,11%, а кислотное число масла уменьшается с 1,5 до 0,05 мг КОН/г. Применение *N*-метилперролидона на последних ступенях очистки с последующим отстаиванием снижает содержание смол и загрязнений с 0,1% до 0,01%, цвет масла при концентрации внесения компонента изменяется с 4 до 3 баллов единиц ЦНТ.

На основании полученных данных разработана принципиальная схема технологического процесса очистки отработанного моторного масла для использования его в качестве базового масла.

Запатентован способ очистки отработанного моторного масла (патент № 2818564). Изготовлена и испытана установка для очистки отработанного моторного масла.

4. В результате исследований по определению рационального состава промывочного масла на основе очищенного отработанного моторного масла сформирован состав добавок, повышающий моющие свойства, включающий: 3 % дизельного топлива, 3 % изопропилата калия, 3 % диметилсульфоксида (ДМСО), позволяющих значительно увеличить моющие свойства масла. Получен патент на изобретение № 2805073 «Промывочное масло».

5. На основании результатов экспериментальных исследований по перемешиванию базового очищенного отработанного моторного масла с добавками установлено, что время перемешивания в соответствии с принятой и теоретически обоснованной схемой составляет 15...20 минут при температуре масла 70...80°C и давлении в системе 3...4 кгс/см².

6. При проведении исследований и испытаний разработанного состава масла в модельной схеме трубопроводов установлены, его достаточно высокие моющие свойства. Поверхность металла, загрязненная смолами на 100% через 25-30 минут работы системы становилась практически полностью чистой, аналогично как при использовании масла компании «Лукойл».

7. В результате сравнительной оценки противоизносных свойств базовых масел, отработанного моторного масла после очистки и товарного индустриального масла И-20А на четырехшариковой машине трения установлено, что диаметр пятна износа составлял 0,51 мм, 0,22 мм, 0,39 мм соответственно. Внесение добавок не повлияло значительно на величину диаметра пятна износа. Момент силы трения определяемый на машине СМЦ-2 в парах трения колодка-ролик составлял для экспериментального состава промывочного масла 2,9 Н·м, для товарного масла «Лукойл» 4,0 Н·м. Температура поверхности ролика на экспериментальном составе составляла 90°C и на товарном масле «Лукойл» 135°C.

8. Сравнительные производственные испытания разработанного состава промывочного масла, проведенные в условиях сельскохозяйственного

производства на тракторах марки МТЗ показали, что содержание загрязнений в свежезаправленном масле после промывки системы смазки экспериментальным составом снизилось в 1,5...2 раза, компрессия возросла на 3...5%. Дальнейшими испытаниями установлено, что свежезаправленное моторное масло после промывки системы смазки имело срок службы на 20...25% больше, чем без промывки системы смазки.

9. По результатам исследований по восстановлению свойств проработавшего промывочного масла установлено, что внесение 1% моноэтаноламина, 1 % карбамида в 2 % гидроксида аммония с последующим нагревом смеси до 100°C и отстаиванием до полного осаждения загрязнений позволяет снизить содержание нерастворимого осадка до 0,01% у экспериментального состава масла с 0,6% до 0,015% у товарного промывочного масла «Лукойл». То есть довести до показателей практически аналогичных исходному маслу.

5 ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ОТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОСТАВА ПРОМЫВОЧНОГО МАСЛА НА ОСНОВЕ ОТРАБОТАННОГО ОЧИЩЕННОГО МОТОРНОГО МАСЛА

Затраты на приобретение и использование промывочного масла в общем объеме затрат на производство сельскохозяйственной продукции не столь велики.

Однако, ставя вопросы и задачи в соответствии с целью работы - повышение эффективности использования ресурсов, предполагается комплексное решение проблемы, заключающееся в снижении затрат на приобретение промывочных масел, использования отработанных моторных масел в качестве основы для приготовления промывочных масел, тем самым добиваясь снижения загрязнения окружающей среды, повышения надежности работы машин, увеличения сроков службы за счет поддержания системы смазки двигателя внутреннего сгорания в чистоте.

Экономическая эффективность рассчитывается для сельскохозяйственного предприятия среднего уровня с парком тракторов не более 30, комбайнов не более 20, автомобилей 20-30. Исходя из информации инженерных служб хозяйства с подобной оснащенности техникой, объем потребляемых промывочных масел составляет порядка 2400 литров в год, при этом стоимость одного литра товарного промывочного масла составляет ≈ 100 рублей.

Экономический эффект от использования промывочного масла, получаемого на основе отработанного моторного масла, определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_c = \mathcal{Z}_{\text{п.м.т.}} - \mathcal{Z}_{\text{п.м.от.м.}}; \quad (5.1)$$

где, $\mathcal{Z}_{\text{п.м.т.}}$ – затраты на использование товарного промывочного моторного масла, руб.;

$\mathcal{Z}_{\text{п.м.от.м.}}$ – затраты на использование промывочного масла, на основе отработанного моторного масла, руб.

Затраты на использование товарного промывочного масла:

$$\mathcal{Z}_{\text{п.м.м.}} = N_{\text{п}} \cdot \mathcal{C}; \quad (5.2)$$

где, $N_{\text{п}}$ – норма потребления промывочного масла предприятием; Ц – стоимость промывочного масла за литр.

Данные для проведения расчетов приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – исходные данные

№ п/п	Затраты	Обозначение	Стоимость
1	Изопропилат калия, руб	$Z_{\text{из.к.}}$	7350
2	Диметилсульфоксид, руб	$Z_{\text{дмс.}}$	450
3	Дизельное топливо, руб	$Z_{\text{диз.т.}}$	3456
4	N-метилпиперидон, руб	$Z_{\text{метилл}}$	108000
5	Карбамид, руб	$Z_{\text{карб.}}$	800
6	Фонд рабочего времени, ч	T	40
7	Стоимость оборудования, руб	C_o	25000
8	Объем оборотных средств	$C_{\text{об}}$	2500000

Затраты на изготовление промывочного масла на основе отработанного моторного масла в условиях АПК:

$$Z_{\text{п.п.м.от.м.}} = C_o + C_{\text{к.п.с.с.}} + C_{\text{п.п.м.от.м.}}; \quad (5.3)$$

где, C_o – стоимость оборудования для приготовления промывочного масла на основе отработанного моторного масла; $C_{\text{к.п.с.с.}}$ – стоимость компонентов для приготовления промывочного масла на основе отработанного моторного масла; $C_{\text{п.п.м.от.м.}}$ – себестоимость получения промывочного масла на основе отработанного моторного масла.

Себестоимость получения промывочного масла на основе отработанного моторного масла получаем по формуле:

$$C_{\text{п.п.м.от.м.}} = ЗП + СВ + A_{\text{опф}} + Z_{\text{проч}} + Z_{\text{сод}}; \quad (5.4)$$

где, $ЗП$ – суммарная заработная плата рабочих, руб; $СВ$ – страховые взносы (отчисления), руб; $A_{\text{опф}}$ – амортизация основных производственных фондов, руб; $Z_{\text{проч}}$ – прочие расходы, которые относятся к данному структурному подразделению, руб; $Z_{\text{сод}}$ – затраты на содержание оборудования, руб.

Суммарная заработная плата:

$$ЗП = N \cdot C_{\text{ср.ч.}} \cdot T \cdot (72 \cdot 2); \quad (5.5)$$

где, N – количество рабочих, чел; $C_{\text{ср.ч.}}$ – среднечасовая тарифная ставка рабочих, руб/час; T – годовой фонд рабочего времени, час, 72 – количество техники, находящейся на балансе предприятия 2 – запланированная частота замены отработанного моторного масла с промывкой системы смазки, раз в год.

Отчисления от фонда заработной платы (страховые взносы):

$$СВ = ЗП \cdot П; \quad (5.6)$$

где, $П$ – процент обязательных взносов, %.

Затраты на содержание оборудования:

$$З_{\text{сод}} = C_0 \cdot 0,1; \quad (5.7)$$

Амортизация основных производственных фондов:

$$A_{\text{опф}} = \frac{C_{\text{об}} \cdot H_{\text{ам}}}{100}; \quad (5.8)$$

где, $C_{\text{об}}$ – объем оборотных средств; $H_{\text{ам}}$ – норма амортизационных отчислений по производственному оборудованию, %.

Норма амортизационных отчислений по производственному оборудованию:

$$H_{\text{ам}} = \left(\frac{1}{n}\right) \cdot 100\%; \quad (5.9)$$

где, n – срок использования производственных фондов, лет.

Прочие расходы:

$$З_{\text{проч}} = ЗП \cdot 0,03; \quad (5.10)$$

Затраты на компоненты для промывки системы смазки:

$$З_{\text{к.п.с.с.}} = З_{\text{дмс}} + З_{\text{из.к.}} + З_{\text{диз.т.}} + З_{\text{метилл}} + З_{\text{карб.}}; \quad (5.11)$$

где, $З_{\text{дмс}}$ – затраты на диметилсульфоксид; $З_{\text{из.к.}}$ – затраты на изопропилат калия; $З_{\text{диз.т.}}$ – затраты на дизельное топливо, $З_{\text{метилл}}$ – затраты на N-метилперролидон, $З_{\text{карб.}}$ – затраты на карбамид.

Определяем срок окупаемости по формуле:

$$S_{\text{ок}} = \frac{З_{\text{п.м.от.м.}}}{Э_c}; \quad (5.12)$$

$$З_{\text{к.п.с.с.}} = 450 + 7350 + 3456 + 108000 + 800 = 120056, \text{ руб}$$

$$ЗП = 1 \cdot 60 \cdot 1 \cdot (72 \cdot 2) = 8400, \text{ руб}$$

$$СВ = 8400 \cdot 0,3 = 2520, \text{ руб}$$

$$З_{\text{проч}} = 8400 \cdot 0,03 = 252, \text{ руб}$$

$$Н_{\text{ам}} = \left(\frac{1}{8}\right) \cdot 100\% = 12,5, \%$$

$$A_{\text{опф}} = \frac{25000 \cdot 12,5}{100} = 3125, \text{ руб}$$

$$З_{\text{сод}} = C_{\text{об}} \cdot 0,1 = 2500 \cdot 0,1 = 2500, \text{ руб}$$

$$C_{\text{п.п.м.от.м}} = 8400 + 2520 + 2500 + 3125 + 2500 = 19045, \text{ руб}$$

$$З_{\text{п.м.от.м.}} = 25000 + 120056 = 164101, \text{ руб.}$$

$$З_{\text{п.м.м.}} = 240 \cdot 100 = 240000, \text{ руб}$$

$$Э_c = 240000 - 164101 = 75899, \text{ руб}$$

Экономический эффект от использования промывочных масел на основе отработанных моторных масел составляет 75899 руб.

Применение операции промывки системы смазки при плановой замене отработанного моторного масла позволяет существенно снизить износ деталей цилиндрико-поршневой группы за счет снижения тепловой нагрузки, а соответственно увеличить срок службы и наработку до капитального ремонта на 15-20%.

$$A'_{\text{кр}} = A_{\text{кр}} \cdot k; \quad (5.13)$$

где, k – коэффициент, учитывающий увеличение наработки, $k = 1,2$ (коэффициент получен в результате стендовых и эксплуатационных испытаний); $A'_{\text{кр}}$ – межремонтная наработка по данным ГНУ ГОСНИТИ, $A'_{\text{кр}} = 4600$ мото·час.

$$A'_{\text{кр}} = 4600 \cdot 1,20 = 5520 \text{ мото} \cdot \text{час}$$

Тогда количество капитальных ремонтов составит:

$$N_{\text{кр}} = \left(\frac{t_r}{A'_{\text{кр}}}\right) \cdot n; \quad (5.14)$$

где, $t_{\text{ср}}$ – средняя наработка машины за год; $t_{\text{ср}} = 835$ мото/час; n – количество машин (принимается среднее количество автомобилей, тракторов, комбайнов в хозяйстве 72 ед.).

$$N_{\text{кр}} = \left(\frac{835}{4600} \right) \cdot 72 \approx 13; \text{ - при отказе от операции промывки системы смазки;}$$

$N_{\text{кр}}' = \left(\frac{835}{5520} \right) \cdot 72 \approx 10,9; \text{ - при использовании операции промывки системы смазки.}$

Отсюда определяем возможность снижения затрат на ремонт по парку:

$$Z'_{\text{кр}} = N_{\text{кр}} \cdot Z_{\text{р}}; \quad (5.15)$$

где, $Z_{\text{р}}$ – затраты на ремонт ДВС, средняя стоимость 120000 руб.

$Z_{\text{кр}} = 13 \cdot 120000 = 1560000$, руб. – при отказе от операции промывки системы смазки;

$Z'_{\text{кр}} = 10,9 \cdot 120000 = 1308000$, руб – при использовании операции промывки системы смазки.

Соответственно экономический эффект за год по парку машин за счет снижения затрат на ремонт, составит:

$$Э_{\text{кр}} = Z_{\text{кр}} - Z'_{\text{кр}}; \quad (5.16)$$

где, $Z_{\text{кр}}$ – составляет в среднем на ремонт ДВС парка из 72 машин, руб.

$$Э_{\text{кр}} = 1560000 - 1308000 = 252000 \text{ руб/год.}$$

Общий экономический эффект от использования промывочных масел на основе отработанных моторных масел:

$$Э_{\text{об}} = Э_{\text{с}} + Э_{\text{кр}}; \quad (5.17)$$

$$Э_{\text{об}} = 75899 + 252000 = 327899 \text{ руб/год}$$

Общие экономические показатели формируются за счет снижения затрат от использования разработанной технологии получения промывочных масел взамен товарных и ремонт техники при отказе от выполнения операции промывки системы смазки.

$$S_{\text{ок}} = \frac{164101}{327899} \approx 0,5 \text{ лет}$$

Срок окупаемости рассчитывался исходя из производства и использования 2400 литров промывочного масла. С увеличением машинно-тракторного парка и при организации межхозяйственной деятельности экономический эффект увеличится, а срок окупаемости значительно уменьшится практически

пропорционально увеличению объемов производства промывочных масел на основе отработанных моторных масел.

Результаты расчетов сведены в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 – Расчетное значение приведенных затрат

№ п/п	Показатель	Обозначение	Значение
1	Затраты на компоненты для промывки системы смазки, руб	$Z_{к.п.с.с.}$	120056
2	Заработная плата, руб	$ZП$	8400
3	Отчисления от фонда заработной платы, руб	$СВ$	2520
4	Прочие расходы, руб	$Z_{проч}$	252
5	Норма амортизационных отчислений, %	$N_{ам}$	12,5
6	Амортизация основных производственных фондов, руб	$A_{опф}$	3125
7	Затраты на содержание оборудования, руб	$Z_{сод}$	2500
8	Себестоимость получения промывочного масла на основе отработанного моторного масла, руб	$C_{п.п.м.от.м}$	19045
9	Экономический эффект, руб	$Э_c$	75899
10	Экономический эффект за счет снижения затрат на ремонт, руб	$Э_{кр}$	252000
11	Срок окупаемости, лет	$S_{ок}$	0,5

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате анализа состояния вопроса установлено, что в процессе работы двигателей тракторов в моторных маслах накапливается значительное количество (до 3%) примесей, смол, которые снижают эксплуатационные характеристики двигателя, его мощность, надежность систем, уменьшают срок службы свежезаправленного моторного масла на 15 – 20%. Товарные промывочные масла обладают ограниченными моющими свойствами и высокой стоимостью приобретения для их использования в ДВС сельскохозяйственных машин. Существующие методы и оборудование для промывки систем смазки двигателей практически не используются в АПК, а ресурсосберегающие технологии не применяются.

2. Теоретически обоснован способ очистки отработавших моторных масел до состояния базовых масел посредством внесения коагулирующих добавок, разработана упрощенная малозатратная схема удаления загрязнений из ОММ.

Обоснованы параметры процесса смешивания очищенного масла с добавками. Получены уравнения движения жидкости и компонентов при смешивании. Определены рациональные параметры оборудования. Определены показатели эффективности промывки системы смазки, актуальные для условий АПК, такие как компрессия в цилиндрах и цвет масла.

3. Разработан способ очистки отработанного масла с использованием реагентов: моноэтаноламина 3%, изопропилового спирта 3%, *N*-метилперролидона 10-20% с последующим отстаиванием в течении 8 часов. Разработан рациональный состав промывочного масла, включающий 1-3 % дизельного топлива, 1-3 % диметилсульфоксида, 1-3 % изопропилата калия. Установлено, что предложенный состав позволяет удалить до 90% загрязнений с поверхности металла.

4. Производственные испытания разработанного состава промывочного масла подтвердили его высокие характеристики: увеличение компрессии в цилиндрах двигателя на 3-5%, снижение содержания загрязнений в системе смазки в 1,5-2 раза. Предложен технологический процесс восстановления отработанных

промывочных масел для их повторного использования, включающий внесение 1 % моноэтаноламина в 2 % гидроксида аммония с последующим нагревом до 80 °С и отстаиванием.

5. Экономический эффект от внедрения ресурсосберегающей технологии очистки систем смазки ДВС формируется за счет снижения затрат на масло и ремонт техники и составляет 769857 рублей в год на парк из 72 единиц техники.

6. Результаты диссертационной работы внедрены в производство и используются в сельскохозяйственных предприятиях Тамбовской области (приложения Е, Ж). Полученные результаты позволяют рекомендовать применение разработанного состава промывочного масла на основе отработанного очищенного моторного масла с добавками (патент РФ № 2805073) для промывки дизельных двигателей сельскохозяйственных машин, что позволяет восстановить эффективность ДВС и продлить срок службы работающего масла.

7. Перспективы дальнейшей разработки темы: изучение процесса восстановления свойств использованного промывочного масла с целью его повторного применения, а также возможности использования новых добавок для повышения свойств состава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский – М.: Наука, 1976. – 280 с.
2. Аллилуев В. А. Техническая эксплуатация машинно-тракторного парка / В.А. Аллилуев, А.Д. Ананьин, В.М. Михлин // учеб. пособие для вузов по спец. "Механизация сел. хоз-ва" – М.: Агропромиздат, 1991. – 367 с.
3. Альтшуллер М.Я. Срабатываемость присадок и их дозированный ввод в моторные масла / Я.М. Альтшуллер – М.: Химия, 1979. – 178 с.
4. Арабян С.Г. Масла и присадки для тракторных и комбайновых двигателей / С.Г. Арабян, А.Б. Виппер, И.А. Холомонов – М.: Машиностроение. 1984. – 207 с.
5. Артышев С.Г. Обобщение решения Ландау о затопленной струе / С.Г. Артышев // Теоретическая и математическая физика. – 2016, т. 186, №2, с. 181–190.
6. Бакунин В.Н. О роли мицеллообразования в реакциях высокотемпературного окисления углеводородов / В.Н. Бакунин, Г.Н. Кузьмина, О.П. Паренаго // Нефтехимия. 1997. – Т. 37. – № 2. – С. 99–104.
7. Белогорский В.В. Повышение эффективности экспресс-методов и средств контроля качества моторных масел дис. канд. техн. наук. / В.В. Белогорский. — Мичуринск - Научкоград, 2009. – 187 с.
8. Бобер А.Э. Увеличение срока использования моторного масла дизеля Д- 240 совершенствованием системы очистки: Автореф. дис. канд. техн. наук. / А.Э. Бобер. – Киев: Укр. сель, хозяйство, 1989. – 16 с.
9. Болдашев Г.И. Ресурсосберегающие методы использования сельскохозяйственной техники / Г.И. Болдашев, Г. П. Савинов, В.Р. Поздняков // Ульяновск, 1990. – С. 23 – 25.
10. Большаков Г.Ф. Восстановление и контроль качества нефтепродуктов / Г.Ф. Большаков // Л.: Недра, 1974. – 318 с.

11. Броман Г.И. Затопленная струя Ландау: точные решения, их смысл и приложения / Г.И. Броман, О.В. Руденко // Успехи физических наук, 2010, т. 180, №1, с. 97 – 104.
12. Бутов Н.П. Система восстановления и использования отработанных автотракторных масел в АПК / Н.П. Бутов // Автореф. дис. докт. техн. наук. – зерноград, 1988. – 36 с.
13. Бутов Н.П. Научные основы проектирования малоотходной технологии переработки и использования отработанных минеральных масел / Н.П. Бутов // зерноград: ВНИПТИМЭСХ, 2000. – 410 с.
14. Бухвалов С.Г. Теоретическое обоснование остаточного ресурса работающего трансмиссионного масла / С.Г. Бухвалов // Куйбышевский сельскохозяйственный институт. – Ульяновск.: 1990 – 350 с.
15. Быстрицкая А.П. Экспресс-оценка качества работающих масел / А.П. Быстрицкая // Тракторы и автомобили. – 1995 – №12. – С. 21 – 25.
16. Венцель С.В. Смазка двигателей внутреннего сгорания / С.В. Венцель. – М.: Машгиз, 1963. – 180 с.
17. Венцель С.В. Применение смазочных масел в автомобильных и тракторных двигателях / С.В. Венцель, – М.: Химия, 1969. – 228 с.
18. Венцель С.В. Применение смазочных масел в ДВС / С.В. Венцель – М.: Химия, 1979. – 150 с.
19. Виппер А.Б. Зарубежные масла и присадки / А.Б. Виппер, А.В. Виленкин, Д.А. Гайснер. – М.: Химия, 1981. – 187 с.
20. Вигдорович М.В. Физический расчет перемешивания жидкости турбулентной струей в баке цилиндрической формы / М.В. Вигдорович, В.В. Остриков // Вестник Национального исследовательского ядерного университета “МИФИ”, 2021, том 10, № 5, с. 397 – 402.
21. Геращенко В.И. Магнитная очистка масла от продуктов коррозии, износа, других примесей / В.И. Геращенко // Информационный листок Ровненского ЦНТИ. – №087 – 37. – 1987. – 3с.

22. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Е. Гмурман // учеб. пособие для вузов – 10–е изд., стер. – М.: Высшая школа, 2004. – 479 с.
23. Годунова Л.Н. Обоснование нормативов срока службы восстановленных моторных масел в тракторных двигателях: дис. канд. техн. наук: / Л.Н. Годунова – зерноград. 2005. – 100 с.
24. ГОСТ ISO 6619-2013 Нефтепродукты и смазки. Число нейтрализации. Метод потенциометрического титрования. – Взамен ГОСТ – 11326 – 96; введен в действие 01.01.2015 – М.: ИПК Издательство стандартов, 2015. – 17 с.
25. ГОСТ 18136-2017 Масла. Метод определения стабильности против окисления. Введен 01-07-2019 – М.: Стандартиформ, 2019. – 7с.
26. ГОСТ 20684 – 75. Масла моторные отработанные. Метод определения нерастворимых осадков. Введен 1976 – 7 – 01 – М.: ИПК Издательство стандартов, 1986. – 3.с.
27. ГОСТ 33909-2016 Нефтепродукты. Определение цвета на колориметре Сейболта. Введен 01-07-2018 – М.: ИПК Издательство стандартов, 2018. – 2 с.
28. ГОСТ 33-2016 Нефть и нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической и динамической вязкости. - Взамен ГОСТ 33-82; Введен 01 – 07 – 2018 – М.: ИПК Издательство стандартов, 2018. – 22 с.
29. ГОСТ 6370-2018 Нефть, нефтепродукты и присадки. Метод определения механических примесей. – Взамен ГОСТ – 6370 – 59; введен в действие 01-12-2023 - М.: ИПК Издательство стандартов, 2023. – 17 с.
30. ГОСТ 8581-2021 Масла моторные для автотракторных дизелей. Технические условия. – Введен 01–07–2022. – М.: Изд-во стандартов. 2022. – 8 с.
31. Григорьев М.А. Очистка масла и топлива в двигателях внутреннего сгорания / М.А. Григорьев – М.: Машиностроение, 1970. – 217 с.
32. Григорьев М.А. Автомобильные и тракторные центрифуги (теория, конструкция, расчет и эксплуатация) / М.А. Григорьев, Покровский Г.П. – И.: Машгиз. 1961. – 92с.

33. Григорьев М.А. Качество моторного масла и надежность двигателей / М.А. Григорьев, Б.М. Бунаков, В.А. Долецкий. – М.: Издательство стандартов, 1981. – 232 с.
34. Григорьев М.А. Комбинированные системы очистки масла дизеля / Григорьев М.А., Кенжебаев С.О., Волков В.И. // Автомобильная промышленность. 1992. – №7. – С. 14 – 16.
35. Гродзиевский В.И. Реактивные центрифуги для очистки масел в дизелях внутреннего сгорания / В.И. Гродзиевский. – Москва – Киев: Машгиз, 1963. – 88 с.
36. Гурьянов Ю.А. Экспресс-методы и средства диагностирования агрегатов машин по параметрам масла: дис. ... докт. техн. наук: / Ю.А. Гурьянов – Челябинск, 2007. – 371с.
37. Гуцин В.А. Теоретические предпосылки восстановления основных эксплуатационных свойств смазочных масел / Гуцин В.А., Остриков В.В., Гуцина А.И. – Тамбов: ВИИТиН 1994. – 36 с.
38. Дерягин Б.В. О влиянии электромагнитного запаздывания молекулярного притяжения на коагулирующие концентрации электролитов/ Б.В. Дерягин, В.П. Смилга // ДАН СССР, 1963, Т. 153, № 2, С. 377 – 378.
39. Закономерности расходования нейтрализующей присадки / В.И. Ворожихина [и др.] // Закономерности расходования нейтрализующей присадки. – М.: НИИН-ФОРМТЯЖМАШ, 1969. – № 4 – 69-12. – С. 9 – 14.
40. Заславский Ю.С. Механизм действия противоизносных присадок к маслам / Ю.С. Заславский, Р.Н. Заславский. – М.: Химия. – 1978. 224с.
41. Захарченко В.Н. Коллоидная химия: учеб. для медико-биолог. спец. вузов / В.Н. Захарченко – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1989. – 238 с.: ил.
42. Иванов В.А. Основные физико-химические свойства смазочных материалов: Учеб. пособие /В.А. Иванов, М.П. Лябин, С.М. Москвичев; М-во образования Рос. Федерации. Волгоград, гос. техн. ун-т. – Волгоград: Политехник, 2001. – 20с.

43. Изменения структуры углеводородной среды в процессе жидкофазного окисления / В.Н. Бакунин [и др.] // Нефтехимия. – 2001. – Т. 41. – №1. – С. – 46.
44. Изменение характеристик моторных масел в двигателях зерноуборочных комбайнов / В.В. Остриков, В.С. Вязинкин, А.В. Кошелев, А.В. Забродская // Наука в центральной России. – 2022. №3 (57). С. 70 – 75.
45. Итинская Н.И. Справочник по топливам, маслам и техническим жидкостям / Н.И. Итинская И.А. Кузнецов – М.: Колос, 1982. – 120 с.
46. Итинская Н.И. Экономное использование нефтепродуктов / Н.И. Итинская, Н.А. Кузнецов, А.П. Быстрицкая – М.: Колос. – 1984. – 175с.
47. Картошкин А.П. Смазочные материалы для автотракторной техники / А.П. Картошкин // Справочник. – М.: – Академия, 2012. – 240с.
48. Клейменов Б.В. Присадки к маслам / Б.В. Клейменов. – М.: Химия, 1966. С. 228–236.
49. Коваленко В.П. Загрязнения и очистка нефтяных масел / В.П. Коваленко. – М.: Химия, 1978. – 302 с.
50. Кошелев А.В. Очистка системы смазки двигателей тракторов / А.В. Кошелев // Наука в центральной России. – 2022. – № 2 (56). С. 142 – 147.
51. Кройт Г.Р. Наука о коллоидах / Г.Р. Кройт, – М.: Изд-во иностр. лит., 1955. – 393 с.: ил.
52. Кулиев А.М. Химия и технология присадок к маслам и топливам / А.М. Кулиев – 2-е изд., переаб. – Л: Химия, 1985. – 312 е., ил.
53. Ландау Л.Д. Об одном новом точном решении уравнений Навье–Стокса / Л. Д Ландау // ДАН СССР, т. 43, № 299, 1944 г. – с. 443–446.
54. Ландау Л.Д. Теоретическая физика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц // Т. IV. Гидродинамика. М.: Наука, 1988. – С. 118–121.
55. Лашхи В.Л. Исследование эффективности действия антифрикционных присадок и моторным маслам /В.Л. Лашхи, А.Б. Вуппер, И.А. Буяновский // Трение и износ. – 1982. – Т. 3. – С. 988-993.

56. Левшанов Г.Г. Исследование эксплуатационной оценки качественного состояния моторного масла для оптимизации срока его использования: Автореф. дис. канд. техн. наук: / Г.Г. Левшанов - Ульяновск, 1972 г. – 26 с.
57. Ленский А.В. Специализированное техническое обслуживание машинно-тракторного парка / Ленский А.В., Быстрицкая А.П. – М.: Колос, 1982. – 236 с.
58. Лышко Г.П. Топливо и смазочные материалы / Г.П. Лышко // Учебное пособие для студентов по спец. "Механизация сел.хоз-ва" и "Сел.хоз-во". – М.: Агропромиздат, 1985. – 336 с.
59. Лышко Г.П. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости / Лышко, Г.П. – М.: Колос, 1979. – 256 с.
60. Матвеевский Р.М. Оценка энергии активации процесса химического модифицирования поверхности трения в условиях граничной смазки / Р.М. Матвеевский, И.А. Буяновский // ХТТМ. – 1976. – № 3. – С. 50-52.
61. Микутенко Ю.А. Смазочные системы дизелей / Ю.А. Микутенко, В.А. Шкаренко, В. Д. Резников // – JL: Машиностроение, Ленингр. отд-ие, 1986. – 125 с.
62. Михайлов А.Н. Обоснование периодичности замены работающего моторного масла тракторного дизеля / Михайлов, А.Н. // Двигателестроение, Ленингр. с. – х. ин-т. – Ленинград, 1990. – 17 с.
63. Михайлов Я.Н. Обоснование срока службы моторных масел при эксплуатации высокофорсированных тракторных двигателей на примере двигателя СМД-62: Автореф. дис канд. техн. наук: / Я.Н. Михайлов. – Киев, 1988 – 20 с.
64. Морозов Г.А. Применение Дизельных масел с присадками / Г.А. Морозов, – Л.: ГОСТОПТЕХИЗДАТ, 1962. – 220 с.
65. Морозов Г.А. Очистка масел в дизелях / Г.А. Морозов, О.М. Арциомов – Л.: Машиностроение, 1971. – 191 с.
66. Мохнатин Э.М. Исследование условий работы масел с присадками в высокотемпературной зоне форсированных дизелей: дисс. канд. Наук: / Э.М. Мохнатин – JL, 1969. – 210 с.

67. Нагдаев В.К. Атомно-абсорбционный метод контроля элементов износа моторных масел в различных условиях применения / Нагдаев В.К., Остриков В.В., Кошелев А.В., Жерновников Д.Н. // Наука в центральной России. – 2023. – № 2 (62). С. 127–134.
68. Непогодьев А.В. Механизм окисления масла в поршневых двигателях / А.В. Непогодьев // Химия и технология топлив и масел. – 1997. – № 4. - С. 34–38.
69. Непогодьев А.В. Исследование процессов загрязнения масла в турбопоршневых двигателях: дис... канд. техн. наук: / А.В. Непогодьев. – Коломна 1965. – 215 с.
70. Непогодьев А.В. Метод оценки интенсивности старения масла / Непогодьев А.В., Ворожихина В.И. // Двигатели внутреннего сгорания: Экспресс-инф. – НИИН-ФОРМТЯЖМАЖ. 1969. – № 4 – 69-12. – С. 3 – 9.
71. Непогодьев А.В. Присадки к маслам / А.В. Непогодьев. - М: 1966, С. 202 – 209.
72. Обзор промывочных масел [Электронный ресурс]. - URL: <https://autotuning.expert/rating/luchshie-promyvochnye-masla-dlya-dvigatelya-avtomobilya.html/>
73. Оганесова Э.Ю. Влияние условий жидкофазного высокотемпературного окисления гексадекана на механизм процесса / Э.Ю. Оганесова, Е.Г. Борду-банова, З.В. Попова // Нефтехимия. – 2004. – Т. 44. – № 2. – С. 119–126.
74. Остриков В.В. Восстановление эксплуатационных свойств отработанных моторных масел / В.В. Остриков, Г.Д. Матыцин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – №12. – 1997. – С. 24 – 26.
75. Остриков В.В. Удаление загрязнений из моторных масел / Остриков В.В., Кашникова Л.В. // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – № 10. – 1999 – С. 10.
76. Остриков В.В. Восстановление отработанного моторного масла для повторного использования в ДВС / Остриков В.В., Матыцин Г.Д. – Двигателестроение. – №3. – 1999. – с. 30 – 33.

77. Остриков В.В. Повышение эффективности использования смазочных материалов путем разработки и совершенствования методов, технологий и технических средств: дис. докт. техн. наук: / В.В. Остриков. – Тамбов: ВИИТиН, 2000. – 560 с.

78. Остриков В.В. Современные технологии и оборудование для восстановления отработанных масел / В.В. Остриков, А.Н. Зазуля, И.Г. Голубев, – М.: ФГНУ «Росинформагротех» 2001. – 64 с.

79. Остриков В. В. Смазочные материалы и контроль их качества в АПК / В.В. Остриков, О.А. Клейменов, Б.М. Баутин – М.: Росинформатех, 2003. – 172 с.

80. Остриков В.В., Исследование процесса срабатывания присадок в дизельных маслах / В.В. Остриков, Н.Н. Тупотилов, В.В. Жилин // Тезисы докладов НТК «Улучшение эксплуатационных показателей двигателей тракторов и автомобилей» – г. С. –Петербург, 2003 г. – С. 158 – 161.

81. Остриков В. В. Кинетика срабатывания присадок в дизельных маслах / В.В. Остриков, Н.Н. Тупотилов, В.В. Жилин // Ж. Двигателестроение. – №1. – 2004. – С. 35–37

82. Остриков В.В. Смазочные моторные масла и контроль их качества / В.В. Остриков, В.В. Белогорский // Техника в сельском хозяйстве. – 2007. – №2. – С. 40-41.

83. Остриков В.В. Мониторинг масел от закупки до отработки / В.В. Остриков, В.В. Белогорский // Сельский механизатор. – 2007. – №7. – С.42 – 43

84. Остриков В.В. Контроль качества смазочных моторных масел в сельском хозяйстве / В.В. Остриков, В.В. Белогорский // Техника и оборудование для села. – 2007. – №12. – С.39 – 40.

85. Остриков В.В. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости [Текст]: учебное пособие / В.В. Остриков, А.П. Уханов, К.У. Сафаров, С.А. Нагорнов, О.А. Клейменов, В.Д. Прохоренков// – Ульяновск, 2009. – 575.с

86. Остриков В.В. Оценка влияния качества дизельного топлива и характеристик моторного масла на изменение его свойств в ДВС и срок службы /

В.В. Остриков, В.К. Нагдаев, А.В. Забродская, А.В. Кошелев // Наука в центральной России. – 2020. – № 2(44). – С. 99–103

87. Остриков В.В. Теоретические аспекты оценки эффективности промывки системы смазки ДВС от загрязнений/ В.В. Остриков и др. // Наука в центральной России. – 2020. – № 4(46). С. 84–89.

88. Остриков В.В. Оценка диспергирующе-стабилизирующих свойств моторного масла / В.В. Остриков и др.// В сборнике: Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства. Сборник научных докладов XXI Международной научно–практической конференции. Тамбов, 2021. – С. 135–139.

89. Остриков В.В. Промывка системы смазки двигателей тракторов составом на основе отработанного моторного масла / В.В. Остриков, А.В. Кошелев, А.В. Забродская, В.В. Сафонов // Научная жизнь. – 2021. – Т. 16. № 8 (120). С. 1095–1105.

90. Остриков В.В. Анализ изменения свойств моторных масел в период уборочных работ и вынужденного простоя зерноуборочных комбайнов/ Остриков В.В. Жерновников Д.Н. Вязинкин В.С. Кошелев А.В. // В сборнике: Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники. материалы XXXV Международной научно–технической конференции имени В.В. Михайлова. Саратов, 2022. – С. 186–192.

91. Остриков В.В. Оценка влияния некоторых характеристик дизельного топлива на свойства моторного масла / Остриков В.В. и др. // Наука в центральной России. – 2022. – № 4 (58). С. 69–73.

92. Остриков В.В. Теоретический анализ процесса удаления загрязнений из системы смазки двигателей внутреннего сгорания / В.В. Остриков, М.В. Вигдорович, Д.Н. Жерновников, А.В. Кошелев // В сборнике: Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и

животноводства. Сборник научных докладов XXI Международной научно-практической конференции. Тамбов, 2021. – С. 132–135.

93. Остриков В.В. О расчете работоспособности смазочного материала / М.В. Вигдорович, В.В. Остриков, А.В. Кошелев, В.К. Нагдаев // В сборнике: Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции - новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства. Сборник научных докладов XXI Международной научно-практической конференции. Тамбов, 2021. – С. 130–132.

94. Остриков В.В. Определение параметров процесса удаления примесей из моторных масел для их использования в качестве основы рабочие - консервационных жидкостей / В.В. Остриков, Д.Н. Жерновников, А.В. Кошелев, Д.А.Ю. Аль-Саади // В сборнике: Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства. Сборник научных докладов XXII Международной научно–практической конференции. Тамбов, 2023. – С. 162–166.

95. Остриков В.В. Изменение характеристик моторных масел в двигателях зерноуборочных комбайнов в период эксплуатации и межсезонного хранения / В.В. Остриков, А.В. Кошелев, В.С. Вязинкин // Наука в центральной России. 2023. № 2 (62). – С. 106–114.

96. Остриков В.В. Метод очистки промывочных масел с целью повторного использования в двигателях сельскохозяйственной техники / В.В. Остриков, А.В. Кошелев, А.В. Забродская // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2023. – Т.16. №4 (79). С. 102 – 109.

97. Остриков В.В. Современные проблемы использования нефтепродуктов в АПК / В.В. Остриков, А.Ю. Корнев, А.В. Кошелев // Наука в центральной России. 2024. №3 (69). С. 118 – 130.

98. Паренаго О.П. Проблемы ингибирования высокотемпературного окисления углеводородов / О.П. Паренаго, Г.Н. Кузьмина, В.Н. Бакунин, Р.Г. Шелкова, Т.А. Займовская // Нефтехимия. – Т. 35. – № 3.1995 – С. 219–227.

99. Пасечников Н. Эффективность периодического добавления присадок в дизельное масло / Н.П. Пасечников, Н.И. Итинская, Н.Г. Хмелевой // Техника в сельском хозяйстве. – 1970. – №1. – С. 47 – 50

100. Патент на изобретение RU 2818564 С1. МПК С10М 175/02 (2006.01), Способ очистки отработанных моторных минеральных масел: №2023122544 заявлено 29.08.2023: опубликовано 02.05.2024 / В.В. Остриков, А.В. Кошелев, [и др.] – 5 с.

101. Патент на изобретение RU 2805073 С1. МПК С10М 169/04 (2006.01) С10М 141/08 (2006.01), Промывочное масло: №2023104336 заявлено 22.02.2023: опубликовано 11.10.2023 / В.В. Остриков, А.В. Кошелев, [и др.] – 7 с.

102. Афанасьев Д.И. Послеремонтная обкатка двигателей тракторов с использованием отработанных масел, модифицированных добавками: дисс. канд. Наук: / Д.И. Афанасьев – Мичуринск- Наукоград, 2018. – 265с.

103. Повышение эффективности использования смазочных материалов в узлах и агрегатах сельскохозяйственной техники (анализ, теория, исследования и практика): Научное издание / В.В. Остриков [и др.] – Воронеж: «Истоки», 2008. – 160с.

104. Полуниин В.Н. Исследование эксплуатационных свойств автомобильных масел и присадок к ним / В.Н. Полуниин, С.Е. Павлихин, В.П. Дорфман // Использование смазочных материалов и присадок. Испытание. Применение. Перспективы. (Спец. Выпуск журнала «Трение. Износ. Смазка»). – 2003. – 144 с.

105. Промывка системы смазки двигателей тракторов и ее влияние на техническое состояние машины и срок службы свежезаправленного моторного масла / А.В. Кошелев, А.В. Забродская, В.С. Вязинкин, Раззак Р.М.М.А. Наука в центральной России. 2024. №3 (69). С. 131 – 140.

106. Промывочные масла [Электронный ресурс]. – URL: <https://autotopik.ru/masla/top-12-luchshih-promyvochnyh-masel-kotorye-obespechat-kachestvennyu-ochistku-dvigatelya.html/>

107. Разработать технологии, новые материалы, приборы и оборудование для хранения и эффективного использования моторного топлива и смазочных материалов Отчет о НИР.: Тамбов ВНИИТиН. – 2011– 172 с.

108. Резников В.Д. Классификация и взаимозаменяемость отечественных и зарубежных моторных масел / В.Д. Резников, А.И. Григорьев // Тем. обзор. Сер «Переработка нефти». – М.: УНИИ ТЭНефтехим, 1976. – 64 с.

109. Резников В.Д. Моторные масла правильный выбор для спецтехники / В.Д. Резников // Спецтехника. – 2001. – С. 8–9.

110. Рейтинг лучших промывочных масел [Электронный ресурс]. – URL: <https://vibormasla.ru/engine/rejting-luchshih-promyvochnyh-masel-dlja-avtomobilja/>

111. Результаты исследований по определению рационального состава масла для консервации ДВС / Д.Н. Жерновников, А.В. Кошелев, А.В. Забродская, В.К. Нагдаев, В.С. Вязинкин // в сборнике: «Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства. Сборник научных докладов XXII Международной научно-практической конференции. Тамбов, 2023. С. 162 – 166.

112. Результаты исследований по оценке изменения свойств моторного масла без и с использованием операции промывки системы смазки двигателя трактора / А.В. Кошелев, В.В. Остриков, А.В. Забродская, В.С. Вязинкин // Наука в центральной России. 2023. №5 (65). С. 96 – 103.

113. Результаты исследований по определению рационального способа удаления загрязнений из моторного масла без его слива из системы смазки / А.В. Кошелев, Аль Д.А.Ю., А.В. Забродская, В.С. Вязинкин // Наука в центральной России. 2023. №6 (66). С. 27 – 33.

114. Розбах О. В. Экспресс-диагностика качества высокощелочных моторных масел способом «капельной пробы»: дисс. канд. техн. наук: / О.В. Розбах. – Омск 2006.

115. Розенберг Ю.А. Эксплуатационные свойства смазочных материалов и их оценка / Ю.А. Розенберг // Вестн. Машиностроения. – 1975, № 8 – С. 42 – 49.

116. Рыбаков К.В. Регенерация отработанных масел и их повторное использование / К.В. Рыбаков, В.П. Коваленко – М.: – Агро ЦНИИ – ТЭИИТО, 1988. – 30 с.

117. Саламин В.В. Способ определения ресурса работы моторных масел в автотракторных ДВС / В.В. Саламин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2003. – №5. – С. 43 – 44

118. Салмин В.В. Оценка эксплуатационных свойств моторных масел / В. В. Салмин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2003. – № 7. – С. 18 – 20.

119. Соколов А.И. Изменения качества масел и долговечность автомобильных двигателей / А.И. Соколов. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 1976. – 120 с.

120. Соколов В. И. Центрифугирование / В.И. Соколов, – М.: Химия, 1976. –408 с.

121. Соколовская И.Ю. Полный факторный эксперимент / И.Ю. Соколовская // Методические указания для самостоятельной работы студентов. – Новосибирск: НГАВТ, 2010. – 36 с.

122. Состав и свойства маловязкого масла из западносибирских нефтей / Л.М. Бежакидзе. – М.: ВНИИП (ЦНИИТЭНЕФТЕХИМ), 1986. – 189 с.

123. Стребков С.В. Применение топлива, смазочных материалов и технических жидкостей в агропромышленном комплексе / С.В. Стребков, В.В. Стрельцов // учебное пособие. – Белгород: БГСХА, 1999. – 404 с.

124. Технологии использования отработанных масел в предприятиях АПК (исследования и практика) / В.В. Остриков, А.В. Кошелев, М.В. Вигдорович, В.К. Нагдаев, В.С. Вязинкин, А.В. Забродская // монография. Тамбов: Студия печати Галины Золотовой, 2024. – 328 с.

125. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение / И.Г. Анисимов [и др.] // Справочник – М.: «Техинформ», 1999. – 596 с.

126. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение / В.М. Школьников [и др.] // Справочник. – М.: Химия, 1989, 596 с.

127. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости: учебное пособие / В.В. Остриков [и др.] – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. унта, 2008. – 304 с.

128. Урзагалиев Т.К. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости / Урзагалиев Т.К., Остриков В.В., Коваленко В.П. Ширванов Р.Б. // учебное пособие. –Уральск: Зап. –Казахст. аграр. –техн. ун. – т им. Жангир хана, 2011. – 402 с.

129. Условия формирования и свойства мицеллярной структуры продуктов окисления гексадекана, изученные методом солюбилизации красителя / Э.Ю. Оганесова, В.Н. Бакулин, Е.Г. Бордубанова, Г.Н. Кузьмина, О.П. Паренаго // Нефтехимия. – 2005. – Т. 45. – № 4. – С. 294–300.

130. Физико-химические основы применения топлив и масел / Г.Ф. Большаков // Новосибирск: Наука, 1987. – 207 с.

131. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы / Ю.Г. Фролов. – М.: «ХИМИЯ», 1982. – 387 с.

132. Ховак М.М. Исследование процесса сажеобразования при сгорании дизельных топлив: дис... канд. техн. наук: М.М. Ховак – М., 1975, – 177 с.

133. Ховак М.С. Изнашивание поршневых колец дизельного двигателя в зависимости от концентрации присадки и содержания серы в топливе / М.С. Ховак, В.С. Архипов // Сбор. Науч. Труд.: ГОСНИТИ. – 1969. – 287 с.

134. Холин Н.И. Повышение эффективности использования моторных масел при эксплуатации тракторов: дис. канд. техн. наук: / Н.И. Холин – Рязань 1986. – 200 с.

135. Черножуков Н.И. Окисляемость минеральных масел / Н.И. Черножуков, С.Э. Крейн. – М. – Д.: Гостоптехиздат, 1995. – 372 с.

136. Черножуков Н.И. Химия минеральных масел / Н.И. Черножуков, С.Э. Крейн, Б.В. Лосиков и др. – М.: Гостоптехиздат, 1959. – 417 с.

137. Чуршуков, Е.С. Современные способы и средства регенерации отработанных масел / Е.С. Чуршуков, В.П. Коваленко, В.С. Турганов – М.: ЦНИИТЭ. – 76 с.
138. Шашкин, П.И. Регенерация отработанных нефтяных масел / П.И. Шашкин, И.В. Брай. – М.: «Химия» 1970. – 489 с.
139. Brinkman D.W. Proc. Jnt. Conf. Waste oil recovery and reuse / D.W. Brinkman, M. Whisman – Washington D. S., 1978. – 230 p.
140. Derjaguin B.V., Churaev N.V., Muller V.M. The Derjaguin-Landau-Verwey-Overbeek (DLVO) Theory of Stability of Lyophobic Colloids. In: Surface Forces. Boston, MA: Springer; 1987.
141. Derjaguin B.V. Surface Forces / B.V. Derjaguin, N.V. Churaev, V.M. Muller // Springer US, 1987. S. 293-300.
142. Firas, Awaja, Design Aspects of Used Lubricating Oil Re-Refining. Elsevier [Текст] / Firas Awaja, Dumitru Pavel. - 2006. - 122 p.
143. François, Audibert. Waste Engine Oils: Rerefining and Energy Recovery [Текст] / François Audibert. - Elsevier, 2011, - 340 p.
144. J. H. de Boer. The influence of van der Waals' forces and primary bonds on binding energy, strength and orientation, with special reference to some artificial resins. Trans. Faraday Soc., 1936, V.32, P. 10-37.
145. Leslie R. Rudnick. Lubricant additives: chemistry and app. -2nd. ed. 2008. - 778 p.
146. Leslie R. Rudnick. Synthetics, Mineral Oils, and Bio-Based Lubricants: Chemistry and Technology Second Edition. 2013. - 445 p.
147. Stanley G. Hazardous Waste Chemistry, Toxicology, and Treatment / E. Manahan. - Michigan 1990. - 265 p.
148. Stewart R. M., Theodore W. Selby. The Relationship Between Engine Oil Viscosity and Engine Performance / Stewart R. M., Theodore W. Selby A.S. – M: International. 1977, 108 p.
149. Theretical evaluation of the performance of greases with additives / Ostrikov V.V. and others // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.

Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia, 2020. C. 22037.

150. To the development of the flushing oil composition for diesel engines of tractors/ Ostrikov V.V. and others// The World of Science without Borders. proceedings of the 10th all-Russian scientific and practical conference (with international participation) for young researchers. Tambov, 2023. c. 66-69.

Приложение А

Рассмотрение процесса растворения загрязнений под действием товарного промывочного масла

В результате экспериментальных исследований (раздел 4.2) получены условия и реализован процесс образования отложений, загрязнений для их последующего удаления промывочным маслом. В качестве промывочных масел использовались товарные промывочные масла «Лукойл» и «Роснефть».

В соответствии с методикой 3.3 готовились стаканы с отложениями на днище. В них заправлялось промывочное масло и производился нагрев до 80⁰С с последующим встряхиванием образцов в течение 15-30 минут на лабораторном встряхивателе. По завершении проводилось высушивание и взвешивание стаканов, анализ на загрязненность использованного промывочного масла, оценка первоначальной и окончательной площади загрязнения в %.

Таблица 1 - Результаты взвешивания стаканов в период проведения операции удаления из них загрязнений промывочным маслом.

Промывочное масло	Масса стакана с загрязнениями, г	Время процесса встряхивания, мин			
		15	20	25	30
		Масса после встряхивания, г			
«Лукойл»	85-86 (без загр. 80±0,5)	82	81,4	81,2	81,2
«Роснефть»	85-86 (без загр. 80±0,5)	83	83	82,6	82,5

Масса «нанесенных» (см. раздел 4.2) загрязнений составила 80±0,5г. После промывки в течение 15 минут масса снизилась на 3г на масле «Лукойл» и на 2г на масле «Роснефть». Далее процесс повторялся, каждый раз меняя загрязнения и проводя промывки с увеличением времени встряхивания.

Продолжение приложения А

Установлено, что оба масла обладают удовлетворительными моющими свойствами. Несколько более высокие характеристики показало масло компании «Лукойл».

На рисунке 1 показаны фотографии днищ стаканов до загрязнения, и с загрязненной поверхностью, фото стаканов после промывки.



а)



б)



в)



г)

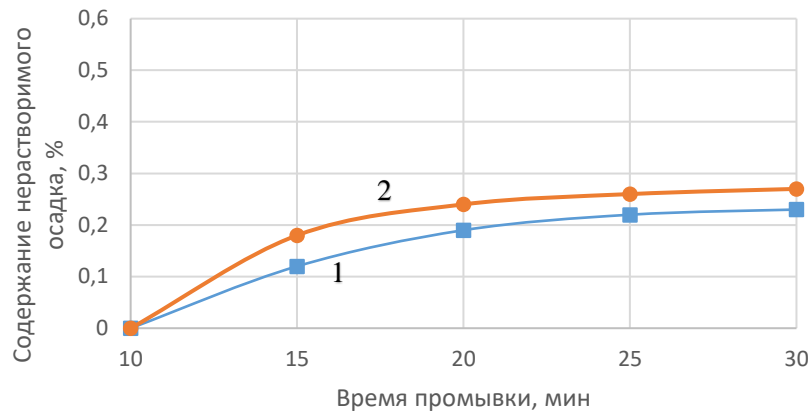
а – исходное состояние днища стакана; б – состояние днища стакана после нанесения загрязнения; в – состояние загрязненности днища стакана после промывки маслом «Лукойл»; г - состояние загрязненности днища стакана после промывки маслом «Роснефть»

Рисунок 1 – Состояние днищ стаканов после промывки товарным маслом

Не прибегая к глубоким методам анализа, по результатам фотосъемки можно в первом приближении утверждать, что использование промывочного масла позволяет удалять значительную часть загрязнений с поверхности металла даже с учетом высокой отдаленности «движения» жидкости (масла) по поверхности металла, отсутствия давления в системе смазки и т.д. Масло, слитое из стаканов,

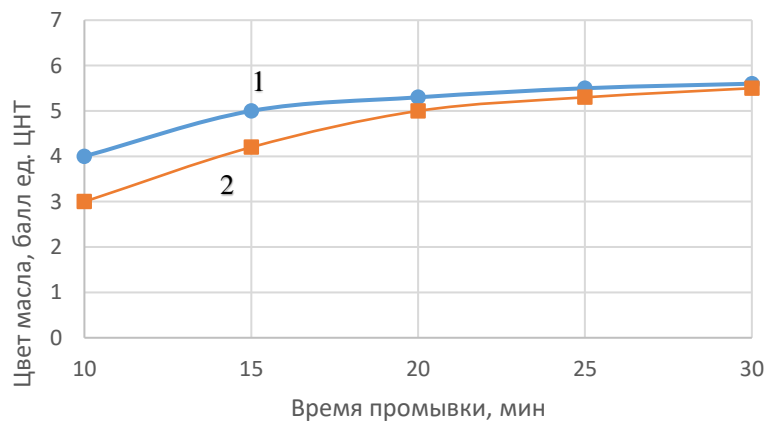
Окончание приложения А

подвергалось анализу на содержание в нем нерастворимого осадка и изменения цвета. На рисунках 2, 3 показаны зависимости изменения содержания нерастворимого осадка и цвета масла от времени промывки (встряхивания) (балл ед. ЦНТ).



1 – «Роснефть»; 2 – «Лукойл»

Рисунок 2 – Зависимость изменения содержания нерастворимого осадка в масле от времени промывки



1 – «Роснефть»; 2 – «Лукойл»

Рисунок 3 – Зависимость изменения цвета промывочного масла от времени промывки

Обобщая полученные результаты исследований, в первом приближении можно утверждать, что операция промывки системы смазки позволяет удалить большую часть смолистых отложений.

Приложение Б

Численный расчет гидродинамических параметров системы с турбулентной струей в разделе 2.2

		<i>Число Рейнольдса</i>	
Входящий поток $Q_0 =$	1,92	куб.м./ч	
Диаметр вход. отв. $D =$	0,98425197	дюйма	
Диаметр вход. отв. $D \approx$	2,5	см	
Скорость вх. потока $v \approx$	1,1	м/с	
Кинемат. вязкость $\nu =$	1,00E-05	кв.м/с	
	$Re \approx$	2,75E+03	

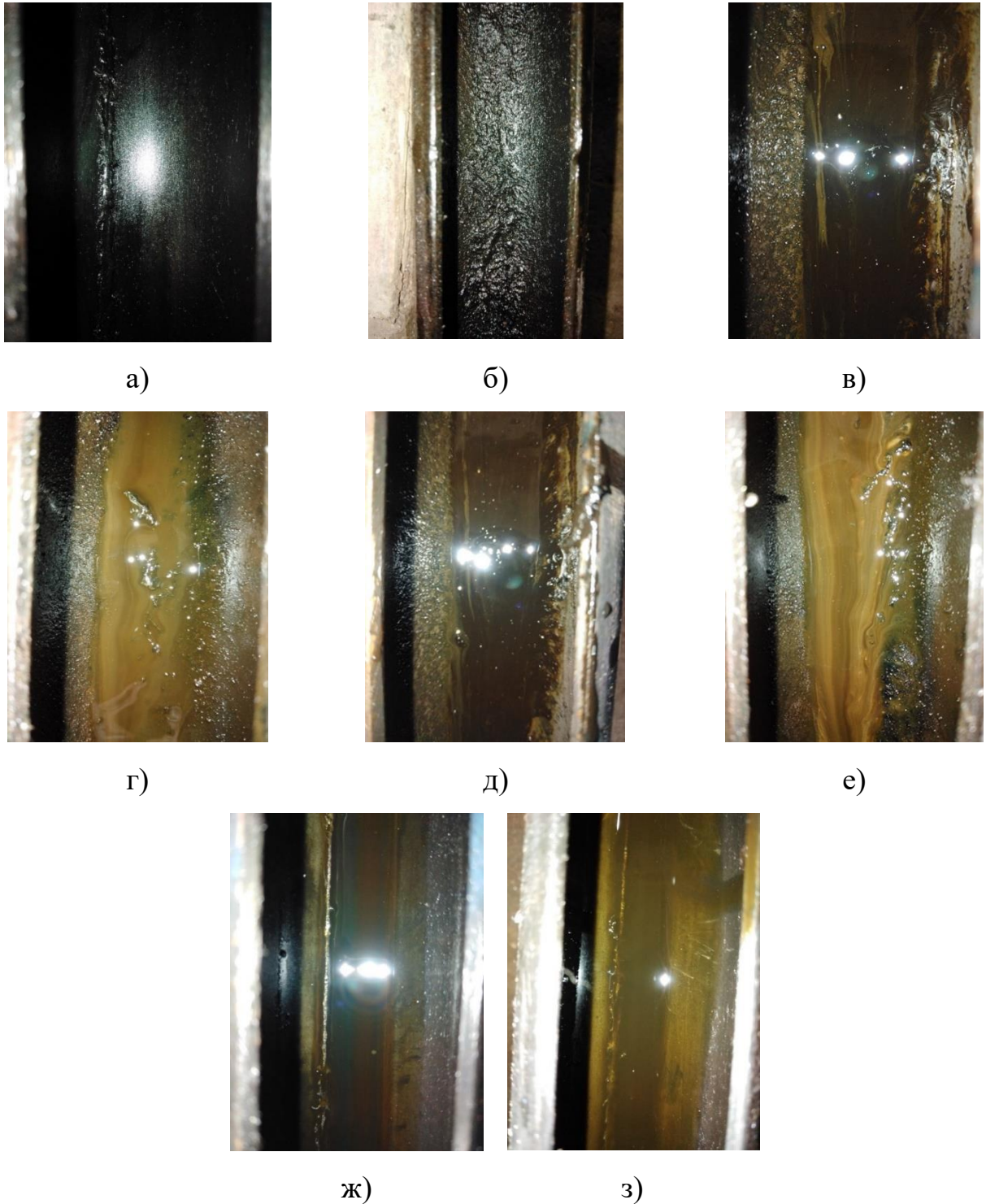
		<i>Скорость течения вдоль оси трубы</i>	
Ширина бака $D_b =$	0,5	м	
Скорость у дальней стенки $v_m \approx$	24	см/с	

		<i>Размер конуса турбулентности</i>	
Диаметр конуса у дальней стенки, $D_k \approx$	0,1	м	
x-комп. скорости на границе конуса $v_x =$	2	мм/с	

		<i>Движение жидкости за пределами конуса турбулентности</i>	
Ср. скорость на границе конуса $v_a \approx$	-0,00255	м/с	

		<i>Замена жидкости вне конуса турбулентности</i>	
Полярная компонента скорости $v_\theta \approx$	1,80E+01	м/ч	

Приложение В



а – исходное состояние; б – с нанесенным загрязнением; в – после 5 минут промывки; г - после 10 минут промывки; д – после 15 минут промывки; е – после 20 минут промывки; ж – после 25 минут промывки; з – после 30 минут промывки

Рисунок 1 – Изменение загрязненности поверхности в зависимости от времени промывки при давлении 2 кгс/см²

Продолжение приложения В



а)



б)



в)



г)



д)



е)



ж)



з)

а – исходное состояние; б – с нанесенным загрязнением; в – после 5 минут промывки; г - после 10 минут промывки; д – после 15 минут промывки; е – после 20 минут промывки; ж – после 25 минут промывки; з – после 30 минут промывки

Рисунок 2 – Изменение загрязненности поверхности в зависимости от времени промывки при давлении 3 кгс/см²

Продолжение приложения В



а)



б)



в)



г)



д)



е)



ж)



з)

а – исходное состояние; б – с нанесенным загрязнением; в – после 5 минут промывки; г - после 10 минут промывки; д – после 15 минут промывки; е – после 20 минут промывки; ж – после 25 минут промывки; з – после 30 минут промывки

Рисунок 3 – Изменение загрязненности поверхности в зависимости от времени промывки при давлении 4 кгс/см^2

Окончание приложения В



а)



б)



в)



г)



д)



е)



ж)



з)

а – исходное состояние; б – с нанесенным загрязнением; в – после 5 минут промывки; г - после 10 минут промывки; д – после 15 минут промывки; е – после 20 минут промывки; ж – после 25 минут промывки; з – после 30 минут промывки

Рисунок 4 – Изменение загрязненности поверхности в зависимости от времени промывки при давлении 1 кгс/см² на промывочном масле «Лукойл»

Приложение Г

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2818564**Способ очистки отработанных моторных минеральных масел**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве" (ФГБНУ ВНИИТнН) (RU)*

Авторы: *Остриков Валерий Васильевич (RU), Кошелев Александр Викторович (RU), Вязинкин Виктор Сергеевич (RU), Нагдаев Владимир Константинович (RU), Забродская Алла Владимировна (RU), Жерновников Дмитрий Николаевич (RU), Вигдорович Михаил Владимирович (RU)*

Заявка № 2023122544

Приоритет изобретения **29 августа 2023 г.**Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации **02 мая 2024 г.**Срок действия исключительного права
на изобретение истекает **29 августа 2043 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

Приложение Д

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2805073**Промывочное масло**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве" (ФГБНУ ВНИИТнН) (RU)*

Авторы: *Остриков Валерий Васильевич (RU), Кошелев Александр Викторович (RU), Вязинкин Виктор Сергеевич (RU), Забродская Алла Владимировна (RU), Нагдаев Владимир Константинович (RU), Жерновиков Дмитрий Николаевич (RU), Вигдорович Михаил (RU)*

Заявка № 2023104336

Приоритет изобретения **22 февраля 2023 г.**Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретенийРоссийской Федерации **11 октября 2023 г.**Срок действия исключительного права
на изобретение истекает **22 февраля 2043 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов



Приложение Е


 Утверждаю
 АО племенной завод «Пригородный»
 Тамбовского округа
 Тамбовской области
 Квасов А.П.
 « 15 » апреля 2024 г.

Акт производственных испытаний и внедрения состава и технологии промывки системы смазки двигателей тракторов


Комиссия в составе: председатель комиссии – механик АО племенной завод «Пригородный» Тамбовского округа Тамбовской области Квасов А.П. и члены комиссии: специалисты АО племенной завод «Пригородный» Боровлев В.С., Сапожников А.В., гл. науч. сотрудник лаборатории использования смазочных материалов и отработанных нефтепродуктов (лаб. № 8) ФГБНУ ВНИИТиН д.ф.-м.н., Вигдорович М.В., ст. науч. сотрудник лаб. №8 Нагдаев В.К., науч. сотрудник лаб. №8 Вязинкин В.С., мл. науч. сотрудник лаб. №8 Кошелев А.В. рассмотрела результаты работы по проверке технологического процесса промывки системы смазки тракторов составом на основе очищенного отработанного моторного масла с моющими добавками разработанного мл. науч. сотрудником Кошелевым А.В.

Исследования проводились в 2022 - 2024 г. На основании полученных результатов комиссия считает, что состав масла и технологические параметры процесса промывки системы смазки позволяют снизить затраты на ремонт и эксплуатацию сложной сельскохозяйственной техники в АПК и рекомендуются к широкому внедрению.

От АО племенной завод «Пригородный»

 А.П. Квасов

 В.С. Боровлев

 А.В. Сапожников

От ФГБНУ ВНИИТиН

 М.В. Вигдорович

 В.К. Нагдаев

 В.С. Вязинкин

 А.В. Кошелев

Продолжение приложения Е

Протокол производственных испытаний

На первом этапе испытания по согласованию с инженерными службами хозяйства рассматривалась актуальность операции промывки системы смазки. В соответствии с поставленной задачей ФГБНУ ВНИИТиН проведены исследования и сравнительный анализ изменения характеристик моторного масла М-10Г₂, в двигателях тракторов МТЗ-82.1 с промывкой и без промывки системы смазки.

В таблице 1 представлены показатели товарного моторного масла М-10Г₂ и масла после 8 часов работы в двигателе трактора.

Таблица 1 - Основные физико – химические характеристики моторного масла М-10Г₂ без промывки системы смазки и с ее промывкой

Показатели	Товарное масло М-10 Г ₂	Масло М-10Г ₂ (8 часов наработки)	
		без предварительной промывки (1) системы смазки	с промывкой системы смазки перед заменой (2)
Содержание мех. примесей, %	отс	0,11	0,03
Содержание нерастворимого осадка, %	не установлено	0,18	0,05
Кислотное число, мг КОН/г	2,5	2,7	2,5
Щелочное число, мг КОН/г	9,0	8,6	8,8
Цвет, балл, ед. ЦНТ	5,0	7,0	5,5

Анализируя результаты, представленные в таблице 1, следует отметить, что масло М-10Г₂ после 8 часов работы в двигателе без предварительной промывки изменило цвет с 4 баллов в единицах ЦНТ до 7. Масло изменило цвет с желтого до темного (практически черного). Данный факт, как известно из практики интенсифицирует окислительные процессы и в целом снижает срок службы товарного масла.

Значительное увеличение механических примесей в масле М-10Г₂ после его заправки в картер двигателя и 8 часов работы объясняется первоначальным накоплением продуктов износа в масле, «скрытых» в слое смолистых

Продолжение приложения Е

отложений, присутствующих в картере двигателя и не удаленных в процессе слива отработанного моторного масла.

Отмечен рост кислотного числа моторного масла, что в первые часы работы двигателя свидетельствует о накоплении продуктов окисления в масле (перешедших в масло из остаточных отложений из масляных каналов и картера двигателя).

Сравнивая показатели моторного масла М-10Г₂ без предварительной промывки системы смазки и с промывкой специальным промывочным маслом компании «Лукойл» установлено, что содержание загрязнений: механических примесей, смол – во втором случае выявлено в 2 раза меньше. Кислотное число по результатам анализа осталось на прежнем уровне, как у товарного масла перед его заправкой в двигатель. Цвет масла изменился незначительно. По результатам анализа изменения физико - химических показателей моторного масла можно утверждать, что промывка системы смазки оказывает влияние на качество моторного масла, а следовательно, и на эффективность дальнейшей работы систем двигателя. Далее испытания проводятся на тракторах марки МТЗ.

Для проведения производственных испытаний с двигателями тракторов сливалось отработанное моторное масло М-10ДМ. Объем отбора составлял 100 литров. Масло доставлялось на участок очистки отработанных моторных масел ФГБНУ ВНИИТиН где проводилась его очистка с осветлением в соответствии с разработанной технологией очистки. Масло нагревалось в ёмкости до 80°С, далее в него вносилась смесь карбамида в гидроксиде аммония. Масло с реагентами перемешивалось и нагревалось до температуры 110°С. Далее масло отстаивалось в течение времени, когда отмечалась граница раздела фаз – светлой и темной на контрольном щупе. Верхняя отстоявшаяся часть масла – 95% от объёма сливалось в другую ёмкость. После чего масло вновь нагревалось до температуры 80°С и в него при перемешивании вносилось 10% к объёму добавка N-метилперролидона. Масло с добавкой реагента отстаивалось в течение 24 часов. Отстоявшееся масло 85% от объёма

Продолжение приложения Е

сливалось в третью ёмкость, где производился процесс его нагрева до температуры 80°C и внесение элементов моющих добавок (изопропилат калия, демитилсульфоксид) и дизельное топливо.

Для проведения производственных испытаний полученный состав промывочного масла доставлялся в СХПК ПЗ «Пригородный» Тамбовского округа.

В соответствии с информацией инженерных службы хозяйства определялись трактора максимально приближенные по срокам замены моторного масла. Важным критерием выбора являлись двигатели тракторов со значительным сроком службы (8-10 лет), отмечающаяся потеря мощностных характеристик при высоких нагрузках, увеличенный расход топлива. На основании данных предварительного анализа выбраны три трактора МТЗ. С помощью эндоскопа оценивалась загрязненность внутренних поверхностей.

Проводилось определение компрессии в цилиндрах с помощью компрессометра КИ-28125. Замер проводился с трехкратной повторностью, а полученные данные сравнивались с нормативными значениями. Значение компрессии оценивалось как до промывки системы смазки, так и после.

Для оценки данного эффекта перед началом промывки системы смазки и после ее завершения проводился замер расхода топлива с помощью расходомера «БелАК».

Также проводилась разборка и промывка центрифуги очистки масла системы смазки ДВС.

Оценка загрязненности и эффективности промывки системы смазки проводилась в лабораторных условиях и экспресс методами.

После проведения подготовительных и оценочных работ в двигатели тракторов заправлялось экспериментальное промывочное масло. Двигатель запускался и работал попеременно по 2-3 минуты на холостых оборотах и 1500-1600 об/мин. Через каждые 10 минут из картеров посредством специально установленных кранов (на место сливной пробки) отбиралась

Продолжение приложения Е

проба масла (100 мл) и на фильтровальную бумагу наносилась капельная проба. Полученные данные заносились в журнал наблюдений.

На протяжении всего времени промывки фиксировалось изменение давления в системе смазки и температура масла по датчикам в кабине трактора.

После завершения промывки системы смазки двигатель останавливался, снималась и очищалась центрифуга очистки масла с анализом и замером толщины отложений на стенках ротора. Выворачивались форсунки и посредством эндоскопа с фотофиксацией определялась чистота поверхностей деталей.

В двигатель заправлялось свежее масло, измерялась компрессия в цилиндрах, расход топлива. Тракторы направлялись для выполнения с/х работ.

Перед запуском наблюдаемых и подвергаемых испытаниям тракторов в условия повседневной эксплуатации принималось решение о необходимости сравнительного анализа, заключающегося в сравнении изменения свойств моторного масла в двигателях, где перед заменой масла была проведена промывка и в двигателе трактора МТЗ, где замена масла проводилась без промывки системы смазки с контролем изменения физико-химических характеристик наработки, также в течение 50 часов наработки.

На основании всего комплекса исследований и испытаний составлялся акт и протокол производственных испытаний.

Окончание приложения Е

Заключение.

В результате проведенных исследований и испытаний были подтверждены технологические параметры и характеристики процесса промывки системы смазки и эффективности разработанного состава промывочного масла. В целом по результатам проведенной работы следует сделать вывод, что применение данной разработки в АПК позволит снизить затраты на эксплуатацию и ремонт техники.

В качестве замечания следует отметить:

1. Следует расширить диапазон технических средств, где может использоваться промывочное масло.
2. В процессе испытаний не рассматривалась возможность повторного использования промывочного масла.
3. Оборудование для очистки масел и приготовления состава должно быть решено в типоразмерном диапазоне.

Председатель комиссии:

Механик АО племенной завод «Пригородный»

Члены комиссии:

Специалист АО племенной завод «Пригородный»

Специалист АО племенной завод «Пригородный»

Гл. науч. сотр. лаб. №8 ФГБНУ ВНИИТиН

Ст. науч. сотр. лаб. №8 ФГБНУ ВНИИТиН

Науч. сотр. лаб. №8 ФГБНУ ВНИИТиН

Мл. науч. сотр. лаб. №8 ФГБНУ ВНИИТиН



А.П. Квасов

В.С. Боровлев

А.В. Сапожников

М.В. Вигдорович

В.К. Нагдаев

В.С. Вязинкин

А.В. Кошелев

Приложение Ж

Утверждаю
СХПК «Борец»
Сампурского района
Тамбовской области
главный инженер
«22» 05 2024 г.

Акт

испытаний состава промывочного масла в двигателе трактора МТЗ – 82.1 по удалению загрязнений из системы смазки

Комиссия в составе: председатель комиссии – главный инженер СХПК «Борец» Сампурского района Тамбовской области Шестаков В.А. и члены комиссии: механизатор Гусев Г.Н., механизатор Семичев О.А., ст. науч. сотрудник лаборатории использования смазочных материалов и отработанных нефтепродуктов ФГБНУ ВНИИТиН лаб. №8 к.х.н. Нагдаев В.К., мл. науч. сотрудник лаб. №8 Кошелев А.В., науч. сотрудник лаб. №8 Вязинкин В.С., Рассмотрели результаты испытаний состава промывочного масла на основе очищенного отработанного моторного масла с моющими добавками, разработанного в качестве ответственного исполнителя мл. науч. сотрудником Кошелевым А.В. аспирантом ФГБНУ ВНИИТиН. Испытания проводились после завершения полевых работ на двигателе трактора МТЗ – 82.1. На основании анализа полученных данных комиссия считает, что состав масла успешно прошел апробацию и может быть рекомендован к широкому внедрению при выполнении операции замены масла во всех видах тракторов, автомобилей и комбайнов. Внедрение состава позволяет снизить затраты на проведение операции технического обслуживания.

от СХПК «Борец»

от ФГБНУ ВНИИТиН



В.А. Шестаков

Г.Н. Гусев

О.А. Семичев

В.К. Нагдаев

В.С. Вязинкин

А.В. Кошелев

Продолжение приложения Ж

Протокол

Производственных испытаний состава промывочного масла на основе очищенного отработанного моторного масла

Испытания состава промывочного масла для удаления загрязнений из системы смазки проводились в условиях сельскохозяйственного предприятия СХПК «Борец» Сампурского района Тамбовской области.

Машина для проведения испытания определялась исходя из рекомендации инженерно-технической службы хозяйства.

Испытания проводились на территории ремонтной мастерской хозяйства непосредственно на участке технического обслуживания.

Трактор МТЗ – 82.1 выпуска 2009 года направлялся на место ТО, где проводился его осмотр и очистка. Анализировались параметры его технического состояния трактора – компрессия в цилиндрах, расход топлива, давление масла в системе смазки (при температуре масла $80 \pm 5^\circ \text{C}$).

Двигатель останавливался. Производился слив отработанного моторного масла. Согласно документации, наработка двигателя после предыдущей замены масла составляла 270 часов.

Из слитого отработанного масла отбиралась проба масла, объёмом 0,5 л. и отправлялась на анализ в лабораторию. Весь оставшийся объём масла собирался в отдельную тару и направлялся на инженерную базу института ФГБНУ ВНИИТиН.

Очистка масла проводилась по специально разработанному способу очистки.

Комиссия, рассмотрев результаты анализа масла до очистки и после установила, что содержание механических примесей изменилось с 0,85% до полного отсутствия, щелочное число масла снизилось с 2,8 мг КОН/г до 2 мг КОН/г, цвет масла изменился с 8 баллов в ед. ЦНТ до 4.

Далее комиссии были представлены результаты анализа проб очищенного масла после внесения добавок.

Продолжение приложения Ж

Установлено, что после внесения добавок изменились такие показатели, как вязкость с 11,5 до 9 мм²/с, щелочное число увеличилось с 2,0 мг КОН/г до 3,9 мг КОН/г. Температура вспышки состава снизилась с 195°С до 185°С.

На месте стоянки обслуживаемого трактора произведена разборка, очистка и сборка центрифуги.

Приготовленный состав промывочного масла заправлялся в картер двигателя. Температура окружающего воздуха составляла 18 °С.

Двигатель запускался и работал на холостом ходу в течении 5 минут. После чего обороты увеличивались до 1200 об/мин и двигатель продолжал работать в таком режиме в течении 30 минут.

При этом контролировалось давление масла в системе смазки, температура охлаждающей жидкости по показаниям штатных приборов.

После заправки состава промывочного масла в картер двигателя с помощью шупа капля масла наносилась на фильтровальную бумагу «Белая лента». Далее, по мере работы двигателя, через каждые 5 минут процесс контроля состояния моторного масла повторялся и масло наносилось на следующие фильтры.

Установлено, что если в исходном масле капля имела желто-коричневый цвет, то уже после 5 минут работы при увеличенных оборотах (1200 об/мин) очертания пятна и его цвет изменились до серого. После 20 минут работы двигателя, масло имело пятно черного цвета, и далее цвет практически не менялся.

После завершения операции промывки системы смазки и остановки двигателя масло из картера сливалось. Проводилась очистка центрифуги от накопившихся загрязнений.

До проведения операции промывки и после проводился анализ загрязнений деталей цилиндро-поршневой группы, состояние поршней (их загрязненность), загрязненность деталей под клапанной крышкой.

Контроль и фотофиксация проводились с помощью эндоскопа, соединенного со смартфоном.

Продолжение приложения Ж

Установлено, что наблюдалось значительное сокращение отложений.

Слитое из картера промывочное масло также направлялось для анализа в лабораторию.

Комиссия, рассмотрев результаты анализа состава промывочного масла констатировала факт увеличения загрязненности масла в 10 раз по сравнению с исходным состоянием состава. Зафиксировано изменение цвета масла с 4 баллов до 7,5 в единицах ЦНТ.

После слива промывочного состава, в картер двигателя заправлялось товарное масло М – 10Г₂.

Запуск двигателя и контроль его характеристик и параметров показал некоторое увеличение компрессии на 5 – 10 %, установлено снижение расхода топлива на 6 - 7%. Давление масла в системе смазки (на прогретом двигателе) увеличилось с 2,5 кг/см² до 3 кг/см².

Комиссия также рассмотрела изменение цвета свежезаправленного масла после 8 часов работы трактора (на транспортных работах) и установлено, что цвет масла изменился с 3 баллов до 3,5 ед. ЦНТ. Установленный факт свидетельствует о достаточно высоком качестве промывки системы смазки от загрязнений так как известно, что смена масла без промывки системы смазки приводит к резкому изменению его цвета в первые часы работы с 3 до 5-6 баллов в единицах ЦНТ, т.е. с желтого до черного.

Заключение

В результате проведенных испытаний установлено, что промывочное масло на основе очищенного отработанного моторного масла с моющими добавками может быть использовано для очистки системы смазки от загрязнений, что снижает не только затраты на эксплуатацию (приобретение товарных промывочных масел и уменьшение расхода топлива), но и продлить срок службы ДВС до капитального ремонта, практически исключить его выход из строя из-за «залегания» поршневых колец.

Окончание приложения Ж

Вместе с отмеченным положительным заключением комиссия считает необходимым отметить следующие замечания и пожелания:

1. Не совсем четко просматривается проблема удаления твердых, закоксованных отложений.
2. Рассматривая технические средства для очистки масел не совсем понятно, чем объясняются большие габариты ёмкостей для масла и можно ли ограничиться одной вместо трёх.

Председатель комиссии:
главный инженер СХПК «Борец»



В.А. Шестаков В.А. Шестаков

Члены комиссии:
механизатор

Г.Н. Гусев Г.Н. Гусев

механизатор

О.А. Семичев О.А. Семичев

ст. науч. сотрудник лаб. №8 ФГБНУ ВНИИТиН

В.К. Нагдаев В.К. Нагдаев

науч. сотрудник лаб. №8 ФГБНУ ВНИИТиН

В.С. Вязинкин В.С. Вязинкин

мл. науч. сотрудник лаб. №8 ФГБНУ ВНИИТиН

А.В. Кошелев А.В. Кошелев