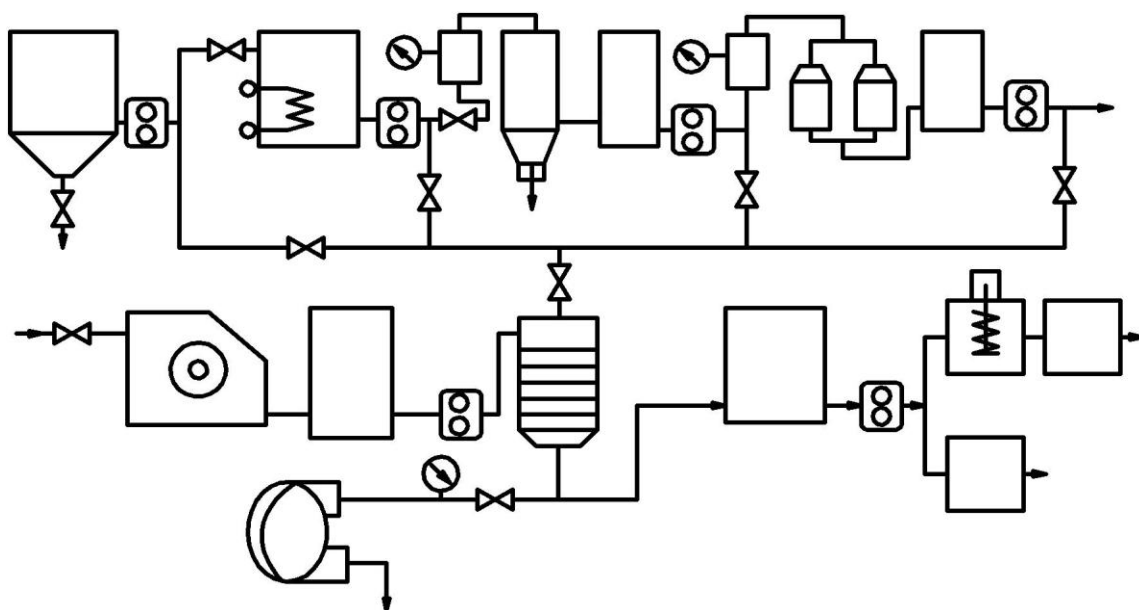


Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
ФГБОУ ВПО «Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия  
им. П.А. Столыпина»

ЗАМАЛЬДИНОВ М.М

**МНОГОСТУПЕНЧАТЫЙ СПОСОБ  
ОЧИСТКИ И ЧАСТИЧНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ  
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ОТРАБОТАННЫХ  
МОТОРНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ МАСЕЛ**



Ульяновск – 2012

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
ФГБОУ ВПО «Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия  
им. П.А. Столыпина»

ЗАМАЛЬДИНОВ М.М

**МНОГОСТУПЕНЧАТЫЙ СПОСОБ  
ОЧИСТКИ И ЧАСТИЧНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ  
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ОТРАБОТАННЫХ  
МОТОРНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ МАСЕЛ**

Ульяновск – 2012

УДК 631 - 6  
З - 26  
ББК 40.7

Замальдинов М.М. Многоступенчатый способ очистки и частичного восстановления эксплуатационных свойств отработанных моторных минеральных масел. Монография. - Ульяновск, УГСХА, 2012 г. – 207 с.

Под редакцией: к.т.н., профессора Сафарова К.У.

ISBN 978–5–902532–84–2

Рецензенты: д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Тракторы, автомобили и теплоэнергетика», ФГБОУ ВПО «Пензенская государственная сельскохозяйственная академия»  
**Уханов А.П.**  
к.т.н., профессор кафедры «Тракторы и автомобили», ФГБОУ ВПО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия» **Ленивцев Г. А.**  
к.т.н., профессор кафедры «Эксплуатация мобильных машин и технологического оборудования» ФГБОУ ВПО «Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия им. П.А. Столыпина» **Холманов В.М.**

В монографии рассмотрены методы очистки и частичного восстановления эксплуатационных свойств отработанных моторных минеральных масел

Предложена модульная установка для многоступенчатой очистки и частичного восстановления эксплуатационных свойств отработанных моторных минеральных масел.

Проведены исследования частичного восстановления эксплуатационных свойств отработанных моторных минеральных масел методом компаундирования с использованием новой конструкции фильтра с учетом его оптимальных конструктивных параметров и рациональных режимов работы.

Проведены производственные и эксплуатационные исследования использования восстановленных отработанных моторных минеральных масел в трансмиссиях автомобилей КамАЗ и конечных передачах тракторов Т-150К. Табл. 19. Ил. 100. Библиограф. 146.

Предназначена для инженерно-технических работников научных организаций, а также аспирантов и студентов инженерных специальностей.

Печатается по решению Научно-технического совета академии, протокол №3 от 5 июня 2012г.

© ФГБОУ ВПО «Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия им. П.А. Столыпина», 2012

© Замальдинов М.М., 2012

## ВВЕДЕНИЕ

Потребление АПК минеральных смазочных материалов различного назначения достигает 30 % от их общего производства в стране, а их стоимость составляет значительную долю в себестоимости сельскохозяйственной продукции. Поэтому технически грамотное и экономное использование минеральных масел обеспечит значительный экономический эффект и повысит рентабельность отраслей АПК. Одним из направлений экономии нефтепродуктов является вторичное использование отработанных моторных минеральных масел после очистки и восстановления их эксплуатационных свойств [20].

В настоящее время существующие способы и технические средства не отвечают в полной мере требованиям, предъявляемым к качеству очистки и восстановления свойств отработанных моторных минеральных масел. Как правило, установки для очистки отработанных моторных минеральных масел имеют периодический режим работы, требуют больших трудовых, материальных и энергетических затрат. Кроме того, в своем большинстве, имея узконаправленное назначение, они позволяют производить очистку только определенных марок отработанных моторных минеральных масел. Это приводит к увеличению производственных площадей для размещения оборудования, времени очистки, а также к многократным воздействиям на отработанные моторные минеральные масла. Результатом этого является не только потеря ценного сырья в виде отходов и испарений, но и увеличение его себестоимости. Все это делает существующие установки экономически неэффективными для применения в условиях АПК, имеющего трудности со сбором и транспортировкой отработанных моторных минеральных масел. Поэтому возникает необходимость в простых, малозатратных, эффективных поточных установках для очистки и восстановления отработанных моторных минеральных масел, позволяющих устанавливать их непосредственно в условиях



потребителя, исключить организационно-транспортные неудобства и дать значительный экономический эффект [25, 93].

Вопросам очистки и восстановления нефтепродуктов в различных отраслях хозяйствования посвящены работы Большакова Г.Ф., Бутова Н.П., Венцеля С.В., Виппера А.Б., Гуськова Ю.В., Гуреева А.А., Коваленко В.П., Лашхи В.Л., Лышко Г.П., Ленивцева Г.А., Острикова В.В., Рыбакова К.В., Уханова А.П., Фукса И.Г., Цыпцына В.И., Шаронова Г.П. и др.

Работоспособность сельскохозяйственной техники, сохранение высокого уровня энергетических показателей в значительной степени зависят от качества и чистоты применяемых смазочных материалов. Низкие эксплуатационные свойства используемых масел, загрязняющие примеси приводят к преждевременным задирам и заклиниваниям в парах трения, снижают срок службы смазочных масел и узлов и агрегатов сельскохозяйственных машин.

Работы по продлению срока службы смазочных масел, применяемых в технике, ведутся в разных направлениях. Этой проблеме посвящены работы Бербера В.А., Барышева В.И., Гущина В.А., Глущенко А.А., Зазули А.Н., Картошкина А.П., Коваленко В.П., Никитина Г.А., Рыбакова Л.В., Сафарова К.У., Удлера Э.И., Холманова В.М. и др.

Отработанные масла не следует утилизировать, так как во время его использования практически не происходит ухудшения качества базового масла. Такие масла подлежат регенерации, в процессе которой восстанавливаются первоначальные свойства отработанных масел для повторного использования наряду со свежими маслами соответствующих марок [1, 18, 52, 145].

Экономическая эффективность отчистки отработанных моторных минеральных масел определяется тем, что:

- отчистка отработанных моторных масел даёт дополнительное их количество без расходования нефти;
- снижает негативное воздействие на окружающую среду;

– себестоимость очищенного отработанного моторного минерального масла значительно ниже, чем товарного.

Поэтому исследования, направленные на экономию нефтепродуктов и разработку модульных технических средств очистки и восстановления эксплуатационных свойств отработанных моторных минеральных масел, являются актуальными, практически значимыми и имеют важное хозяйственное значение.

Целью настоящей работы является экономия нефтепродуктов разработкой и применением модульной установки для очистки и частичного восстановления эксплуатационных свойств отработанных моторных минеральных масел.

# 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

## 1.1 Проблемы вторичного использования отработанных моторных минеральных масел на современном этапе

Несмотря на достаточное количество производимых моторных минеральных масел, потребители постоянно испытывают в них недостаток. Это является следствием высокой стоимости масел, направленного их эксплуатационного использования, отсутствием оборотной (повторной) системы использования отработанных масел после восстановления их свойств. Минеральные масла имеют огромную стабильность по основным физико-химическим показателям, а также неустойчивость по углеводородному составу, что отрицательно сказывается на их качестве и сроке службы [20, 90].

Известно, что все жидкости нефтяного происхождения являются химически устойчивыми компонентами. Смазочные масла – производный продукт процесса переработки нефти, которая содержит углерода С (84...87 %); водорода Н (12...14 %); то есть в общей массе – это 96...98 % углеводородных компонентов и плюс 2...4 % сернистых, кислородных и азотистых соединений [79, 105, 132].

В процессе использования в двигателях масла подвергаются глубоким физико-химическим изменениям. При этом происходит их загрязнение: внешними инородными (механическими) примесями и водой; продуктами износа деталей машин и сгорания топлива; продуктами термического разложения, окисления и полимеризации углеводородной основы масла и т.д. Несмотря на глубокие изменения, происходящие в масле в процессе эксплуатации, его основной углеводородный состав меняется незначительно. Если из масла удалить все инородные примеси и продукты окисления, общее количество которых не превышает 4...6 %, дополнить его недостающими компонентами, в частности, присадками и компаундированием минеральными добавками в виде товарных масел, то можно получить продукт, близкий или равный по составу товарному маслу надлежащего качества [99, 120].

В настоящее время вопросам квалифицированной утилизации отработанных минеральных моторных масел не уделяется должного внимания. Это привело к тому, что крупные потребители утилизируют масла, в лучшем случае, сжиганием. Мелкие потребители ограничиваются захоронением отработанных масел на свалках, сливом в канализацию, или, в нарушение природоохранных норм, сливом в землю. Только 3...5 % отработанных моторных масел, поступающих на переработку, утилизируется в виде добавок к печному топливу, наполнителей к пластичным смазкам, битуму и асфальтовым покрытиям и т.д., но основная часть отработанных масел либо сливается, либо утилизируется с другими маслами (рис. 1.1) [27].

Такое обращение с образующимися отработанными маслами приводит не только к загрязнению окружающей среды, но и потере ценного углеводородного сырья. Восстановление эксплуатационных свойств отработанных моторных минеральных масел является наилучшим способом их утилизации позволяющим получить экономическую выгоду за счет рационального их использования. Исходя из вышесказанного, проблема восстановления отработанных масел, с целью их повторного использования в механизмах и системах различных машин, остается актуальной.

Для решения данной задачи нужен надёжный и простой способ очистки отработанных моторных минеральных масел от инородных примесей с соответствующими технологическими операциями по доведению этих масел до уровня товарных. Именно на этом принципе базируется предлагаемый в работе многоступенчатый способ очистки и частичного восстановления эксплуатационных свойств отработанных моторных минеральных масел.

Для успешного и эффективного использования предлагаемого способа в сферах производства необходимо организовать сбор отработанных масел строго по сортам и маркам; централизованно доставлять их на пункты переработки; создать и оснастить их специальным маслоперерабатывающим оборудованием и средствами контроля физико-химических и эксплуатационных показателей восстановленных масел.

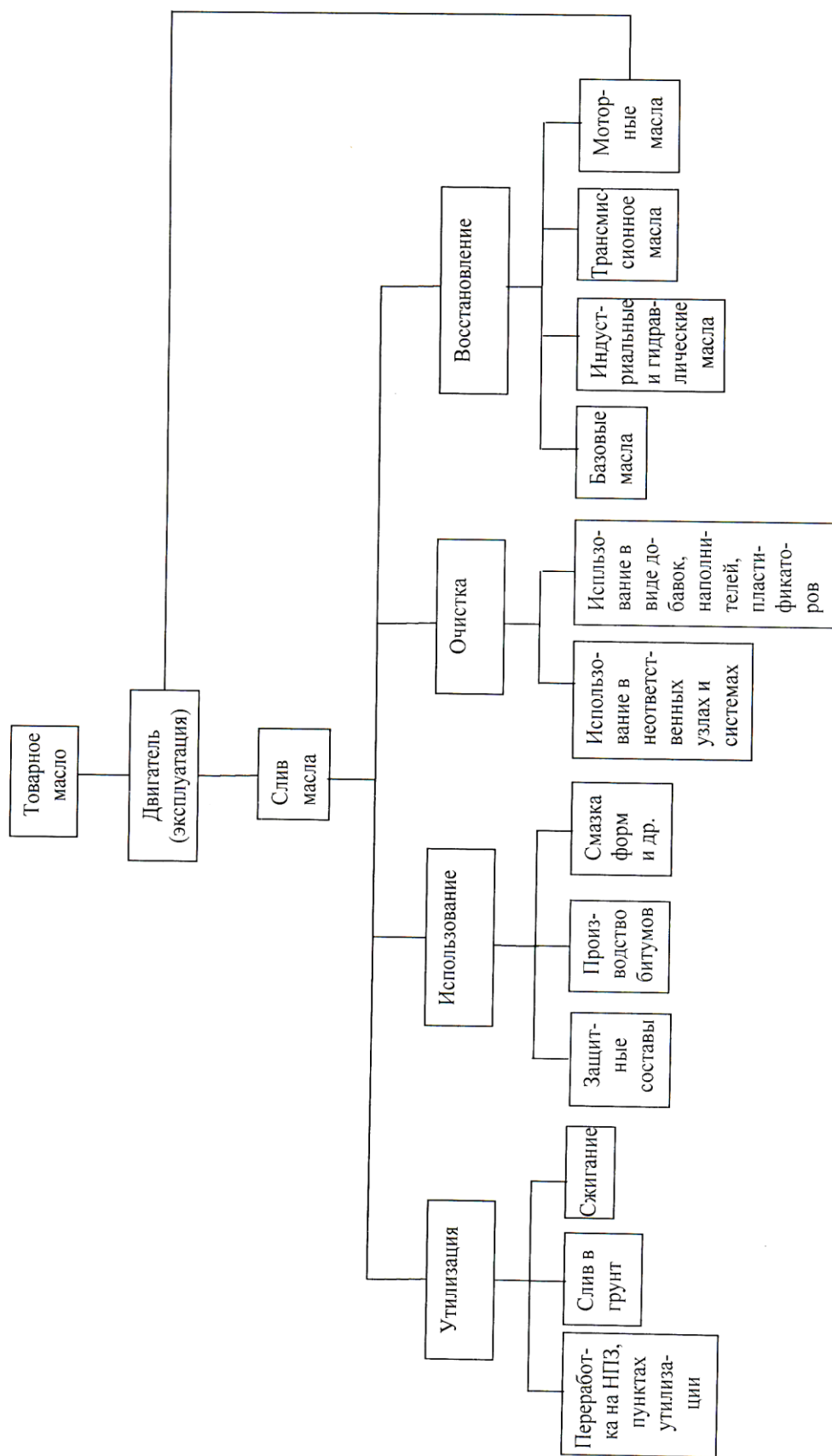


Рисунок 1.1 – Использование и утилизация отработанных моторных минеральных масел

Практическая реализация предлагаемого способа позволит повторно использовать на первом этапе до 50 % отработанных масел; снизить общую потребность в свежих товарных маслах до 40 %, увеличить работоспособность и надёжность используемых технических средств в различных отраслях производства.

После реализации простого и доступного для любого вида структурного подразделения способа очистки и частичного восстановления эксплуатационных свойств отработанного масла его показатели могут быть восстановлены на 80...90 % от уровня товарных масел, что позволит вторично использовать эти масла в малоответственных узлах и системах сельскохозяйственных машин.

## **1.2 Организация сбора отработанных моторных минеральных масел в условиях сельскохозяйственного производства**

Сбор, хранение, транспортировка, учёт и рациональное использование отработанных масел, собранных из узлов и агрегатов машин, осуществляется в соответствии с правами, изложенными в «Инструкции по сбору и использованию отработанных нефтепродуктов в сельском хозяйстве» [83]. Сбор масел производится на ПТО, в ремонтных мастерских, автогаражах, пунктах заправки и смазки машин. Для сбора отработанных масел должно применяться стандартное или специальное оборудование, устройства и инвентарь, ускоряющие и облегчающие выполнение операций по сливу нефтепродуктов, обеспечивающих минимальное их загрязнение. Слитые масла и эксплуатационные жидкости нефтяного происхождения должны храниться отдельно в герметичных резервуарах и транспортироваться на пункты очистки и сдачи специализированным или приспособленным для этих целей транспортом. Все стационарные и передвижные пункты (посты) слива и сбора масел должны оснащаться средствами, обеспечивающими минимальные потери и охрану окружающей среды [32, 123].

Отработанные масла сдаются на очистку партиями, сопровождаемыми документами, подтверждающими их пригодность к очистке и дальнейшему использованию. При внутрихозяйственной организации работ по сбору и очистке масел оценка физико-химических показателей может проводиться в экспрес-лаборатории, непосредственно при приёме масла на обработку.

Возможные варианты выбора схемы организации работ по сбору, транспортировке, очистке и хранению отработанных масел зависят от конкретных условий эксплуатации машинно-тракторного парка, размещения объектов ремонтно-обслуживающей базы, объёмов сбора отработанных масел и т.д.

В условиях сельскохозяйственного производства возможны следующие варианты организации работ:

1. Сбор, хранение и очистка отработанных масел производится в бригаде (отделении) предприятия, арендном или фермерском хозяйстве.

2. Сбор и хранение масел производится в первичном звене производства, а очистка – на центральной усадьбе сельскохозяйственных предприятий. Транспортировка отработанных масел осуществляется в бочках или автоцистерной силами персонала по очистке масел.

3. Сбор масел в первичном подразделении; транспортировка масел для формирования партий на центральную усадьбу и сдачу их на очистку в районный или областной пункт переработки. Транспортировка масла из хозяйства на переработку и обратно может производиться как силами хозяйства, так и персоналом пункта переработки масел.

Одним из основных условий внедрения способа очистки масел является наличие производственного помещения: мастерской, автогаража, пункта технического обслуживания. В подразделениях с относительно небольшим объёмом сбора масла необязательно иметь отдельное помещение, а вполне достаточно выделенной площади в 4...6 м<sup>2</sup> для размещения маслоочистительной установки и нескольких ёмкостей (резервуаров). Оборудование для

сбора и очистки масел вполне сочетается с оборудованием участка технического обслуживания.

На центральной усадьбе сельскохозяйственных предприятий, где обеспеченность объектами ремонтно-обслуживающей базы значительно выше, появляется возможность размещения комплекса технических средств для сбора, очистки и контроля физико-химических и эксплуатационных показателей масел в специальном помещении. При этом перечень технологического оборудования и его функциональные возможности существенно расширяются. Это позволяет проводить анализ показателей работающих и отработанных масел, выполнять работы по обслуживанию маслоочистительного оборудования, осуществлять заправочные операции, вести учётную документацию.

Общая, наиболее приемлемая для центральных ремонтно-обслуживающих баз сельскохозяйственных предприятий, РТП и других организаций, технологическая схема участка сбора и очистки масел работает следующим образом. Масло сливается в передвижную установку (маслосборник) и перекачиваемым насосом этой установки направляется в установку для очистки масел или в резервуары для отстоя и отдельного хранения. Очищенное масло насосом установки закачивается в баки секций для хранения и выдачи потребителям через маслораздаточную колонку. Для приёма, отстоя и подготовки масел для очистки, поступивших от потребителей в бочках, предусматривается насосная передвижная установка и бак отстойник. В помещении должна быть обустроена эффективная приточно-вытяжная вентиляция.

Структура взаимоотношений потребителей масел с обслуживающими подразделениями по очистке масел должна строиться на заинтересованности в взаимном сотрудничестве при сборе высококачественного сырья и снижении его потерь и затрат на его переработку.

Взаимоотношения должны базироваться на понятных и простых принципах, в основе которых лежит личная и коллективная заинтересованность, ликвидация обезлички и безответственности, жёсткие санкции за нарушение договорных обязательств. Потребитель должен быть заинтересован в сдаче



как можно лучшего сырья, получить высококачественное очищенное масло за возможно низкую цену, а обслуживающий персонал (подразделение) – в получении высоких доходов при минимальных затратах.

Потребителями масел являются производственные подразделения (бригады, арендные звенья, крестьянские хозяйства, ремонтные цеха и предприятия), которые собирают и сдают масло на очистку перерабатывающим подразделениям, арендным звеньям или частным предприятиям. Масла принимаются на очистку по заказ-наряду (по ранее заключённому договору), в котором указывается объём партии сдаваемого масла, его исходная характеристика (масла моторные отработанные, масла промышленные отработанные, смеси нефтяные отработанные), основные физико-химические показатели по экспресс-оценке в присутствии заказчика (вязкость, обводненность, загрязненность), а также договорная цена работ по очистке партии масла.

Организационно-технические меры по сдаче, очистке и использованию масел сводятся к сбору масел в чистую тару, перевозке масла на пункт очистки, оформлению документов и совместному (заказчик-исполнитель) проведению экспресс-анализов, строгому выполнению рекомендаций исполнителя со стороны заказчика.

### **1.3 Оценочные показатели эксплуатационных свойств отработанных моторных минеральных масел**

О качестве масла, как при производстве, так и в условиях эксплуатации, можно судить по показателям их физико-химических и эксплуатационных свойств. Значения показателей являются основным критерием для определения срока смены масла, а также для восстановления эксплуатационных свойств моторных масел при их переработке.

Физико-химические свойства моторных масел составляют основу стандартов и технических условий на масло. С их помощью с достаточной степенью надежности удаётся контролировать идентичность различных партий

масла в процессе его производства, транспортировки, хранения и эксплуатации [13, 41].

Так, физико-химические свойства характеризуются такими основными показателями, как: плотность, вязкость, температура, вспышки и застывания, щелочное и кислотное число, наличие механических примесей и воды. Изменение этих показателей свыше допустимых норм (ГОСТ Р51634-2000) ведёт к ограничению использования масел или к необходимости корректировки показателей качества, а в случае невозможности доведения их до норм такие масла следует выбраковывать [41, 122].

Вязкость – один из важнейших показателей, характеризующих пригодность масла для применения в двигателе. Вязкость необходима для образования смазочного слоя между трущимися поверхностями с целью предотвращения их непосредственного контакта. Масла с наибольшей вязкостью создают более толстый слой. Однако увеличение вязкости масла ведет к повышению потерь мощности двигателя на трение, снижению коэффициента полезного действия, поэтому вязкость масла должна быть минимальной, но достаточной для создания жидкостного трения.

Кроме того, вязкость определяет низкотемпературные свойства масла, т.е способность обеспечивать легкий пуск двигателя при низких температурах окружающей среды и надежную подачу масла из картера к коренным и шатунным подшипникам в период пуска и прогрева двигателя.

Различают вязкость динамическую, кинематическую и условную.

Динамическая вязкость – это коэффициент внутреннего трения слоёв жидкого смазочного материала, или более точно и полно – сила сопротивления двух слоёв жидкого смазочного материала площадью  $1\text{см}^2$ , находящихся на расстоянии  $1\text{см}$  и перемещающихся один относительно другого под действием внешней силы со скоростью  $1\text{см/с}$ . Единица измерения – Пуаз и сантипуаз (Пас).

Кинематическая вязкость характеризует подвижность жидкости и равна отношению динамической вязкости смазочного материала к его плотности ( $\gamma = \mu/\rho$ ).

Единица измерения вязкости – Стокс ( $\text{м}^2/\text{с}$ ), сантистокс сСт ( $\text{мм}^2/\text{с}$ ).

Условная вязкость (ВУ в условных градусах) – отношение кинематической вязкости масла к вязкости воды (при её истечении при  $t = 20^\circ$ ).

Для моторных, гидравлических и трансмиссионных масел кинематическая вязкость нормируется при  $100^\circ\text{C}$ , для промышленных – при  $50^\circ\text{C}$ .

Моторные масла должны иметь такую вязкость, чтобы при высоких температурах не сильно разжижиться, а при низких не терять текучести.

В тех случаях, когда масло работает при больших нагрузках и малых скоростях, даже высокая вязкость масла не может обеспечить режима жидкостной смазки. Важнейшей характеристикой в таких условиях становится маслянистость или смазывающая способность, т.е. способность масла создавать по металлической поверхности весьма прочный, но очень тонкий смазочный слой, толщина которого всего лишь  $0,1 \dots 1,1$  мкм, то есть не превышает  $50 \dots 500$  молекулярных слоёв и сопрягаемые детали находятся в условиях граничной смазки.

Даже при минимальной толщине слоя износ деталей уменьшается в тысячи раз по сравнению с сухим трением.

Температура вспышки – температура, до которой нужно нагреть масло, чтобы его пары образовали с воздухом смесь, вспыхивающую при поднесении пламени. Температура вспышки масла позволяет судить о фракционном составе масла и наличии в нём отдельных групп углеводородов. Снижение температуры вспышки работающего моторного минерального масла свидетельствует о разжижении его топливом. Например, присутствие в масле топлива лишь в количестве  $0,5\%$  снижает температуру вспышки масла со  $180$  до  $80^\circ\text{C}$ . Температура вспышки масла должна быть больше, чем температура, в условиях которой приходится ему работать.

Температура застывания масла определяет предел, при котором масло теряет подвижность и текучесть. Этот показатель характеризует низкотемпературные свойства масел. Температура застывания ниже у маловязких масел (трансформаторные и приборные масла), она составляет  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}\dots-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Летние сорта автотракторных масел застывают при температуре  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , зимние – при температуре  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}\dots-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Для этого в них добавляют депрессанты – присадки, используемые для понижения температуры застывания.

Щёлочность (мг КОН/г) – суммарный обобщенный показатель, характеризующий наличие присадок в масле. Щелочное число (мг КОН/г) – количество кислоты (серно-хлористой или соляной), необходимое для нейтрализации всех компонентов основания масла, выраженное в эквивалентах КОН.

Этот показатель позволяет оценить как моющие свойства масел, так и устойчивость к окислению. Чем выше щелочное число, тем больше его нейтрализующая способность.

Моющие свойства – это способность масла обеспечить необходимую чистоту деталей двигателей, поддерживая продукты окисления и загрязнения во взвешенном состоянии.

Кислотное число – количество гидроксида калия или натрия, необходимое для нейтрализации 1г минерального масла. Оно показывает количество содержащихся в масле свободных органических кислот и других кислотных соединений в пересчете на КОН.

Различные кислоты по-разному действуют на цветные сплавы и черные металлы двигателя.

Загрязнённость масла инородными примесями – механическими (внешними – пыль, различные абразивы и т.д., внутренними – продуктами износа деталей машин, сработавшиеся компоненты присадок и др.) и водой (масла очень гигроскопичны).

Чем больше по объёму (массе) процент наличия в масле механических примесей и чем выше их размеры, тем выше износные явления сопряжения деталей машин.

Загрязняющие примеси масла вызывают повышенный износ деталей, засоряют масляные каналы и фильтры, увеличивают температурный режим деталей цилиндро-поршневой группы и вызывают другие отрицательные явления, которые снижают надежность и долговечность работы двигателя.

Зольность – это образование золы при сгорании масла. Зольность масла должна быть минимальной. Зольность – показатель, характеризующий чистоту масла при отсутствии в нем присадок. Наиболее эффективные присадки обеспечивают максимальное щелочное число при минимальной зольности.

Термоокислительная стабильность масла – показатель, по которому судят о способности масла образовывать лаковые пленки и о возможности пригорания поршневых колец в процессе работы двигателя.

Чем выше термоокислительная стабильность масла, тем медленнее оно будет окисляться в тонком слое при высоких температурах.

Отложения, образующиеся на высоконагретых деталях двигателя, подразделяются на нагары, лаки и осадки.

Нагарами называются углистые отложения, которые образуются на стенках камеры сгорания, днищах поршней, клапанах, форсунках и свечах, т.е. деталях, подвергающихся воздействию высоких температур.

Лаки, или лаковые отложения, представляют собой тонкие и прочные пленки, образующиеся на поршневых кольцах, канавках и юбках поршней, шатунах и других деталях.

Осадки, или шламы – это мазеобразные сгустки, отлагающиеся на поверхностях деталей в картере двигателя, на маслофильтрах, маслопроводах и т.д.

Образование отложений отрицательно влияет на работу двигателя: лаки и нагары ухудшают тепловой режим, шламы забивают фильтры, маслопроводы и тем самым нарушают подачу масла к деталям.

Присадки – это сложные химические соединения, которые вводятся в смазочные масла в концентрации от долей до 20...30 % и более с целью улучшения их качества и придания новых свойств. Присадку в масло вводят

для улучшения и придания либо одного определенного свойства, либо чаще всего используют многофункциональные присадки, улучшающие одновременно несколько свойств смазочного масла.

Помимо основного функционального назначения, присадки должны удовлетворять целому ряду других требований: хорошо растворяться в маслах, не выпадать в осадок от изменения температуры и при хранении, быть термически и химически стабильными, не изменять своего функционального назначения при использовании в технических объемах, не нарушать других качеств масла и т.д.

Различают следующие присадки: антиокислительные, противокоррозионные, моющие и диспергирующие, противоизносные и противозадирные, вязкостные, депрессорные и многофункциональные.

Содержание присадок в масле снижается во время работы двигателей и при хранении масел. Причинами уменьшения содержания присадки, являются [26]:

1. Адсорбция присадки на фильтрующих элементах масляных фильтров.
2. Адсорбция присадки на механических примесях в масле и последующего её удаления вместе с примесями системы очистки двигателей.
3. Адсорбция на поверхностях двигателей.
4. Расход присадки на нейтрализацию кислых продуктов, образующихся при сгорании сернистого топлива и окисление масла.

В работах [72, 101, 104, 137] представлены разработанные исследовательские и эксплуатационные системы показателей для восстановления свойств масел и расчётные уравнения, которые приведены в таблице 1.1.

Оценочные показатели, по которым судят об изменениях качества масла, могут приниматься за браковочные при достижении ими предельных значений [37].

На практике в качестве браковочных показателей в настоящее время применяются следующие: изменение кинематической вязкости, содержание

Таблица 1.1 – Показатели оценки эксплуатационных свойств  
 моторных масел

№ п/п	Наименование показателя	Расчётное уравнение	Автор(ы)
1	2	3	4
1	<b>Вязкостно-температурные свойства</b>		
	1. Кинематическая вязкость	$\Pi_\gamma = \frac{\gamma_m - \gamma_0}{\gamma_m},$	Крипс М.И. Савченко В.Т. Сторожев В.Н. Шишков И.Н. [70, 81, 116, 127, 144]
	2. Динамическая вязкость	$\gamma_m = \gamma_0 \cdot \alpha(1 - e^{-\beta t}),$  $\mu = 0,6\pi \cdot \frac{h_{\min} \cdot \Delta C \cdot K_{cp}}{d^2 \cdot \omega},$  $\eta = \frac{F \Delta l}{S \Delta V}$	
2	<b>Срабатываемость присадки</b>		
	1. Расход нейтрализующего компонента присадки	$K_n = \alpha(V + \frac{\sigma}{100} \sum_{i=1}^{n-1} G_m^2 \cdot \Delta t_i) -$  $- \frac{\beta}{100} \sum_{i=1}^n \eta \cdot i \cdot \Delta t \cdot i \cdot m,$	Лышко Г.П. [77]
	2. Срабатываемость присадки	$C = K \frac{g - Q_y}{Q_y} \left( 1 - e^{-\frac{Q_y \tau}{G}} \right),$	Морозов Г.А. [85] Чанкин В.В. [138] Мещерин Е.М. Сердечный В.Н. [84, 124]
	3. Щелочность	$C = C_0 - \frac{K}{Q_y} \left( 1 - e^{-\frac{Q_y \tau}{G}} \right),$	
	4. Кислотность	$K_{II} = \frac{35 B m (S + a)}{G_{yz} C_k},$	
	5. Диспергирующие свойства	$D = D_{\max} (1 - \exp[-dt]),$  $DC = 1 - \frac{d^2}{D^2}$	
3	<b>Загрязнение масла</b>		
	1. Содержание механических примесей	$X = \frac{100}{Q_y} \left( 1 - e^{-\frac{Q_y \tau}{G}} \right) + X_0 e^{-\frac{Q_y \tau}{G}},$	Морозов Г.А. Арциомов О.М.[85] Зеленецкая И.С.[51] Непогодьев А.В. [87]

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4
	<p>2. Содержание железа в масле</p> <p>3. Оптическая плотность</p> <p>4. Загрязнение масла водой</p>	$F = \frac{M}{g} \left\{ \log \left[ \frac{1}{1 - \frac{gT}{nV_0}} \right] \right\},$ $\tau = 2,303 \frac{i}{\delta} \lg \frac{J_0}{J},$ $a = 0,006 + 100 \cdot 4,8W_2$	
4	Комплексные показатели		
	<p>1. Качественный состав</p> <p>2. Коэффициент качества масла</p> <p>3. Срок службы масла</p>	$\alpha = \frac{G_0}{G_n}; \quad \varepsilon_u = \varepsilon \frac{1 - S_u}{1 - S},$ $K = 1 + 9 \frac{\Phi + Q_{II}}{\Pi + Q_{II}},$ $Q_{\min} = \frac{g - g_x}{X_{\text{ор}} - X_u}$	<p>Венцель С.В. [22]</p> <p>Аронов Д.М. [4]</p> <p>Сторожев В.Н. [127]</p>

нерастворимых примесей, температура вспышки, кислотное число и содержание воды [61]. При испытаниях и эксплуатации масел к настоящему времени накоплен значительный опыт, позволяющий использовать некоторые показатели в качестве браковочных, которые приведены в таблице 1.2.

Старение масла при работе в двигателе представляет собой сложный процесс, так как подвергается комплексному воздействию высокой температуры, кислорода воздуха, продуктов сгорания топлива и изнашиванию деталей двигателя, а также посторонних примесей [74, 88]. Происходит не только интенсивное накопление смолисто-асфальтеновых веществ, но и перестройка их общей структуры.

В таблице 1.3 приводятся числовые значения браковочных показателей для наиболее широко применяемых в сельскохозяйственном производстве марок моторных масел.



Таблица 1.2 – Применяемые браковочные показатели моторных масел

Марка масла	Тип двигателя	Группа показателей	Страна, автор
1	2	3	4
М-8Г М-8ДМ М-10ДМ М-10Г SAE 5W-30	Тракторные и комбайновые	1 – изменение кинематической вязкости; 2 – содержание механических примесей; 3 – температура вспышки; 4 – кислотное число; 5 – содержание воды.	Мосихин Е.П. Виннер А.Б. Микутенко Ю.А. Европейские страны ISO 4407 [86, 122]
М-12В	Судовые	1 – щёлочность; 2 – нерастворимые примеси; 3 – коррозионность; 4 – термоокислительная стабильность.	Сторожев В.Н. Гольденфон А.К. ASTM D 665 и др. [29, 122, 127]
SAE-10	Автомобильные и тракторные	1 – коксуемость по конд-радсону; 2 – нерастворимые примеси; 3 – асфальт; 4 – содержание топлива; 5 – содержание воды; 6 – прирост вязкости.	Чехия США ASTM D 4530[122]
МС-20, МК-22	Авиационные	1 – вязкость; 2 – температура вспышки; 3 – температура застывания; 4 – содержание водорастворимых кислот и щелочей.	Шишков И.Н. Белов В.Б. США ASTM D2602-86 [122, 144]

Таблица 1.3 – Браковочные значения эксплуатационных показателей масел

Показатель	Марка масла	Браковочное значение	Метод испытания
2	3	4	5
Вязкостно-температурные свойства			
Кинематическая вязкость мм <sup>2</sup> /с,	М-8Г	> 9,0	ГОСТ 33-2000 ASTM D 88
	М-10Г	> 14,5	
	SAE 5W-30	< 9,0	
Температура вспышки, °С	М-8Г	< 185	ГОСТ 4333-87 ASTM D 92-72
	М-10Г	> 230	
	SAE 5W-30		

Продолжение таблицы 1.3

1	2	3	4
Температура застывания, °С	М-8Г М-10Г SAE 5W-30	> - 30 > - 15 > - 30	ГОСТ 20287-81 ASTM D2602-86
Срабатываемость присадок			
Кислотное число мг КОН/г	М-8Г М-10Г SAE 5W-30	> 0,3	ГОСТ 11362-96 ASTM D 664
Щелочное число мг КОН/г	М-8Г М-10Г SAE 5W-30	< 6,0	ГОСТ 11362-96 ASTM D 664
Сульфатная зольность, %	М-8Г М-10Г SAE 5W-30	> 1,15 > 1,5 > 1,5	ГОСТ 12417-73 ASTM D 874
Загрязнение масла			
Содержание механических примесей, %	М-8Г М-10Г SAE 5W-30	> 0,015	ГОСТ 122-75 ISO 4407
Нерастворимые примеси	М-8Г М-10Г SAE 5W-30	> 3	ГОСТ 122-75 ISO 4407
Содержание воды, %	М-8Г М-10Г SAE 5W-30	> 0,3	ГОСТ 2477-80 ГОСТ 1473-81 ASTM D 5185
Показатели использования			
Угар масла, %	М-8Г М-10Г SAE 5W-30	> 3,5	ИЗ137-94 CEC L-54-T-96, M 111
Оценка осадка, баллы	М-8Г М-10Г SAE 5W-30	≤ 7,5	ГОСТ 19932-85 CEC L-53-T-95

Для определения состояния работающих масел значения из показателей сравнивают со стандартными значениями и предельно допустимыми браковочными значениями, и по выявленным отклонениям принимается решение о их дальнейшем использовании (табл. 1.4).

Таблица 1.4 – Предельно допустимые браковочные значения

№	Изменение показателя	Предельное значение
1.	Вязкость кинематическая, % не более Прирост Снижение	35 20
2.	Содержание примесей, нерастворимых в бензине, % не более	3
3.	Содержание воды, %	0,3
4.	Содержание (прирост): а) механических примесей б) железа	в 2 раза в 10 раз
5.	Коксуемость, % прирост	80
6.	Диспергирующе - стабилизирующие свойства, балл	5
7.	Отложения на фильтрующих элементах, % от полной ёмкости фильтра	60
8.	Температура вспышки, °С	190
9.	Щелочное число, мг КОН/г: а) для высокофорсированных двигателей б) для среднефорсированных двигателей	3 1,5
10.	Содержание топлива, %	0,8
11.	<u>Масла трансмиссионные</u> Содержание %: а) механических примесей б) воды в) железа	0,1 0,3 0,25
12.	Температура застывания, °С	По стандарту

Предельные значения показателей качества некоторых марок масел приведены в таблицах 1.5 и 1.6

Таблица 1.5 – Допустимые отклонения качества масла

Нефтепродукты	Показатели	Допустимые отношения
Автотракторные и индустриальные масла	Кислотное число, мг КОН/г	25 % от предельного значения в сторону повышения
	Коксуемость, %	0,15 % в сторону повышения
	Зольность масел без присадки, %	0,005 % в сторону повышения

Таблица 1.6 – Браковочные показатели отработанных моторных масел

№ п/п	Показатели	Значения показателя
1.	Содержание загрязняющих примесей, %	3,0
2.	Кинематическая вязкость (при 50°C), мм <sup>2</sup> /с	45,0
3.	Содержание воды, %	2,0
4.	Наличие горючего, %	10,0
5.	Температура вспышки, °С	135

Браковочные показатели чаще всего устанавливаются в зависимости от типа двигателя, сорта масла и времени работы [26].

#### **1.4 Существующие способы очистки и восстановления эксплуатационных свойств отработанных моторных минеральных масел до нормативных значений**

В зависимости от последующего назначения переработка отработанных минеральных моторных масел может проводиться по нескольким направлениям. Наиболее распространенным является очистка масла от нерастворимых примесей, воды и лёгких топливных фракций с целью использования их в неответственных узлах и системах автотракторной техники и станочного оборудования (гидравлические системы, трансмиссия и другие узлы машин). Такие масла имеют недостаточную область повторного использования и не могут без улучшения основных химико-физических свойств в полной мере использоваться в двигателях автотракторной техники.

С целью улучшения переработки этих масел и возможности применения их по прямому назначению необходима разработка прогрессивных способов и технических средств, которые позволяли бы не только удалять сработавшиеся углеводороды, потерявшие свои свойства присадки, но восстанавливать сработавшиеся элементы (присадки) и по возможности, стабилизировать восстановленные эксплуатационные свойства с целью продления сроков их использования [39, 66, 126].

Известны различные способы очистки и восстановления отработанных моторных минеральных масел основанные на физических, физико-химических, химических и других процессах, заключающихся в удалении из масел нерастворимых примесей, топливных фракций и воды, продуктов старения и разложения масла (рис. 1.2) [11, 15, 40, 75, 113].

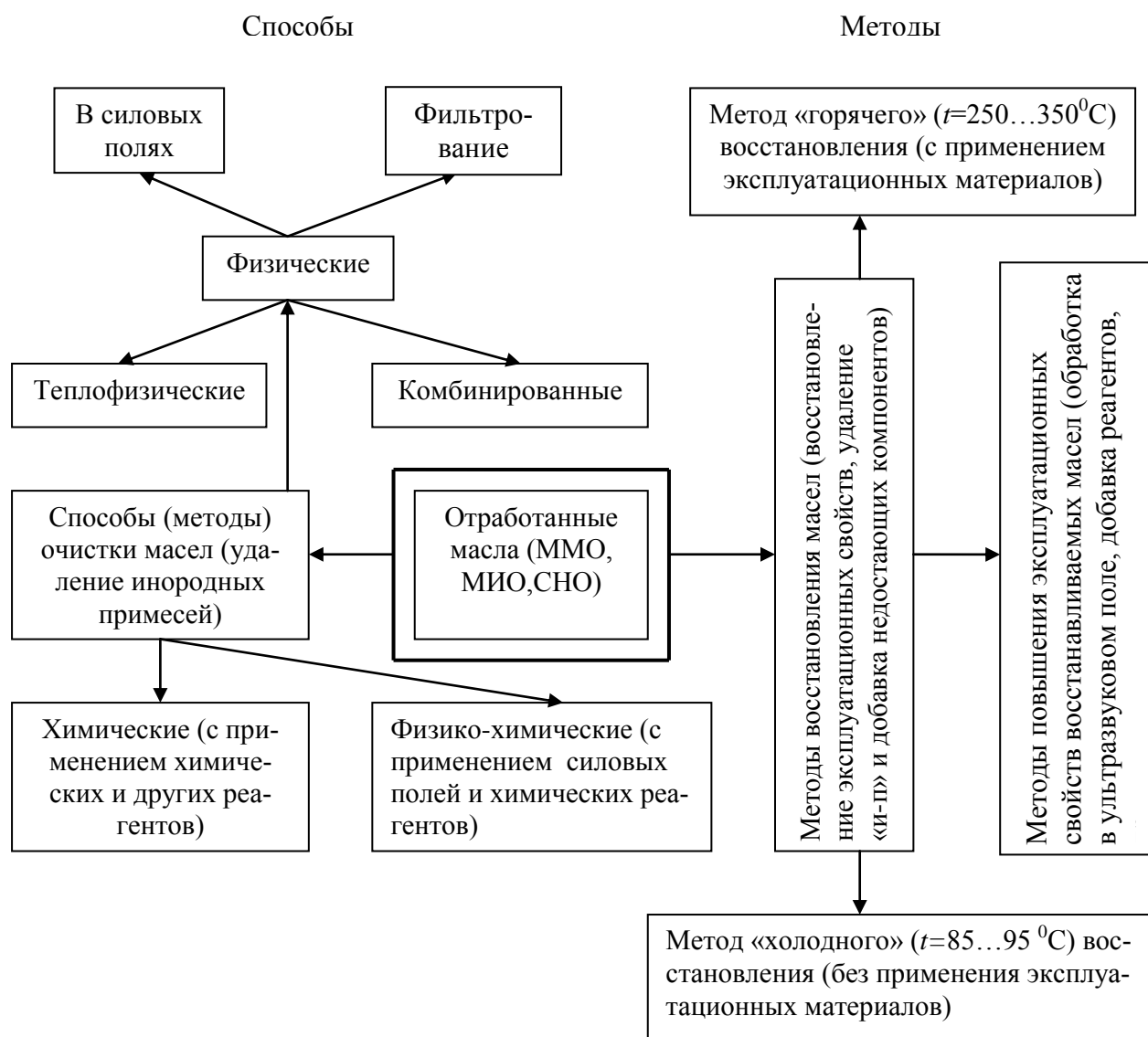
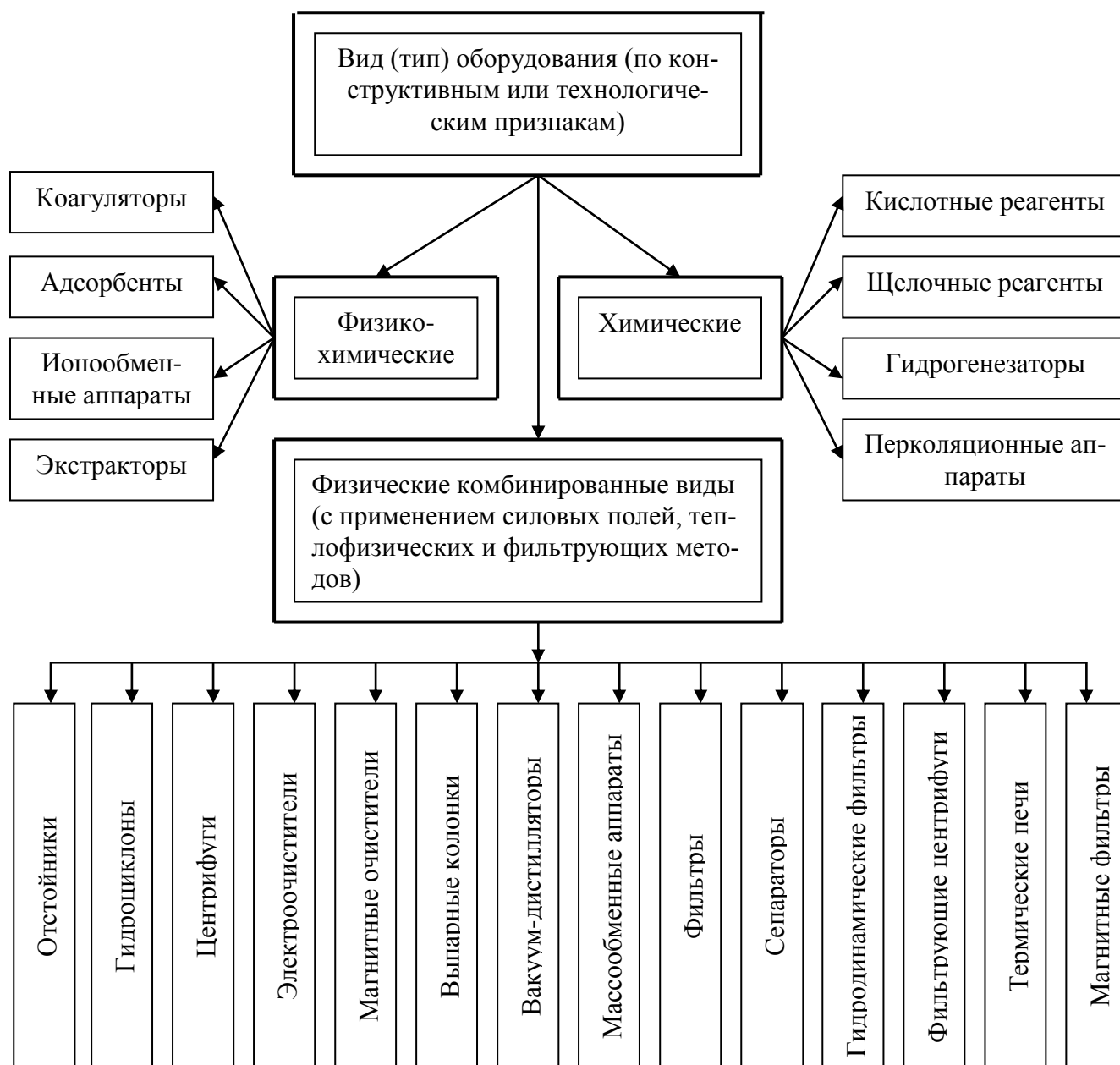


Рисунок 1.2 – Основные способы и методы восстановления свойств отработанных масел

Наиболее широко применяются и освоены методы очистки масел в силовом поле с использованием гравитационных, центробежных, электрических, магнитных и вибрационных сил, а также водной промывкой, выпариванием и вакуумной дистилляцией (рис.1.3). К этим методам можно отнести и различные массо- и теплообменные аппараты [125, 141].



*Рисунок 1.3– Основные виды оборудования для очистки и восстановления масел*

Естественный гравитационный метод очистки масел от загрязняющих примесей и воды – это отстаивание масел при обычных температурах – прост, но малоэффективен и длителен. Степень очистки примесей составляет не более 20...80 мкм при обычных температурах, а при минусовых он вообще не эффективен. Также эффективность отстаивания снижают присутствующие в маслах моющие и диспергирующие присадки, которые препятствуют агрегированию частиц загрязнений и коагуляции микрокапель воды.

Процесс отстаивания зависит от плотности, вязкости и степени загрязнённости масел и не обеспечивает необходимой чистоты масла. Поэтому этот метод применяют чаще всего для предварительной очистки.

Продолжительность очистки масел от различных инородных примесей значительно сокращается при использовании центробежных сил путём вращательного движения масла в неподвижных аппаратах (гидроциклонах) и подачи масла во вращающиеся аппараты (центрифуги, сепараторы).

В настоящее время наиболее широко используются центрифуги с электрическим, механическим и гидравлическим приводом. Гидравлический привод осуществляется с помощью реактивного соплового устройства, использующего энергию потока отчищаемого масла. Конструкции этих устройств отличаются, способом подачи масла и, по частоте вращения ротора подразделяются на низко- и высокочастотные.

Используемые магнитные очистители эффективно удаляют образующиеся в результате износа деталей машин ферромагнитные частицы, при этом под действием сил электрического поля происходит частичное обезвоживание масла.

Для ускорения очистки загрязнённых масел используют вибрационные очистители. В таких установках загрязнённые масла, находясь в поле упругих колебаний, более динамично освобождаются от твёрдых частиц за счёт их коагуляций.

Одним из способов очистки является водная промывка, позволяющая удалять из масел водорастворимые низкомолекулярные кислоты, соли органических кислот и некоторую долю сработавшихся углеводородных соединений.

Выпаривание (при  $t = 80 \dots 110$  °С) масел обеспечивает обезвоживание и удаление из них легкокипящих топливных фракций. Этот процесс весьма энергоёмок и продолжителен, реализуется при давлении 25...30 кПа и требует специальных нагревателей и вакуумных устройств.

Также, из физических методов, наиболее широко используется фильтрование масел. Метод фильтрование заключается в пропускании масла через пористые перегородки изготовленные из бумаги, спецканей или всевозможных набивок из различных материалов и др. Фильтрование обеспечивает тонкость фильтрации при грубой очистки – 70...100 мкм, средней 20...70 мкм, тонкой 1...20 мкм, ультрафильтрация – менее 0,1 мкм. Недостаток метода – большой расход эксплуатационных материалов, необходимость утилизации отработанных фильтрующих элементов, уменьшение эффективности очистки при снижении пропускной способности фильтра (по времени функционирования). В последнее время ведутся работы по внедрению полупроницаемых мембран (очистка до 0,1 мкм и выше) они экономически просты, но требуют периодической промывки.

Комбинированные способы очистки основаны на одновременном использовании нескольких методов, например центробежной и магнитной очистки и фильтрования [107].

Физико-химические методы: адсорбционный, ионообменный и селективный – дают довольно высокое качество очистки, но требуют сложного оборудования, дорогостоящих адсорбентов, кислот, растворителей и других технических компонентов.

Химические методы очистки основаны на взаимодействии веществ загрязняющих отработанные масла и вводимые в эти масла реагентов. В результате химических реакций образуются соединения, легко удаляемые из масел. Наиболее предпочтительным является: кислотная и щелочная очистка, гидрогенизация, очистка от загрязнений с помощью оксидов, карбидов и гидридов металлов [6, 7, 24, 28, 30, 38, 60, 64, 71, 85, 100, 130, 135].

Таким образом, для очистки отработанных масел и частичного восстановления их физико-химических показателей могут применяться различные способы, методы и технические средства (рис. 1.4).

При этом предпочтительны физические способы очистки, позволяющие удалить из масла твёрдые загрязнения, воду и лёгкие топливные фрак-



ции. Анализ способов очистки масел показал, что наиболее широко используется центробежная очистка [78, 108, 109, 117].

Опыт использования центробежных очистителей показал следующее:

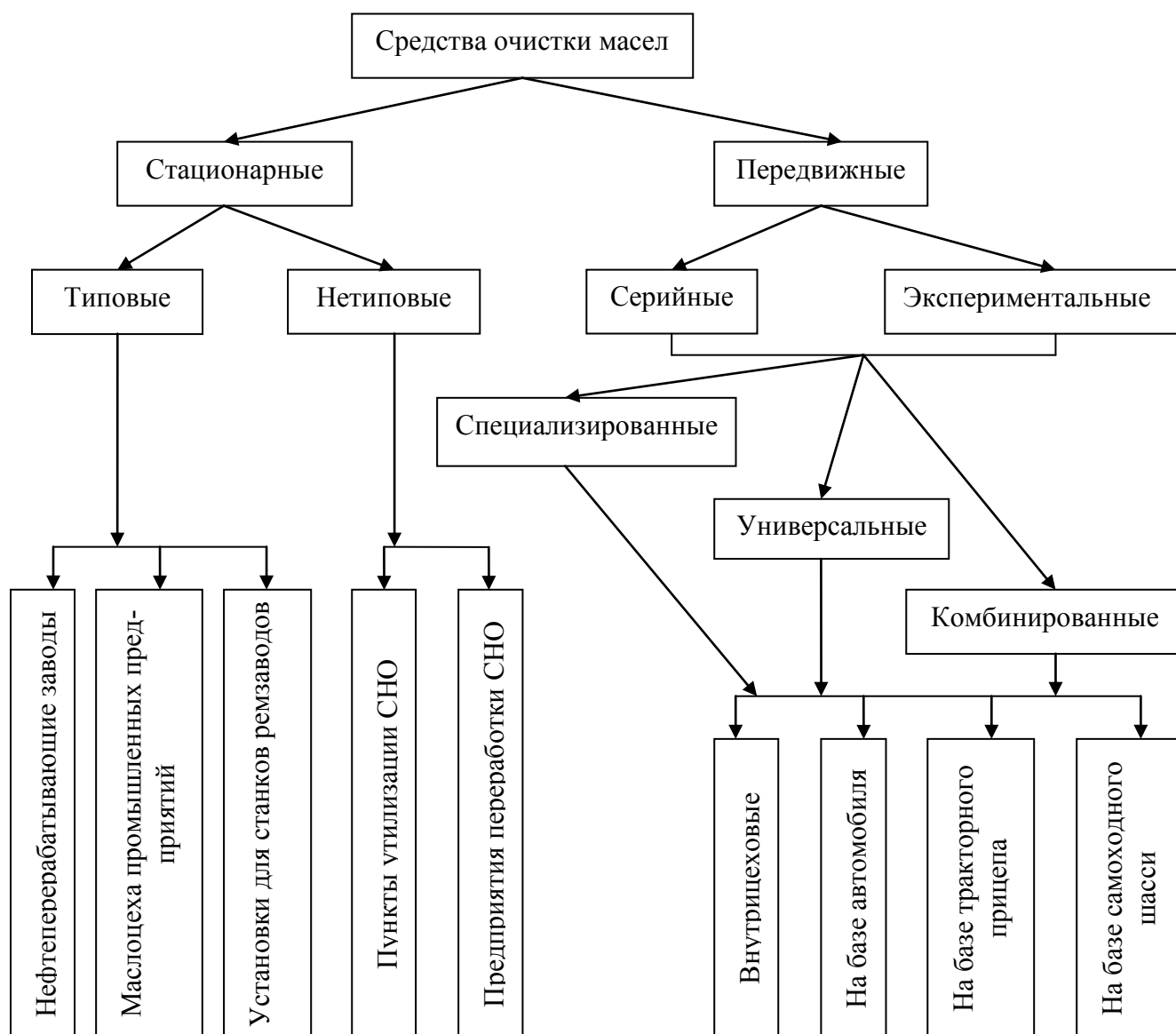


Рисунок 1.4 – Классификация существующих в сельскохозяйственном производстве средств очистки масел

1. Центробежные очистители (центрифуги) имеют высокую сепарирующую способность; эти устройства качественно работают в широком диапазоне рабочих температур масла; их рабочие характеристики в процессе эксплуатации остаются постоянными.

2. Центробежные очистители имеют практически неограниченный срок работы; их ресурс значительно выше других; по объёму грязеемкости они превосходят лучшие объёмные фильтры.

3. Центрифуги обладают большой избирательной способностью к загрязнителям; они просты в эксплуатации и обслуживании.

Существующие технические средства для очистки отработанных масел в сельскохозяйственном производстве подразделяются по назначению и видам работ, месту их выполнения, конструкции, способу обслуживания и т.д.

За рубежом масла восстанавливают на спецпредприятиях с использованием высокотемпературных технологий (150...250 °С). При этом применяются разнообразные эксплуатационные материалы: глинозем, протон, различные фосфиты, кислоты и др. [54, 55, 57, 114, 131, 133].

Фирмами «Kinetics Technology International» (Германия) и «Guls» (США) совместно разработана технология восстановления масел основанная на атмосферной отгонке воды и бензина, вакуумной перегонкой масла и отгонкой газойля, с последующей гидроочисткой масляного дистиллята и фракционирования масла. Особенность этого процесса – температура не выше 250 °С, что обеспечивает высокое качество масла и минимальный выход побочных продуктов. Недостаток данной технологии – использование сложного и дорогостоящего оборудования.

Фирмами «Leybold-Heracus» и «Adolf Schinids Erben» (Швейцария) разработан процесс восстановления масел «РИСАЙКЛОН» на основе применения металлического натрия для удаления загрязняющих примесей. Отработанное масло перегоняют для удаления воды и лёгких топливных фракций, а затем добавляют к нему менее 1 % измельчённого натрия при температуре до 250 °С.

После удаления низкокипящих продуктов реакции, масла отделяют от осадка. В результате многоступенчатой перегонки получают различные по вязкости масляные дистилляты, которые последующим фракционированием доводят до определённых сортов масел.

Фирмой «Phillips Petroleum» (США) разработан и реализуется более эффективный технологический процесс восстановления масел сочетающий химическую и гидростатическую очистку с последующим удалением, на никель-молибденовом катализаторе, серы, азота, кислорода и хлора, а затем (отпариванием при 150 °С) топливных фракций с доведением температуры вспышки масла до требуемых норм.

В Чехии наиболее широко используется следующая технология восстановления масла: очистка масла, отстоявшегося от сажи и асфальтосмолистых веществ, с помощью водного раствора, содержащего алкилфенол, соду, сексан и другие реагенты при температуре 150 °С, 20 часовое отстаивание, двухступенчатая вакуумная перегонка при температуре 170...275 °С и давлении 5 МПа.

Перечисленные выше технологии имеют сложное технологическое оборудование, требуют применения различных эксплуатационных материалов, что существенно ограничивает сферу их использования в АПК. А используемые технические средства, при удовлетворительной полноте отсева, имеют ряд существенных недостатков: низкая надежность и недолговечность; низкая эффективность очистки высоковязких нефтепродуктов; трудоемкость в обслуживании; необходимость в периодической очистке самих средств; высокая стоимость.

Таким образом, для очистки отработанных масел и частичного восстановления их физико-химических показателей могут применяться различные способы, методы и технические средства. При этом предпочтительны физические способы очистки, позволяющие удалить из масла твёрдые загрязнения, воду и лёгкие топливные фракции.

Выше приведенные способы эффективны при очистке или восстановлении отработанных масел на крупных маслорегенерационных станциях или заводах. Однако при этом возникают значительные трудности со сбором и транспортировкой сырья. В сельскохозяйственном производстве, из-за высокой рассредоточенности техники и сравнительно небольших объёмов образо-

вания отработанных масел, в структурных подразделениях сбор и распределение сырья на крупные станции очистки оказывается трудноосуществимы.

Существующие серийные технические средства для переработки отработанных моторных минеральных масел в АПК позволяют перерабатывать отработанные масла до уровня их использования в гидравлических и трансмиссионных системах. Восстановление эксплуатационных свойств отработанных моторных минеральных масел до уровня товарных масел может быть осуществлено добавлением присадок или компаундированием минеральными добавками в виде товарных масел.

Таким образом, разработка простой, доступной широкому потребителю способа очистки и частичного восстановления эксплуатационных свойств отработанных моторных минеральных масел является актуальной задачей и может принести значительный экономический эффект.

### **Выводы**

1. Анализ результатов исследований и разработок по очистке и восстановлению эксплуатационных свойств отработанных моторных минеральных масел показывает, что при удалении из отработанных масел продуктов окисления и загрязнений возможно их повторное применение. Для использования в трансмиссионных системах или по прямому назначению необходимо восстановление эксплуатационных свойств до уровня товарных масел.

2. Наиболее перспективным и рациональным направлением очистки моторных минеральных масел является многоступенчатая очистка с получением масел, сохранивших часть присадок, пригодных к повторному использованию в качестве промышленных, гидравлических и трансмиссионных масел. Для этого необходимо восстановление способом ввода присадок или компаундирование минеральными добавками в виде товарных масел, имеющих более высокие эксплуатационные показатели.

## **2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ И КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МОДУЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОЧИСТКИ И ЧАСТИЧНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОТРАБОТАННЫХ МОТОРНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ МАСЕЛ ОТ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ (НЕРАСТВОРИМЫХ ПРИМЕСЕЙ, ВОДЫ И ТОПЛИВНЫХ ФРАКЦИЙ)**

### **2.1 Закономерности процессов очистки и частичного восстановления отработанных моторных минеральных масел от нерастворимых примесей, воды и топливных фракций**

#### **2.1.1 Закономерности процесса гравитационного отстаивания**

Для очистки масел от примесей воды широко используется метод отстаивания в резервуарах [19, 49, 111, 112].

Выделение частиц воды из масел в гравитационном поле основано на разности удельных весов масел и воды: осаждение частиц воды происходит под действием собственного веса и подчиняется закону падения тел небольшого размера в среде (в данном случае масляной), оказывающей сопротивление их движению.

На осаждение частиц воды  $m_g$  в масле в поле гравитации действуют следующие силы:  $F_m(P)$  – сила тяжести (вес) частицы воды,  $F_a$  – Архимедова сила,  $F_{ct}$  – сила сопротивления осаждению частиц воды,  $F_{nn}$  – сила поверхностного натяжения (рис. 2.1) [43].

Сила тяжести

$$F_m = m_g \cdot r_{чг}, \quad (2.1)$$

где  $m_g$  – масса частицы воды, кг;  $r_{чг}$  – приведенный радиус частицы воды, м;

Сила сопротивления осаждению частиц воды

$$F_{cm} = 6 \cdot \pi \cdot r_{чв} \cdot \nu_{oc} \cdot \mu, \quad (2.2)$$

где  $\nu_{oc}$  – скорость осаждения частиц, м/с;  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости.

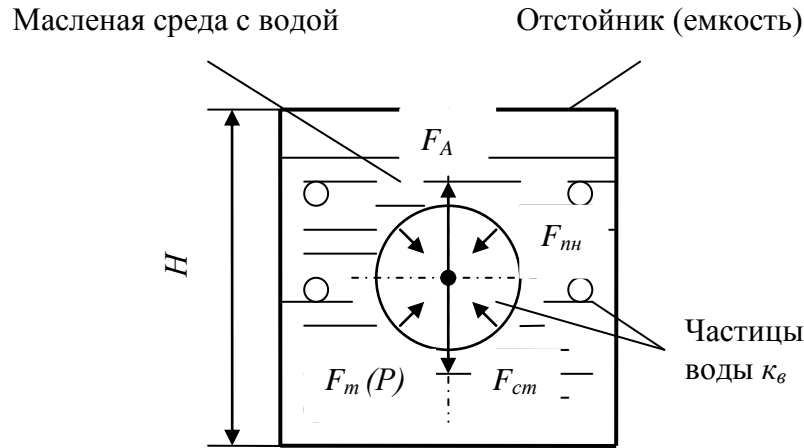


Рисунок 2.1 – Силы, действующие на водяные частицы в поле гравитации в жидкой масляной среде

Архимедова сила

$$F_a = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r_{чв}^3 \cdot \rho_m, \quad (2.3)$$

где  $\rho_m$  – плотность масла, кг/м<sup>3</sup>.

Ввиду малости сил поверхностного натяжения  $F_{нн}$ , их значением можно пренебречь.

Таким образом, на осаждение частицы воды наибольшее влияние будет оказывать сила сопротивления  $F_{cm}$ , определяемая как разность двух сил:

$$F_{cm} = F_m - F_a. \quad (2.4)$$

В случае ламинарного режима движения осаждающих частиц скорость осаждения  $\nu_{oc}$  частицы воды  $\kappa_v$ , под действием указанных выше сил, определяется:

$$\nu_{oc} = \frac{F_{cm}}{r_{чв} \cdot \mu}. \quad (2.5)$$

С учетом геометрических параметров дисперсной среды значение  $\nu_{oc}$  будет иметь вид:

$$v_{oc} = \frac{F_{CT}}{6 \cdot \pi \cdot r_{чв} \cdot \mu}, \quad (2.6)$$

где  $\frac{1}{6 \cdot \pi}$  – коэффициент, учитывающий геометрию потока среды;  $6 \cdot \pi \cdot r_{чв} \cdot \mu$  – молекулярный коэффициент трения.

Подставив значения соответствующих сил:  $F_{cm}$ ,  $F_m$  и  $F_a$  (2.1, 2.2, 2.3), согласно известным закономерностям [11], и проведя преобразования, получим:

$$\frac{v_{oc} \cdot d_{чв} \cdot \rho_в}{\mu} = \frac{1}{18} \cdot \frac{g \cdot d_{чв}^3 \cdot (\rho_в - \rho_м)}{\gamma^2 \cdot \rho_м}. \quad (2.7)$$

Поскольку кинематическая вязкость  $\gamma = \frac{\mu}{\rho}$ :

$$v_{oc} = \frac{1}{18} \cdot \frac{g \cdot d_{чв}^2 \cdot (\rho_в - \rho_м)}{\mu} = \frac{g \cdot d_{чв}^2 \cdot (\rho_в - \rho_м)}{18 \cdot \mu}, \quad (2.8)$$

где  $d_{чв}$  – диаметр частиц воды, м;  $\gamma$  – кинематическая вязкость масла, мм<sup>2</sup>/с;  $\rho_в$  и  $\rho_м$  – соответственно плотность воды и масла, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Поскольку скорость осаждения частиц воды будет зависеть от объема содержания в ней воды ( $V_в$ ), то, преобразовав выражение (2.8) с учетом  $V_в$ , получим теоретическую скорость осаждения частиц воды:

$$v_{pn}^T = \frac{\Delta \cdot d_{чв}^2 \cdot g \cdot V_в}{18 \cdot \mu} = \frac{(1000 - 900) \cdot 0,00000025 \cdot 9,8 \cdot 0,3}{18 \cdot 0,00122} = 0,003 \text{ м/с}. \quad (2.9)$$

Анализ теоретических зависимостей скорости осаждения частиц воды в масле показывает, что чем меньше вязкость масла (чем выше температура), тем выше скорость ее осаждения. Скорость осаждения частиц воды находится в прямой зависимости от размеров частиц воды. По данным расчетов установлено, что в масляной среде осаждение частиц воды размером от 50 мкм и меньше в поле гравитации в обычных условиях не происходит [34].

Общие закономерности процесса осаждения нерастворимых примесей, находящихся почти всегда в постоянном агрегатном состоянии в масляной среде, кроме случая их соединения в конгломераты различного размера,

идентичны процессу выделения частиц воды из масла в поле гравитации. Однако ввиду присущих воде свойств соединяться с присадками и превращаться в новое качественное состояние, а также подвергаться испарению при определенных температурах, в процессе осаждения нерастворимых примесей есть некоторые особенности.

Осаждаемая частица нерастворимых примесей так же, как и частица воды, находится под действием:  $F_m(P)$  – силы тяжести (вес) частицы,  $F_a$  – Архимедовой силы и  $F_{cm}$  – силы сопротивления осаждению частиц примесей (рис. 2.2).

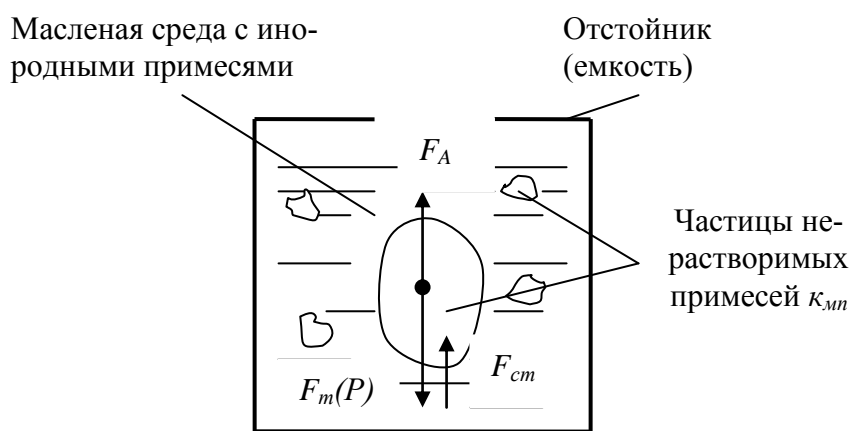


Рисунок 2.2 – Силы, действующие на частицы нерастворимых примесей в поле гравитации в жидкой масляной среде

Сделав предположение, что осаждение частиц происходит с постоянной скоростью, условие равновесия (не осаждения) частиц в поле гравитации имеет вид [11, 31, 32, 97]:

$$F_m - F_{cm} - F_a = 0 \quad (2.10)$$

при этом:

$$\begin{aligned} F_m &= m_q \cdot r_q; \\ F_{cm} &= 6 \cdot \pi \cdot r_q \cdot v_{oc} \cdot \mu, \\ F_a &= \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r_q^3 \cdot \rho_m, \end{aligned} \quad (2.11)$$

где  $m_q$  – масса частицы нерастворимых примесей, кг;  $r_q$  – приведенный радиус частицы нерастворимых примесей, м.



Подставив (2.11) в выражение (2.10), получим:

$$m_c \cdot r_c - 6 \cdot \pi \cdot r_c \cdot v_{oc} \cdot \mu - \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r_c^3 \cdot \rho_m = 0. \quad (2.12)$$

Тогда скорость осаждения:

$$v_{oc} = \frac{2 \cdot r_c^2}{9 \cdot \mu} \cdot (\rho_c - \rho_m). \quad (2.13)$$

Однако с учетом того, что кинематическая вязкость масла  $\gamma$  зависит от температуры и определяется соотношением:

$$\gamma_k = \gamma_n \cdot \left( \frac{T_k}{T_n} \right)^k, \quad (2.14)$$

где  $\gamma_k$  – конечная кинематическая вязкость масла (при температуре  $T_k$ ), мм<sup>2</sup>/с;  $\gamma_n$  – начальная кинематическая вязкость масла (при температуре  $T_n$ ), мм<sup>2</sup>/с;  $T_k$  и  $T_n$  – конечная и начальная температуры масла, К;  $k$  – коэффициент, определяемый опытным путем (для моторного масла  $2,53 \leq k < 3,27$ ).

Объемная масса (плотность) материала частиц также зависит от температуры и подчиняется закономерности:

$$\rho_c = \frac{\rho_c^0}{1 - \beta \cdot t}, \quad (2.15)$$

где  $\rho_c$  – объемная плотность частиц при какой-то определенной (конечной) температуре, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_c^0$  – объемная плотность частиц исходная, кг/м<sup>3</sup>;  $\beta$  – коэффициент объемного расширения материала частиц;  $t$  – температура частицы относительно начального состояния ( $t_n$ ), °С.

Поэтому скорость осаждения частиц нерастворимых примесей будет зависеть от температуры масла и определяться соотношением:

$$v_{oc} = \frac{2 \cdot r_c^2 \cdot \left[ \frac{\rho_c^0}{1 + \beta \cdot t} - \rho(t) \right]}{9 \cdot \gamma_n \cdot \left( \frac{T_k}{T_n} \right)^k}. \quad (2.16)$$

Вследствие обволакивания частиц смолистыми составляющими масел, а также конвекционных потоков заданной дисперсной системы и ряда других

факторов фактическая скорость осаждения частиц нерастворимых примесей будет меньше рассчитанной (2.16) [94]. Это можно учесть обобщенным коэффициентом  $k_{об}$ , который является функцией некоторой постоянной величины  $C_k$  и размера частиц:

$$k_{об} = C_k - d_{ч.нр}, \quad (2.17)$$

где  $d_{ч.нр}$  – диаметр частиц нерастворимых примесей, м.

Также скорость осаждения частиц нерастворимых примесей будет зависеть от объемного их содержания в масле –  $V_{нр}$ .

С учетом вышеизложенных факторов скорость осаждения частиц нерастворимых примесей:

$$v_{pn} = \frac{2 \cdot r_c^2 \cdot \left[ \frac{\rho_c^0}{1 + \beta \cdot t} - \rho(t) \right] \cdot V_{нр}}{9 \cdot \gamma_n \cdot \left( \frac{T_k}{T_n} \right)^k \cdot k_{об}} = \frac{2 \cdot 0,00025^2 \cdot \left[ \frac{1100}{1 + 0,015 \cdot 20} - 800 \right] \cdot 0,97}{9 \cdot 0,0000122 \cdot \left( \frac{293}{293} \right)^3 \cdot 5,7} = 0,009 \text{ м/с}. \quad (2.18)$$

В этом случае время отстаивания

$$\tau = \frac{18 \cdot H_0 \cdot \mu}{d^2 \cdot (\rho_c - \rho_m) \cdot g} = \frac{18 \cdot 0,6 \cdot 0,00122}{0,0005^2 \cdot (1100 - 900) \cdot 9,8} = 26,9 \text{ ч}, \quad (2.19)$$

где  $H_0$  – высота отстойника, мм;  $\mu$  – динамическая вязкость, сП;  $d$  – диаметр осаждаемой частицы, мм;  $\rho_c$  – плотность осаждаемых частиц, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_m$  – плотность масла, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Следует добавить, что при повышении температуры масла до 80...100 °С, происходит сокращение длительности осаждения частиц нерастворимых примесей в 2 – 3 раза.

Процесс осаждения частиц нерастворимых примесей из масла в поле гравитационных сил при обычных температурах (18...25 °С) недостаточно эффективен. Он может длиться от одних суток до нескольких месяцев.

## 2.1.2 Закономерности процесса выпаривания

Разделение частиц воды методом выпаривания базируется на обычных теплотехнических закономерностях [20, 65, 76], отражающих процессы, про-

исходящие при переходе воды (при нагреве ее от 18 °С до 105 °С) в парообразное состояние и последующем ее свободном выводе из масла за счет испарения.

При обосновании разделяемости частиц воды методом выпаривания учитывается, что в связи с гигроскопичностью, в масле всегда присутствует вода – свободная или связанная с углеводородами на молекулярном уровне.

По условиям технологического процесса разделение частиц воды происходит при температуре ниже температуры кипения, то есть за счет нагревания смеси и последующего испарения воды. Испаряющаяся масса пара может быть удалена самостоятельно или принудительно.

Для выяснения сути процесса рассмотрим равновесие жидкости с паром, который в данном случае является насыщенным паром. Это равновесие устанавливается само собой, если жидкость находится в закрытом сосуде [42].

Известно, что при нагреве жидкости с ее поверхности отделяется часть молекул, образуя пар, при этом испаряющаяся молекула может отделиться, если преодолет силы притяжения со стороны оставшихся молекул, т.е. совершит работу против этих сил и работу против внешнего давления  $P_{вн}$  уже образовавшегося пара, равную  $P\Delta V$ , где  $\Delta V$  – изменение объема занимаемого данным количеством молекул при переходе жидкости в пар.

При этом надо учесть, что в закрытом сосуде при испарении наступит момент, когда число частиц, находящихся в жидкости в единицу времени, станет равным числу частиц, возвращающихся за это же время в жидкость, т.е. наступит динамическое равновесие

$$P_{вн} = P_n, \quad (2.20)$$

где  $P_{вн}$  – внешнее давление образующегося пара, Па;  $P_n$  – давление насыщенного пара, МПа.

То есть скорость испарения воды и скорость обратной конденсации пара сравниваются.

Дальнейшее испарение жидкости будет продолжаться, если образовавшийся непосредственно над поверхностью насыщенный пар сдувать или откачивать техническим средством или конденсировать на другую, более холодную поверхность (посредством открытия крышки).

В этом процессе нельзя не учитывать и покидание молекулами воды за счет скрытой теплоты испарения.

Поэтому полную работу, производимую при испарении одного моля воды, при внешнем давлении  $P_{вн}$  можно определить следующим соотношением:

$$A_p = \mu_{мв} \cdot L_{ми} + (P_{вн} - P_n) \cdot \Delta V, \quad (2.21)$$

где  $A_p$  – полная работа при испарении одного моля, Дж;  $\mu_{мв}$  – молекулярная масса испаряющегося вещества;  $L_{ми}$  – скрытая теплота испарения, Дж;  $\mu_{мв} \cdot L_{ми}$  – доля работы от скрытого испарения;  $(P_{вн} - P_n) \cdot \Delta V$  – доля работы от открытого испарения.

Скрытая удельная теплота испарения  $L_{ми}$  определяется из выражения:

$$L_{ми} = \frac{Q_n}{m_{ж}}, \quad (2.22)$$

где  $Q_n$  – количество тепла, необходимое для получения насыщенного пара, Дж;  $m_{ж}$  – масса выпаренной воды, кг.

Это справедливо при давлении насыщенного пара  $P_n$  и определенной температуре  $T$ .

Однако с повышением температуры масла скрытая теплота испарения убывает и при достижении его определенного критического значения  $t_{кр}$  она станет равной нулю и определяющим фактором испарения станет упругость насыщенных паров. При этом доминирующим параметром при таком состоянии масла становится плотность молекул пара, связанная с его давлением.

В соответствии с законом Больцмана, число молекул (в единице объема), обладающих при равновесии потенциальной энергией  $E_{эл}$ , можно определить по формуле:

$$n_{mv} = n_o \cdot e^{-\frac{E_{\text{эл}}}{K \cdot T}}, \quad (2.23)$$

где  $n_{mv}$  – число молекул в единице объема воды, обладающих при равновесии определенной потенциальной энергией;  $n_o$  – число молекул (плотность молекул) в единице объема воды, обладающих нулевой энергией  $E_{\text{эо}}$  по отношению к реальной потенциальной энергии  $E_{\text{эн}}$ ;  $T$  – абсолютная температура, К;  $K$  – постоянная Больцмана, Дж/К.

Однако при покидании (испарении) молекулами воды, они должны совершить работу против сил притяжения со стороны других молекул и их энергия изменится по сравнению с первоначальной  $E_{\text{эн}}$  на величину совершенной работы. При этом средняя энергия молекулы, вылетающей из жидкости, отличается от энергии молекулы внутри воды на величину  $L_{mv}/N_o$ , которая за вычетом работы против внешнего давления и есть энергия  $E_{\text{эн}}$ , с учетом этих факторов (2.23) примет вид:

$$n_{mn} = n_{\text{жс}} \cdot e^{-\frac{L_{mv}}{N_o \cdot K \cdot T}}, \quad (2.24)$$

где  $n_{mn}$  – число молекул пара (плотность молекул пара), потенциальную энергию которых принимаем равной нулю;  $n_{\text{жс}}$  – число молекул воды (плотность молекул воды), потенциальную энергию которых принимаем равной нулю;  $N_o$  – число Авогадро, моль<sup>-1</sup>.

Число молекул пара (их плотность), связанных с существующим давлением паров и происходящими тепловыми явлениями, можно определить из выражения:

$$n_{mn} = \frac{P_n}{K \cdot T}, \quad (2.25)$$

где  $n_{mn}$  – число молекул пара при давлении паров, равном  $P_n$ .

Произведя преобразования формул (2.23) и (2.24), получим:

$$P_n = n_{mn} \cdot K \cdot T = n_{\text{жс}} \cdot K \cdot T \cdot e^{-\frac{L_{mv}}{N_o \cdot K \cdot T}}, \quad (2.26)$$

тогда

$$\frac{L_{mi}}{R \cdot T} = \ln \frac{n_{жс} \cdot K \cdot T}{P_H}, \quad (2.27)$$

где  $R=N_0 \cdot K$  – газовая постоянная, зависящая от природы воды (ее пара), Дж/(моль·К).

Подставив значение  $L_{mi}$  (2.22) и учитывая, что:

$$R = \frac{R_{mn}}{\mu_m}, \quad \text{а} \quad \mu = \frac{m_m}{n_g}, \quad (2.28)$$

получим, что количество тепла  $Q_H$ , необходимое для испарения определенного количества воды при внешнем давлении, соответствующем давлению  $P_H$  насыщенных паров системы при постоянной температуре:

$$Q_H = n_g \cdot R_{mn} \cdot T \cdot \ln \frac{n_{жс} \cdot K \cdot T}{P_H}, \quad (2.29)$$

где  $R_{mn}$  – универсальная газовая постоянная системы (в данном случае масла), Дж/(моль·К);  $n_g$  – количество связанной воды, которая может быть выделена за счет испарения;  $\mu_m$  – молекулярная масса вещества.

В случае когда внешнее давление паров  $P_{вн}$  не соответствует давлению насыщенных паров  $P_H$ , для реализации испарительного эффекта необходимо дополнительное количество тепла с целью разделения масляной среды:

$$Q_{дон} = (P_{вн} - P_H) \cdot \Delta V. \quad (2.30)$$

При этом совершится дополнительная работа  $dA$ , необходимая для одного моля вещества (воды):

$$dA = (V_2 - V_1) \cdot dP, \quad (2.31)$$

где  $V_1, V_2$  – молекулярные объемы соответственно пара и жидкости;  $dP$  – разница несоответствия давления.

Значение молекулярного объема пара можно определить из уравнения Клайперона:

$$V_2 = V_1 - \frac{R_{mi} \cdot T}{P}. \quad (2.32)$$

Подставив в (2.31) значение  $V_2$  и проведя преобразования, получим:

$$dA = \frac{R_{mi} \cdot T}{P} \cdot dP, \quad (2.33)$$

тогда:

$$A = R_{\text{мн}} \cdot T \cdot \ln \frac{P_{\text{вн}}}{P_{\text{н}}} \quad (2.34)$$

Из зависимостей (2.29 и 2.34)(в соответствии с уравнениями (2.30 и 2.31)) определим количество тепла  $Q_{\text{онт}}$ , необходимое для испарения  $n_{\text{в}}$  вещества (воды, связанной с маслом), при постоянной температуре:

$$Q_{\text{онт}} = R_{\text{мн}} \cdot T_{\text{нв}} \cdot \ln \frac{n_{\text{жс}} \cdot K \cdot T \cdot P_{\text{вн}}}{P_{\text{н}}^2}, \quad (2.35)$$

$$Q_{\text{онт}} = 8,31 \cdot 373 \cdot \ln \frac{0,05 \cdot 10^{23} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 293 \cdot 0,1}{0,1^2} = 16428 \text{ Дж}.$$

Тогда количество связанной воды  $n_{\text{в}}$ , которое может быть выделено из масла за счет теплообмена (испарительного эффекта), будет равно:

$$n_{\text{в}} = R_{\text{мн}} \cdot T \cdot Q_{\text{онт}}^{-1} \cdot \ln \frac{n_{\text{жс}} \cdot K \cdot T \cdot P_{\text{вн}}}{P_{\text{н}}^2}. \quad (2.36)$$

Располагая комплексом вышеперечисленных параметров, а также продолжительностью  $\tau$  (временем) технологического цикла испарения частиц воды за счет испарительного эффекта, можно определить скорость испарения частиц воды:

$$v_{\text{пн}}^{\text{вэ}} = \frac{n_{\text{в}}}{\tau} = R_{\text{мн}} \cdot T \cdot Q_{\text{онт}}^{-1} \cdot \tau^{-1} \cdot \ln \frac{n_{\text{жс}} \cdot K \cdot T \cdot P_{\text{вн}}}{P_{\text{н}}^2}, \quad (2.37)$$

$$v_{\text{пн}}^{\text{вэ}} = \frac{8,31 \cdot 293}{16428 \cdot 1,5} \cdot \ln \frac{0,05 \cdot 10^{23} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 293 \cdot 0,1}{0,1^2} = 0,52 \text{ м/с}.$$

где  $v_{\text{пн}}^{\text{вэ}}$  – скорость испарения частиц воды (при  $Q_{\text{онт}} = Q$ ), м/с.

Тогда скорость испарения частиц воды за счет испарительного эффекта будет определяться функциональной зависимостью:

$$v_{\text{пн}}^{\text{вэ}} = \varphi_u \left[ Q^{-1}, \tau^{-1}, \ln(n \cdot K \cdot P_{\text{вн}} \cdot P_{\text{н}}^{-2}) \right] \cdot C, \quad (2.38)$$

где  $C = R_{\text{мн}} \cdot T$  – постоянный коэффициент (для данных условий процесса и при постоянной температуре).

Таким образом, испарение частиц воды зависит от температурного состояния системы и ее параметров: давления, теплотехнических параметров, продолжительности процесса, количества воды в масле.

При разделении частиц воды выпариванием следует также ожидать более динамичного выделения воды из масляной среды, чем при выделении ее из отработанного масла, в котором вода связана с продуктами термического разложения углеводородов, сработавшихся присадок и с другими компонентами.

Таким образом, зная концентрацию воды в масле, можно рассчитать время выпаривания при заданной температуре.

### **2.1.3 Закономерности процесса гидроциклонной очистки**

Гидроциклон предназначен для предварительной очистки отработанного масла от крупнодисперсных и взвешенных нерастворимых примесей с целью повышения эффективности очистки на следующих ступенях.

Гидроциклон (рис.2.3) представляет собой аппарат, состоящий из цилиндрической части 1, к которой снизу примыкает широким основанием коническая часть 2, а сверху крепится промежуточная сливная камера 3 с патрубком для отвода верхнего продукта. Между цилиндрической частью и сливной камерой устанавливается диафрагма 4, а в нижней части конуса закрепляются сменные насадки 5.

Существенное влияние на эффективность разделения сред в гидроциклонных аппаратах оказывает воздушный столб 6 (рис. 2.3), возникающий вследствие разрежения вдоль оси аппарата [27, 95, 98, 136].

Приводимые в литературных источниках формулы по определению диаметра воздушного столба отражают лишь результаты обработки экспериментальных данных и не учитывают всех факторов, влияющих на его величину.



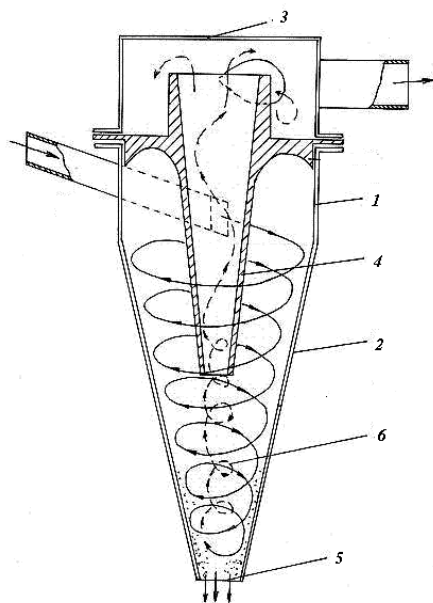


Рисунок 2.3 – Схема гидроциклона (наименование позиций в тексте)

Рассмотрим возможность определения диаметра воздушного столба в гидроциклоне с одним верхним сливом и его влияние на тонкость очистки.

Для нецентральной части гидроциклона справедливо уравнение Бернулли:

$$h_0 + \frac{P_0}{\nu} + \frac{v_0^2}{2g} = h + \frac{P}{\nu} + \frac{v^2}{2g}, \quad (2.39)$$

где  $h_0$ ,  $P_0$ ,  $v_0$  – геометрическая высота (м), давление (Па) и скорость потока (м/с) у стенки гидроциклона;  $h$ ,  $P$ ,  $v$  – геометрическая высота(м), давление (Па) и скорость потока (м/с) в определяемой точке;  $\nu$  – удельный вес жидкости, Н/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

$$\begin{aligned} v^2 &= v_t^2 + v_r^2 + v_z^2 \\ v_0^2 &= v_{ot}^2 + v_{or}^2 + v_{oz}^2 \end{aligned} \quad (2.40)$$

где  $v_t$ ,  $v_r$ ,  $v_z$  – окружная, радиальная и осевая скорости жидкости в определяемой точке, м/с;  $v_{ot}$ ,  $v_{or}$ ,  $v_{oz}$  – окружная, радиальная и осевая скорости жидкости у входного отверстия, м/с.

Окружная скорость  $v_{ot}$  равна скорости жидкости на входе в гидроциклон. Очевидно, что на границе воздушного столба давление и радиальная скорость равна нулю. Ввиду малых размеров гидроциклона, уравнение (2.39) примет вид

$$v_t^2 = \frac{2 \cdot P_0}{\rho_0} + v_{or}^2 + v_{ot}^2 + v_{oz}^2 - v_z^2, \quad (2.41)$$

где  $\rho_0$  – плотность масляной среды, кг/м<sup>3</sup>.

Значения входящих в уравнение скоростей:

$$v_{or} = -A_\psi \cdot v_{ot} \cdot \cos \beta_0 \cdot \frac{r_c \cdot (r_c^2 - r_0^2)}{h_c^2 \cdot \sqrt{h_c^2 + r_0^2}} \approx -A_\psi \cdot v_{ot} \cos \beta_0 \cdot \operatorname{tg}^3 \beta_0, \quad (2.42)$$

$$v_{oz} = 2 \cdot A_\psi \cdot v_{ot} \cdot \left[ 1 - \cos \beta_0 \cdot \left( \frac{\sqrt{h_c^2 + r_0^2}}{h_c} + \frac{r_c^2 - r_0^2}{2 \cdot h_c \cdot \sqrt{h_c^2 + r_0^2}} \right) \right] \approx -A_\psi \cdot v_{ot} \cdot \cos \beta_0 \cdot \operatorname{tg}^2 \beta_0, \quad (2.43)$$

где  $r_c$  – радиус, равный половине диаметра  $D$  гидроциклона, на уровне входного отверстия, м;  $h_c$  – высота гидроциклона (расстояние от вершины конуса до входного отверстия), м.

Осевая скорость на границе воздушного столба

$$v_z = 2 \cdot A_\psi \cdot v_{ot} \cdot \left[ 1 - \cos \beta_0 \cdot \left( \frac{\sqrt{h_{\text{вн}}^2 + r_0^2}}{h_c} \right) \right] = 2 \cdot A_\psi \cdot v_{ot} \cdot (1 - \cos \beta_0), \quad (2.44)$$

где  $\beta_0$  – угол полураствора конуса гидроциклона;  $A_\psi$  – коэффициент геометрии гидроциклона;  $r_0$  – радиус воздушного столба, м.

$$A_\psi = \frac{S_{\text{вх}}}{2 \cdot \pi \cdot 0,75 \cdot r_{\text{вн}}^2 \cdot \left( 1 - \cos \beta_0 \cdot \frac{\sqrt{h_{\text{вн}}^2 + r_{\text{вн}}^2}}{h_{\text{вн}}} \right)}, \quad (2.45)$$

где  $S_{\text{вх}}$  – площадь входного отверстия, м<sup>2</sup>;  $h_{\text{вн}}$  – расстояние от вершины конуса гидроциклона до сливного насадка, м;  $r_{\text{вн}}$  – внутренний радиус сливного насадка, м.

Окружная скорость жидкости в гидроциклоне

$$v_t = \frac{v_{ot} \cdot D}{2 \cdot c \cdot r_0} \int_0^r r \cdot e^{\frac{k}{\gamma} \int_0^r v_r \cdot dr} \cdot dr, \quad (2.46)$$

где  $k$  – коэффициент учета вязкостного трения;  $\gamma$  – вязкость масляной среды, мм<sup>2</sup>/с;  $e$  – основание натурального логарифма;  $c$  – коэффициент, определяемый из граничных условий.

Окружная скорость жидкости на границе воздушного столба

$$v_t = \frac{v_{ot} \cdot D}{2 \cdot c \cdot r} \cdot \frac{\int_0^{0,5r_{in}} r \cdot e^{\frac{k}{\gamma} \int_0^{0,5r_{in}} v_r \cdot dr} \cdot dr}{\int_0^{0,5D} r \cdot e^{\frac{k}{\gamma} \int_0^{0,5D} v_r \cdot dr} \cdot dr} = \frac{k_0 \cdot v_{ot} \cdot D}{d_0} \cdot c_1, \quad (2.47)$$

где  $d_0$  – диаметр воздушного столба, м.

После подстановки (2.42 – 2.44), (2.47) в (2.41) и преобразований, диаметр воздушного столба будет равен

$$d_0 = D \cdot c_1 \cdot \sqrt{\frac{1}{\frac{2 \cdot P_0}{\rho_0 \cdot v_{ot}^2} + 1 + A_v^2 \cdot [\cos^2 \beta_0 \cdot tg^4 \beta_0 \cdot (1 + tg^2 \beta_0) - 4 \cdot (1 - \cos \beta_0)^2]}}. \quad (2.48)$$

Для гидроциклонных фильтров при определении тонкости очистки справедлив закон Стокса, поэтому степень очистки масла определяют по формуле:

$$\sigma = \frac{3}{v_{ot}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \rho_0 \cdot \gamma}{\rho - \rho_0} \cdot v_{or} \cdot r}, \quad (2.49)$$

где  $\rho$  – плотность отделяемой среды (частиц), кг/м<sup>3</sup>.

Из формулы (2.49) видно, что на границе воздушного столба, где радиальная скорость равна нулю ( $v_{or}=0$ ), степень очистки масла равна нулю. Воздушный столб раздвигает поток внутри циклона и на сливе, содержащий мелкие частицы, способствуя, таким образом, уменьшению степени очистки масла, т.е. улучшая эффективность очистки жидкости. Размер очищаемого зерна примесей будет зависеть от давления  $P_0$  входного потока масла в гидроциклон

$$D_i = \sqrt{\frac{Q}{12500 \cdot k \cdot \varphi \cdot d_n^2}}, \quad (2.50)$$

где  $Q$  – производительность гидроциклона, кг/ч;  $k$  – коэффициент сопротивления, зависящий от отношения диаметров верхнего и отводного патрубков и отверстия питания;  $\varphi$  – коэффициент расхода, зависящий от угла конуса патрубка питания;  $d_n$  – диаметр питающего патрубка, м

Как видно, давление на входе зависит от геометрических параметров гидроциклона. Таким образом, степень очистки масла в гидроциклоне также

будет зависеть от геометрических параметров гидроциклона и свойств очищаемого масла. Задавшись необходимой степенью очистки, можно определить основные геометрические параметры гидроциклона, удовлетворяющие необходимым требованиям.

### 2.1.4 Закономерности процесса центрифугирования

Теоретические основы процесса центрифугирования жидкостей центробежными очистителями разработаны многими отечественными учеными: Григорьевым М.А., Соколовым В.И., Дектяревым В.А., Рябининым И.П., Пироженко Е.М., Ходаковым В.А. [31, 92] и другими.

Частица нерастворимых примесей в поле центробежных сил находится в основном под действием трех сил [20]:  $F_u$  – центробежной,  $F_v$  – выталкивающей и  $F_c$  – силы сопротивления жидкости частицам при их движении (рис.2.4) [45, 48].

Вход очищаемого отработанного масла будет осуществляться в центрифуге по оси, а выделение нерастворимых примесей, по мере накопления, будет происходить на внутренней поверхности ротора.

Относительное перемещение в радиальном направлении  $S$  частицы в роторе зависит от ее радиальной скорости  $v_p$  и времени перемещения  $\tau$ :

$$S = \varphi(v_p, \tau). \quad (2.51)$$

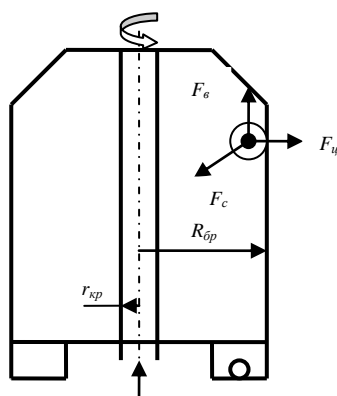


Рисунок 2.4 – Силы, действующие на частицы в поле динамической системы «ротор центрифуги – жидкое тело»

Перемещение частицы за время  $\tau$  под действием результирующей (центробежной силы  $F_{ц}$ ) определяется ее положением в элементарном кольцевом объеме ротора:

$$dV_{эк} = 2 \cdot \pi \cdot R_k \cdot H_p \cdot d_q, \quad (2.52)$$

где  $dV_{эк}$  – элементарный кольцевой объем ротора, м<sup>3</sup>;  $R_k$  – радиус расположения кольцевого объема, м;  $H_p$  – высота ротора центрифуги, м;  $d_q$  – диаметр частицы, м.

Объем выделенной массы примесей  $V_{вм}$  в единицу времени, или производительность центрифуги  $\Pi_{пр}$ , можно определить как:

$$V_{вм} = \Pi_{пр} = \frac{dV_{эк}}{d\tau}, \quad (2.53)$$

где  $d\tau$  – продолжительность пребывания разделяемой среды в данном элементарном кольцевом объеме, с.

За промежуток времени  $d\tau$  взвешенная в масле частица переместится в направлении стенки ротора на расстояние  $dS$ , двигаясь со скоростью

$$v = v_0 \cdot \frac{\omega^2 \cdot d_q}{2 \cdot g}, \quad (2.54)$$

где  $v_0$  – скорость осаждения частиц в гравитационном поле, м/с;  $\omega$  – угловая частота вращения ротора, с<sup>-1</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Перемещение  $dS$  элементарного объема частиц  $V_k$  внутри ротора через интервал времени  $d\tau$  определяется как:

$$dS = v \cdot d\tau. \quad (2.55)$$

Подставив в (2.55) значение  $d\tau$  по (2.53), скорости  $v$  по (2.54) и  $dV_{эк}$  по (2.52), получим:

$$dS = v \cdot d\tau = v \cdot \frac{dV_{эк}}{\Pi_{пр}} = v_0 \cdot \frac{\omega^2}{g \cdot \Pi_{пр}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_k \cdot H \cdot d_q. \quad (2.56)$$

Скорость движения частиц в масле под действием сил тяжести

$$v_0 = \frac{d_q^2 \cdot \Delta \cdot g}{18 \cdot \gamma_m}, \quad (2.57)$$

где  $\Delta$  – разность плотностей нерастворимых примесей и масла, кг/м<sup>3</sup>;  $\gamma_m$  – кинематическая вязкость масла, мм<sup>2</sup>/с.

Кольцевой объем  $dV_{эк}$  в роторе центрифуги ограничен радиусом колонки  $r_{кр}$  и радиусом барабана ротора  $R_{бр}$  (рис.1).

Проинтегрировав левую часть уравнения (2.56) от 0 до  $S$ , а правую – от  $r_{кр}$  до  $R_{бр}$  и, подставив в нее значение  $\nu_0$  (2.57), получим объемный выход частиц примесей

$$V_{эм} = \Pi_{np} = \frac{1}{18} \cdot \frac{\Delta}{\gamma_m} \cdot d_c^2 \cdot \omega^2 \cdot \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot H \cdot \frac{R_{бр}^3 - r_{кр}^3}{R_{бр} - r_{кр}}. \quad (2.58)$$

Скорость выделения частиц примесей из масляной среды

$$\nu_{вч} = \frac{\Delta \cdot d_c^2 \cdot \omega^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot H \cdot (R_{бр}^3 - r_{кр}^3)}{18 \cdot \gamma_m \cdot 3 \cdot (R_{бр} - r_{кр})}. \quad (2.59)$$

Как следует из (2.59), скорость  $\nu_{вч}$  выделения частиц является функцией следующих параметров:  $d_c$ ,  $\Delta$ ,  $\omega$ ,  $R_{бр}$ ,  $H_p$ ,  $r_{кр}$ ,  $\gamma_m$ .

$d_c$ ,  $\Delta$ ,  $\gamma_m$  – это параметры рассматриваемой масляной среды;  $H_p$ ,  $R_{бр}$ ,  $r_{кр}$  – это постоянные параметры для конкретной центрифуги, а один из них  $R_{бр}=R$  является составляющим параметром напряженности поля  $\mathring{A} = \omega^2 R$ .

Обозначив через  $C = \frac{1}{18} \cdot \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot H \cdot r_{кр} = const$ , получим из (2.59) обобщенную зависимость скорости выделения частиц нерастворимых примесей в функции некоторых параметров:

$$\nu_{вчм} = f(d, \Delta, \gamma, E, C). \quad (2.60)$$

Очевидно, что скорость осаждения частиц нерастворимых примесей  $\nu_{вч}$  из очищаемого отработанного масла, будет зависеть и от объемного содержания нерастворимых примесей  $V_{np}$ .

Применив к решению функции (2.60) метод анализа размерностей, получим скорость осаждения частиц нерастворимых примесей:

$$\nu_{pn} = A \cdot \frac{d \cdot \Delta \cdot E \cdot V_{np}}{\gamma}, \quad (2.61)$$

где  $A$  – коэффициент пропорциональности, определяемый опытным путем ( $A = 1 \cdot 10^{-5} \dots 2 \cdot 10^{-5}$  при  $E = 2,7 \cdot 10^4 \dots 3,6 \cdot 10^4$  м/с<sup>2</sup>).

Таким образом, скорость осаждения частиц нерастворимых примесей методом центрифугирования пропорциональна напряженности поля, содержанию нерастворимых примесей в масляной среде, разности плотностей фаз масляной среды, размеров частиц нерастворимых примесей и обратно пропорциональна вязкости масла.

Для осаждения частицы в центрифуге существенное значение имеют три величины: скорость осаждения  $v_{pn}$ , толщина слоя осаждения  $\lambda$  и время пребывания частицы в роторе центрифуги  $\tau$ . Из этих трех величин может быть составлен параметр – критерий сепарации, определяющий количество отделяемых частиц из потока очищаемого масла:

$$K_c = \frac{v_{pn} \cdot \tau}{\lambda}, \quad (2.62)$$

где  $\lambda = R_{\sigma p} - r_{kp}$  - толщина слоя осаждения, м.

Время пребывания частицы в роторе центрифуги зависит от частоты вращения

$$n = \frac{180}{\pi} \sqrt{\frac{(R_p - r_p) \cdot \gamma_m}{(R_p + r_p) \cdot \tau \cdot d^2 \cdot (\rho_1 - \rho_2)}}. \quad (2.63)$$

Выполнив замену и подставив в (2.62) значение  $v_{pn}$ , получим:

$$K_c = A \cdot \frac{d \cdot \Delta \cdot E \cdot V_{np} \cdot (R_{\sigma p} - r_{kp})}{\gamma}. \quad (2.64)$$

В этом случае качество очистки центрифуги можно определить как унос частиц через сливное отверстие, выраженный в процентах от общего объема примесей, поступающих в центрифугу с очищаемым маслом:

$$\phi = \frac{V_{np} - K_c}{V_{np}} \cdot 100. \quad (2.65)$$

Таким образом, качество очистки масла будут определять геометрические параметры центрифуги и время нахождения частицы в роторе, зависящее от скорости осаждения.

## 2.1.5 Закономерности процесса магнитной очистки

Магнитные очистители нашли широкое применение для очистки отработанных масел. В магнитном поле из масла вместе с ферромагнитными частицами железа улавливаются адсорбированные на них углеродистые и другие частицы загрязнений [31]. Для магнитной очистки принимаем конструкцию, состоящую из вращающегося барабана постоянного магнита, по поверхности которого происходит перемещение потока очищаемого масла.

Сущность возникающего физического процесса следующая. На отделяемую частицу действуют центробежная сила, сила тяжести, нормальная сила магнитного притяжения, приводящая к возникновению силы сопротивления движению, и тангенциальная сила магнитного взаимодействия, которая и является движущей силой отделения частиц из потока масла. При вращательном движении частицы по окружности с постоянной скоростью тангенциальная движущая сила равна равнодействующей всех указанных выше сил сопротивления движению.

Величина магнитной результирующей силы притяжения, действующей на частицу в магнитном поле, пропорциональна трем величинам: намагниченности частиц  $M$  в поле, объему частиц  $V$  и магнитной индукции  $B$

$$F_M = V \cdot M \cdot B. \quad (2.66)$$

Для того чтобы отделить частицу от потока, необходимо к частице приложить достаточную магнитную силу  $F_M$ , величина которой должна быть больше физической результирующей двух сил – силы лобового гидродинамического сопротивления  $F_d$  и силы тяжести частицы  $F_g$ , то есть

$$F_M \succ F_d + F_g, \quad (2.67)$$

При этом  $F_d = 6\pi \cdot \gamma \cdot r_q \cdot \nu_o;$  (2.68)

$$F_g = \rho \cdot g \cdot V; \quad (2.69)$$



где  $\rho$  – плотность частицы, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $v_0$  – скорость потока масла, м/с;  $\gamma$  – вязкость масла, мм<sup>2</sup>/с;  $r_c$  – радиус частицы, мм.

Таким образом, в фильтрационную зону магнитного сепаратора должен быть помещен такой магнит, который обеспечит высокие значения магнитной индукции.

Расчет магнитной индукции цилиндрических магнитов с радиусом  $r$  и длиной  $l$  в точке, расположенной на расстоянии  $d$  от поверхности (рис. 2.5) вдоль оси, рассчитывается по формуле:

$$B = \frac{B_r}{2} \cdot \left[ \frac{d+l}{\sqrt{d^2+l^2+r^2}} - \frac{d}{\sqrt{d^2+r^2}} \right]. \quad (2.70)$$

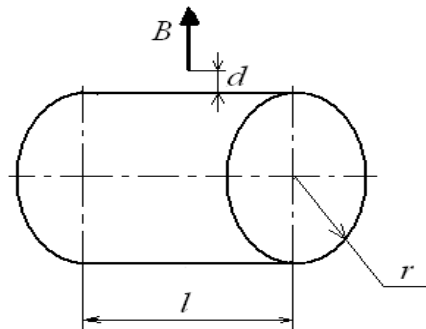


Рисунок 2.5 – Расчетная схема цилиндрического магнита

Таким образом, удерживающая сила магнита может быть определена

$$F_M = 0,577 \cdot B^2 \cdot S, \quad (2.71)$$

где  $B$  – индукция, Тл;  $S$  – площадь рабочей поверхности магнита, м<sup>2</sup>.

Произведя расчет силы лобового гидродинамического сопротивления  $F_d$  и силы тяжести частицы  $F_g$  (2.68, 2.69) и исходя из формулы (2.67), можно определить необходимую удерживающую силу и геометрические параметры магнита. При расчете магнита необходимо учитывать, что максимальная мощность будет зависеть от благоприятного соотношения длины магнита и площади его поперечного сечения.

Наибольшей энергией обладают постоянные магниты, сделанные из материала магнито. Величина удерживающей силы  $F_M$  обычных марок мате-

риалов для магнито составляет  $400...500 \text{ A/м}$ , а остаточная индукция  $B_r \approx 700 \text{ Тл}$ ; для магнито  $F_m \approx 500...600 \text{ A/м}$ , а  $B_r \approx 1200 \text{ Тл}$ .

Энергия постоянного магнита в значительной степени зависит от его формы и веса. Поэтому, выбирая форму магнита, необходимо учитывать, что при заданном весе максимальная мощность будет зависеть от благоприятного соотношения длины магнита и площади его поперечного сечения.

### 2.1.6 Закономерности процесса фильтрации

Фильтрация – процесс разделения суспензии на жидкую и твердую фазы при фильтрации этой жидкости через пористую среду. Разделение неоднородных жидких систем происходит в фильтрах при помощи фильтрующих элементов. Очистка масла фильтрованием нашла наиболее широкое применение в установках восстановления [2, 14, 16, 17, 35, 5, 69, 82, 110, 129, 139,140].

Первоначальным этапом является выбор фильтрационного материала (пористой среды). Пористая среда – среда, имеющая большое количество соединенных друг с другом пустот и каналов различной конфигурации и размеров. Структура фильтрационного материала должна быть пористой. Поры в материале могут быть сквозными, внутренними (слепыми) и открытыми с одной стороны (рис. 2.6) [8, 44].

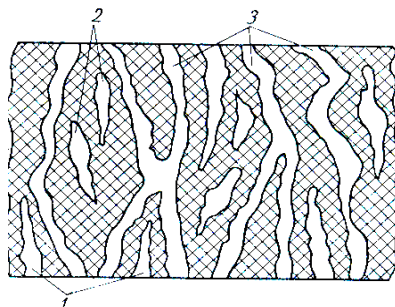


Рисунок 2.6 – Виды пор: 1 – слепые; 2 – внутренние; 3 – сквозные

Одной из основных характеристик пористого материала является коэффициент пористости

$$\varphi = \frac{V_n}{V}, \quad (2.72)$$

где  $V_n$  и  $V$  – соответственно объем пор и объем пористого материала,  $\text{м}^3$ .

Для расчета фильтров используют упрощенную модель пористой среды, которая заключается в том, что форму и размер каналов принимают эквивалентной диаметру волокон, из которых изготовлен пористый материал.

Для волокнистых пористых сред диаметр каналов рассчитывают по следующей формуле:

$$d_k = d_6 \cdot \sqrt{\frac{\varphi}{1-\varphi}}, \quad (2.73)$$

где  $d_6$  – диаметр волокон, мм.

Зная диаметр пористых каналов, можно приближенно определить средний диаметр частиц загрязнений, задерживаемых данным фильтрационным материалом. В этом случае задача была бы решена. Однако при прохождении через капилляры фильтров масла с микропримесями, частицы примесей, накапливаясь на поверхности и в порах, уменьшают проницаемость материалов фильтров. Увеличение гидравлического сопротивления характеризуется перепадом давлений

$$\Delta P = P_1 - P_2, \quad (2.74)$$

где  $P_1$  и  $P_2$  – давление на входе и выходе из фильтра, МПа.

Поскольку из-за сложности поровых каналов фильтрующих материалов теоретически нельзя рассчитать гидравлическое сопротивление фильтра, можно воспользоваться удельными характеристиками, такими, например, как удельная пропускная способность  $K$

$$K = \frac{\gamma \cdot v_\phi \cdot l}{\Delta P}, \quad (2.75)$$

где  $\gamma$  – кинематическая вязкость масла,  $\text{мм}^2/\text{с}$ ;  $v_\phi$  – скорость фильтрации,  $\text{м}/\text{с}$ ;  $l$  – толщина фильтрующей перегородки, м.

Так как удельная пропускная способность зависит от концентрации примесей, то сопротивление единицы поверхности фильтрующего материала может быть выражено через давление на входе и на выходе из фильтра

$$P_1 = \frac{V_1 \cdot \rho_m \cdot \sigma_1 \cdot \xi}{(1 - \sigma_1) \cdot S_\phi}, \quad (2.76)$$

$$P_2 = \frac{V_2 \cdot \rho_i \cdot \sigma_2 \cdot \xi}{(1 - \sigma_2) \cdot S_\phi}, \quad (2.77)$$

$$\Delta P = \frac{V_1 \cdot \rho_m \cdot \sigma_1 \cdot \xi}{(1 - \sigma_1) \cdot S_\phi} - \frac{V_2 \cdot \rho_m \cdot \sigma_2 \cdot \xi}{(1 - \sigma_2) \cdot S_\phi} = (V_1 - V_2) \cdot \frac{\rho_m \cdot \sigma_3 \cdot \xi}{S_\phi \cdot (1 - \sigma_3)}, \quad (2.78)$$

где  $V_1$  и  $V_2$  – объем масла, подаваемого на фильтрацию и вышедшего с фильтра, м<sup>3</sup>;  $\rho_m$  – плотность масла, кг/м<sup>3</sup>;  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  – концентрация примесей в масле до и после фильтрации, %;  $\xi$  – удельное сопротивление фильтра, МПа/м<sup>2</sup>;  $\sigma_3 = \sigma_1 - \sigma_2$  – примеси, задержанные фильтрующим материалом, %.

Введя значение гидравлического сопротивления в (2.75), получим

$$K = \frac{\gamma \cdot \nu_\phi \cdot l \cdot S_\phi \cdot (1 - \sigma_3)}{(V_1 - V_2) \cdot \rho_m \cdot \sigma_3 \cdot \xi}. \quad (2.79)$$

Таким образом, можно сделать заключение, что удельная пропускная способность фильтра будет зависеть от геометрических параметров фильтрующего материала, концентрации примесей в фильтруемом масле и объема фильтруемого масла.

## 2.2 Обоснование способа компаундирования

Многие товарные масла, выпускаемые нефтеперерабатывающими заводами, имеют высокую вязкость, намного превышающую вязкость трансмиссионного масла ТМ-3-18. Поэтому смешивание таких марок масел с очищенными отработанными моторными минеральными маслами в определенных пропорциях позволит получать масла необходимого качества, соответствующего товарным трансмиссионным маслам.

Способ компаундирования разработан для частичного восстановления основных физико-химических и эксплуатационных показателей масла путем смешивания (компаундирования) очищенного отработанного моторного масла с товарным маслом, имеющим завышенную в полтора раза кинематическую вязкость.

В результате проведенных анализов для основного продукта было выбрано масло марки МС-20П, имеющее кинематическую вязкость не ниже 19,5 мм<sup>2</sup>/с.

Для определения количества товарного масла, которое необходимо смешать с очищенным отработанным моторным минеральным маслом для получения заданной вязкости, составляют номограммы получения смесей масел с разной вязкостью при 100 °С.

Данный способ позволяет получать частично восстановленные масла, не уступающие по своим показателям товарному трансмиссионному маслу ТМ-3-18.

### **2.3 Критерии оценки эксплуатационных свойств отработанных моторных минеральных масел после очистки и частичного восстановления в условиях сельскохозяйственного потребителя**

Для оценки физико-химических и эксплуатационных свойств очищенного и частично восстановленного моторного масла и определения дальнейшего его использования применяются показатели, сгруппированные по основным свойствам: вязкостно-температурные; щелочное и кислотное число; противоизносные и противозадирные свойства; содержание нерастворимых примесей и воды (рис. 2.7).

Такая схема позволит более объективно производить комплексную оценку фактического состояния масла и с большей достоверностью определять дальнейшее его использование. Поэтому для более объективной и правильной оценки качества очищенного моторного масла необходимо

применять показатели, которые достаточно полно характеризовали бы эксплуатационные свойства: вязкостно-температурные, противоизносные и противозадирные, щелочное и кислотное число, содержание нерастворимых примесей и воды. Эти показатели имеют большое значение не только для контроля качества масла при проведении исследовательских работ, но и для оценки его свойств непосредственно в процессе эксплуатации и очистки [9, 73, 80].

Снижение щелочного числа масла и рост кислотного числа свидетельствуют о срабатываемости присадок, потери ими нейтрализующих свойств, что приводит к увеличению коррозионного износа и, как следствие, к увели-



Рисунок 2.7 – Схема оценки свойств и качества моторных масел

чению в масле нерастворимых примесей, прогрессирующему окислению самого масла и, соответственно, к изменению вязкостных показателей, а в совокупности к ухудшению противоизносных и противозадирных свойств. Эти

же показатели могут помочь в принятии решения об использовании очищенного моторного масла, определить степень его соответствия товарным маслам и установить их пригодность для использования в тех или иных узлах и агрегатах, а также установить срок их службы.

Очистка моторных масел является важнейшим резервом расширения его ресурса использования и общего сокращения его расхода. Установлено, что стабильность очищенных масел зависит только от степени старения масла, а не от применяемого способа очистки.

На основании изложенного необходимо разработать способ по восстановлению свойств отработанных моторных масел.

При оценке показателей масла необходимо изыскивать наиболее простые и доступные методы. Профессор И.П. Полканов [102] писал: «... несмотря на то, что в природе имеется большое количество явлений и процессов, можно найти и использовать общие принципы их построения и оценки» [103]. При этом необходимо учитывать те условия, в которых осуществляется его работа [78].

В последнее время большое внимание уделяется определению качества работающих минеральных масел, но до сих пор еще нет четко сформулированных показателей, по которым можно было бы определить пригодность очищенного моторного масла к работе и наработку его до отказа. Для этого необходимо разработать и правильно выбрать систему показателей, в основу которых должен быть положен принцип сравнения [103, 106]. Система оценочных показателей должна быть единой для всех сортов моторных масел. Все это позволит исключить субъективизм в оценке качества и использования очищенного моторного масла (рис. 2.8).

Таким образом, принимаем  $S_1$  – параметр изменения содержания нерастворимых примесей (твердых отложений и продуктов износа) и воды в масле,  $S_2$  – изменение вязкостно-температурных свойств,  $S_3$  – изменение противоизносных и противозадирных свойств.

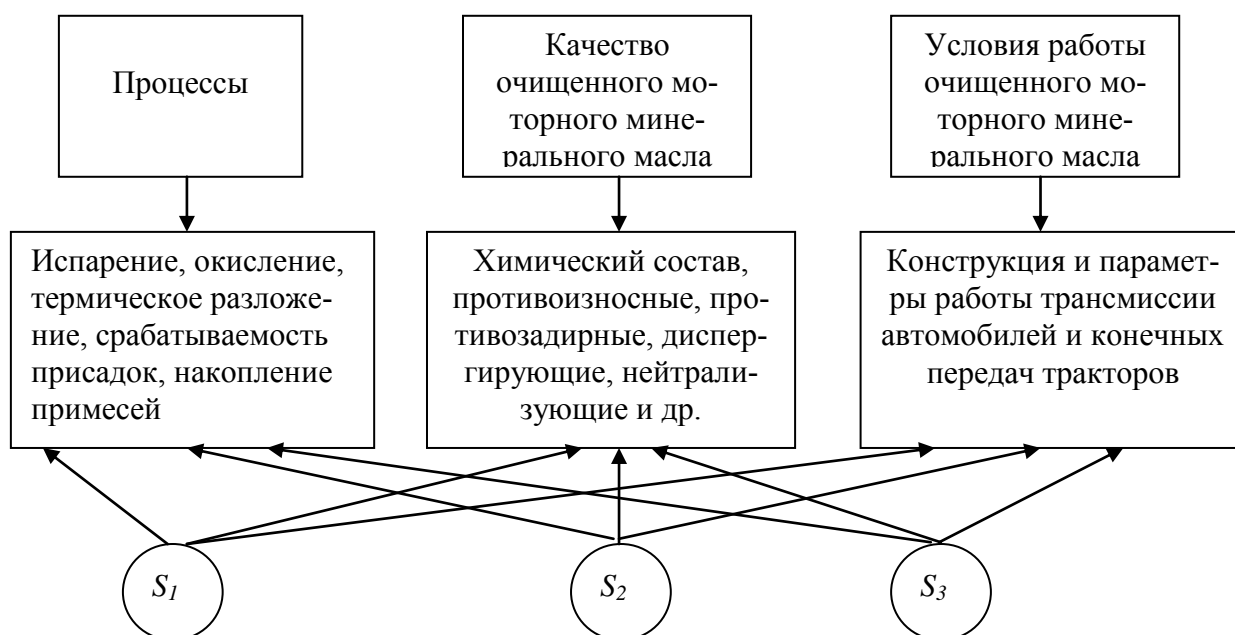


Рисунок 2.8 – Оценочные показатели работы очищенного моторного масла

Так, содержание нерастворимых примесей будет зависеть от наличия и эффективности диспергирующих свойств масла (качество масла) и процессов. Противоизносные свойства также будут зависеть от качества масла (наличия в нем присадок), режимов работы и конструкции агрегатов и узлов.

Выбранная система показателей позволит проводить оценку изменения качества очищенного моторного минерального масла для различных типов агрегатов и определять соответствует ли качество масла условиям работы, а также определить его браковочные показатели для смены на новое.

Эксплуатационные и физико-химические свойства масла можно оценивать совокупностью показателей, которые определяют его состояние в соответствующий промежуток времени. Система показателей должна базироваться на трех основных принципах: количественном, качественном и экономическом, и быть общей для всех применяемых очищенных моторных минеральных масел.

Для этого выбираются показатели, которые характеризуют основные свойства: 1 – кинематическая вязкость; 2 – температура вспышки; 3 – содержание нерастворимых примесей и воды; 4 – содержание продуктов износа (по железу); 5 – противоизносные и противозадирные свойства (диаметр пят-



на износа, предельное давление в контакте, давление сваривания, индекс задира). На основании этого получим систему показателей для оценки эксплуатационных свойств очищенного моторного минерального масла.

## **2.4 Обоснование конструктивных параметров модульной установки для очистки и частичного восстановления отработанных моторных минеральных масел от загрязнителей**

### **2.4.1 Обоснование конструктивных параметров нагревателя**

Для уменьшения вязкости и улучшения циркуляции отработанное масло необходимо нагреть до температуры 100...105 °С. Для этой цели удобнее всего использовать ТЭНы.

Для того чтобы оптимизировать энергетические показатели, необходимо произвести расчеты.

Расчетная мощность нагревательной установки определяется из теплового баланса процесса нагревания при установившемся режиме:

$$P_{расч} = P_{пол} + P_{пот}, \quad (2.80)$$

где  $P_{пол}$  – полезная мощность, кВт;  $P_{пот}$  – сумма потерь мощности в окружающую среду, кВт.

Полезная мощность определяется по формуле:

$$P_{пол} = \frac{m \cdot c_m \cdot (t_2 - t_1)}{3600 \cdot \tau} = \frac{V \cdot \rho \cdot c_m \cdot (t_2 - t_1)}{3600 \cdot \tau}, \quad (2.81)$$

где  $m = V \cdot \rho$  – масса масла, кг;  $V$  – объем масла (для нашего случая  $V=0,08 \text{ м}^3$ );  $\rho = 890...960 \text{ кг/м}^3$  – плотность масла [79];  $c_m = 1,87 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$  – удельная теплоемкость [33];  $t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{С}$  – начальная температура масла;  $t_2 = 105 \text{ }^\circ\text{С}$  – конечная температура;  $\tau = 1,5...2 \text{ ч}$  – время разогрева.

Таким образом, полезная мощность равна:

$$P_{пол} = \frac{0,08 \cdot 900 \cdot 1,87 \cdot (105 - 20)}{3600 \cdot 1,5} = 2,1 \text{ кВт}.$$

Одной из характеристик нагревателя является его удельная поверхностная мощность ( $Вт/м^2$ ) или удельная допустимая нагрузка:

$$W_{доп} = \frac{P_{пол}}{10 \cdot F_{акт}}, \quad (2.82)$$

где  $F_{акт}$  – активная поверхность нагревателя,  $м^2$ .

По расчетной мощности и допустимой удельной нагрузке определяется необходимая активная поверхность нагревателя:

$$F_{акт} = \frac{P_{расч}}{10 \cdot W_{доп}}, \quad (2.83)$$

где 
$$P_{расч} = \frac{P_{пол}}{\eta}, \quad (2.84)$$

Принять  $\eta = 90\%$ .

$$P_{расч} = \frac{2,1}{0,9} = 2,3 кВт.$$

$W_{доп} = 0,9 \dots 0,11$  Вт/ $м^2$  – удельная допустимая нагрузка [5].

Тогда: 
$$F_{акт} = \frac{2,3}{10 \cdot 1,0} = 0,23 м^2.$$

По расчетной мощности ТЭН, как нагреватель, был выбран, исходя из его пожаро- и электробезопасности [5].

Тип электронагревателя:	ТЭН – 08А
Номинальная мощность, кВт:	2,33
Номинальное напряжение, В:	220
Развернутая длина $l_p$ , м:	0,685
Наружный диаметр $d$ , мм:	13,5

Активная поверхность нагревателя  $F_1^{акт}$  (ТЭНа) определяется его геометрическими размерами:

$$F_1^{акт} = \pi \cdot d \cdot l_{акт}, \quad (2.85)$$

где  $d$  – диаметр нагревателя, м;  $l_{акт}$  – активная длина ТЭНа, м.

Активная длина ТЭНа приблизительно на 5% меньше развернутой длины:

$$l_{акт} = l_p \cdot (1 - 0,05), \quad (2.86)$$

Тогда:  $l_{акт} = 0,685 \cdot (1 - 0,05) = 0,65 м,$

$$F_1^{акт} = 3,14 \cdot 0,135 \cdot 0,65 = 0,27 м^2.$$

Исходя из этого, количество ТЭНов рассчитывается по формуле:

$$n = \frac{F_{акт}}{F_1^{акт}}, \quad (2.87)$$

$$n = \frac{0,23}{0,27} = 0,85 \approx 1 шт.$$

Принимаем ТЭН – 08А, мощностью  $P = 2,33$  кВт в количестве  $n = 1$  шт.

#### 2.4.2 Обоснование конструктивных параметров гидроциклона

Масло закачивается насосом и подается под давлением в верхнюю часть гидроциклона по касательной к стенке корпуса, вследствие этого потоку, опускающемуся по внутренней поверхности стенок, придается интенсивное вращательное движение. Частицы загрязнителей, плотность которых больше плотности масла, под действием центробежной силы перемещаются к стенкам вниз, а очищенное масло поднимается вдоль оси гидроциклона в выходной патрубков, образуя внутренний спиральный поток. Одновременно в гидроциклоне возникают радиальные и кольцевые циркуляционные потоки. Вдоль оси гидроциклона образуется область пониженного давления, вакуумная воронка, которая образует восходящий поток масла с внутренней стороны и способствует интенсификации очистки.

У гидроциклонов отсутствуют движущиеся части. Отвод воды и отложений осажденных из масла примесей происходят непрерывно [5, 23, 58, 68, 72, 91, Приложение Е1].

Производительность гидроциклона зависит от степени загрязненности масла, его вязкости и температуры. Скорость движения частиц в гидроциклоне намного меньше, чем в центрифугах, и мелкие частицы улавливаются с

недостаточной полнотой. Поэтому очистка моторного масла гидроциклоном является грубой очисткой. Производительность гидроциклона зависит от его конструкции, скорости подачи масла насосом.

Основной характеристикой гидроциклона является внутренний диаметр его корпуса  $D$ , который рассчитывают с учетом необходимой степени очистки масла:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_z}{\pi \cdot v_z}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,5}{3,14 \cdot 48}} = 0,1 \text{ м}, \quad (2.88)$$

где  $Q_z$  – производительность гидроциклона, м<sup>3</sup>/с;  $v_z$  – осевая скорость частицы, м/с.

Диаметр входного отверстия:

$$d_n = \frac{D}{5} = \frac{0,1}{5} = 0,02 \text{ м}. \quad (2.89)$$

Угол наклона входного патрубка в цилиндрическую часть гидроцикло-

на:

$$\varphi = \arctg \frac{\frac{d_n}{2}}{\pi \cdot D} = \arctg \frac{0,01}{3,14 \cdot 0,1} = 1,7 \text{ град}. \quad (2.90)$$

Для расчета диаметра выходного отверстия проведем расчет давления подачи масла в гидроциклон

$$P_o = \sqrt{\frac{Q_z}{12500 \cdot k \cdot \varphi \cdot d_n^2}} = \sqrt{\frac{1,2}{12500 \cdot 2,5 \cdot 0,6 \cdot 0,02^2}} = 0,4 \text{ МПа}$$

Тогда диаметр выходного отверстия

$$d_e = \frac{Q_z}{166 \cdot \sqrt{P_o} \cdot D} = \frac{1,2}{166 \cdot \sqrt{0,4} \cdot 0,1} = 0,036 \text{ м}. \quad (2.91)$$

Диаметр нижнего сливного отверстия

$$d_c = \frac{d_e}{1,4} = \frac{0,036}{1,4} = 0,025 \text{ м}. \quad (2.92)$$

На основании установленных параметров определим диаметр воздушного столба.

Коэффициент геометрии гидроциклона  $A_\psi$  определяется

$$A_{\psi} = \frac{0,314}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,75 \cdot 0,012^2 \cdot \left( 1 - \cos 5^{\circ} \cdot \frac{\sqrt{0,3^2 + 0,012^2}}{0,3} \right)} = 1012,9,$$

$$d_0 = 0,1 \cdot 1,2 \cdot \sqrt{\frac{1}{\frac{2 \cdot 0,4}{900 \cdot 4,2^2} + 1 + 1012,9^2 \cdot \left[ \cos^2 5^{\circ} \cdot \operatorname{tg}^4 5^{\circ} \cdot (1 + \operatorname{tg}^2 5^{\circ}) - 4 \cdot (1 - \cos 5^{\circ})^2 \right]}} = 0,017 \text{ м.}$$

Проведенные расчеты основных геометрических параметров гидроциклона позволят провести очистку отработанного минерального моторного масла с заданной крупностью отделяемых частиц загрязнений.

### 2.4.3 Обоснование конструктивных параметров центрифуг

Наиболее выгодной по затратам энергии является полнопоточная центрифуга от тракторного дизельного двигателя СМД-60.

Число оборотов ротора – 6000 мин<sup>-1</sup>; расход масла на привод ротора – 10,8 кг/мин.

Анализ последних исследований по очистке отработанных масел малогабаритными установками показывает, что оптимальные условия очистки частиц загрязнений и воды на центрифугах достигаются при числе оборотов ротора центрифуги в пределах 9000...15000 мин<sup>-1</sup> [10, 53]. Такие центрифуги позволяют более эффективно очищать отработанные масла от частиц загрязнения и воды.

Конструктивное увеличение числа оборотов ротора достигается путем изменения места подачи масла (выше или ниже по оси), уменьшением вязкости масла за счет повышения его температуры выше оптимально допустимого (95...105 °С), изменением плеча реактивного момента и увеличением расхода масла на работу центрифуги.

Из всех вариантов выбран последний, так как он наиболее эффективен по следующим соображениям. Принятая центрифуга является полнопоточной и в системе смазки двигателя основная масса очищенного масла идет в

главную магистраль, то есть на смазку подшипников, других узлов и механизмов и только 20 % расходуется на работу центрифуги.

Эффективность процесса центрифугирования в предлагаемой установке для очистки масел можно осуществить двумя методами:

– созданием дополнительного перепада давления за центрифугой в магистрали очищенного масла путем уменьшения его диаметра и, следовательно, увеличением расхода масла через реактивную форсунку;

– увеличением расхода масла через реактивную форсунку путем увеличения диаметра форсунки.

Как видно, в обоих случаях увеличение числа оборотов ротора достигается увеличением реактивного момента.

Перед модернизацией центрифуги были проведены сравнительные расчеты напряженности центробежного поля  $E$  в данной точке  $A$  существующей и модернизированной центрифуги, соответственно, при  $n = 6000 \text{ мин}^{-1}$  и  $n = 9000 \text{ мин}^{-1}$ .

Для этого воспользуемся формулой

$$E = \omega^2 \cdot r_p, \quad (2.93)$$

где  $\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$  – угловая скорость вращения поля,  $\text{с}^{-1}$ ;  $n$  – число оборотов системы,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $r_p$  – расстояние данной точки  $A$  от центра центробежного поля (ось вращения), м (рис. 2.9).

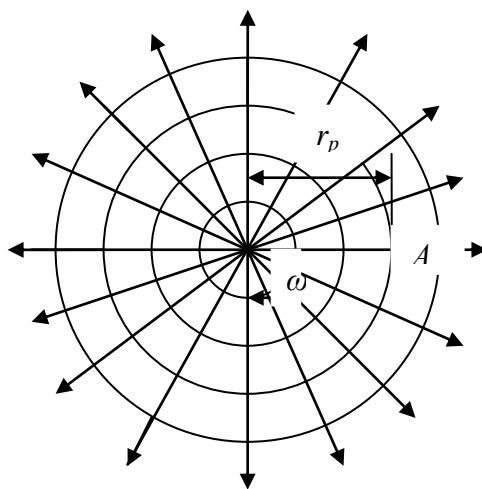


Рисунок 2.9 – Центробежные силовые линии

Принимая для данной центрифуги  $r_p = 0,05$  м, определим напряженность центробежного поля для первого и второго случаев

$$E_1 = \left( \frac{2\pi \cdot n}{30} \right) \cdot r_p = ((3,14 \cdot 6000) \cdot 2/30) \cdot 0,05 = 19,75 \cdot 10^3 \text{ м/с}^2,$$

$$E_2 = \left( \frac{2\pi \cdot n}{30} \right) \cdot r_p = ((3,14 \cdot 9000) \cdot 2/30) \cdot 0,05 = 45,09 \cdot 10^3 \text{ м/с}^2.$$

То есть напряженность центробежного поля должна быть увеличена в 2,28 раза.

Для достижения такой напряженности центробежного поля необходимо увеличивать реактивный момент ротора модернизируемой центрифуги за счет увеличения расхода масла на привод ротора.

Подсчитаем реактивный момент существующей центрифуги по следующей формуле:

$$M = \rho \cdot Q \cdot L \cdot \omega, \quad (2.94)$$

где  $Q$  – расход жидкости, м<sup>3</sup>/час;  $L$  – плечо реактивного момента, м;  $\omega$  – угловая скорость вращения центробежного поля, с<sup>-1</sup>;  $\rho$  – плотность масла, кг/м<sup>3</sup>.

Для определения реактивного момента модернизируемой центрифуги приравняем реактивные моменты центрифуг до ( $M_1$ ) и после модернизации ( $M_2$ ) с учетом увеличения напряженности во втором случае в 2,28 раза

$$2,28 \cdot M_1 = M_2, \quad (2.95)$$

или же в развернутом виде

$$\frac{2,28 \cdot \rho \cdot Q_1 \cdot L \cdot \pi \cdot n_1}{30} = \frac{\rho \cdot Q_2 \cdot L \cdot \pi \cdot n_2}{30}. \quad (2.96)$$

После упрощения формула (2.96) примет вид

$$2,28 \cdot Q_1 \cdot n_1 = Q_2 \cdot n_2. \quad (2.97)$$

Определим расход  $Q_2$

$$Q_2 = \frac{2,28 \cdot Q_1 \cdot n_1}{n_2}. \quad (2.98)$$

Подставив известные величины, получим:

$$Q_2 = (2,28 \cdot 10,8 \cdot 6000) / 9000 = 16,4 \text{ кг/мин}$$

Таким образом, для достижения числа оборотов, равного 9000 об/мин, необходимо иметь расход жидкости на привод центрифуги 16,4 кг/мин, что составляет 30,4 %. Увеличение расхода масла достигается увеличением диаметра форсунки и давления на входе в ротор центрифуги.

Для оценки эффективности очистки жидкости в центрифуге определим фактор разделения до и после модернизации по формуле:

$$F_p = \frac{\omega^2 \cdot r_p}{g}, \quad (2.99)$$

где  $\omega^2 \cdot r_p$  – напряженность центробежного поля, м/с<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Подставив известные величины, подсчитаем фактор разделения  $F_p$  центрифуги до и после модернизации

$$F_{p1} = 19,75 \cdot 10^3 / 9,8 = 2,01 \cdot 10^3,$$

$$F_{p2} = 45,09 \cdot 10^3 / 9,8 = 4,60 \cdot 10^3.$$

Следовательно, в центрифуге с оборотами ротора 6000 мин<sup>-1</sup> в точке, удаленной на расстоянии 0,05 м от центра вращения, центробежное ускорение превышает земное в 2010 раз, а при частоте вращения ротора 9000 мин<sup>-1</sup> – в 4600 раз, то есть увеличивается более чем в два раза. При таких условиях отработанные масла эффективно очищаются от загрязнений и воды.

Дальнейшее увеличение оборотов ротора по конструктивным соображениям, нецелесообразно из-за возможного разрушения деталей центрифуги.

#### **2.4.4 Обоснование конструктивных параметров магнитной очистки**

Для того, чтобы отделить частицу от потока масла, необходимо рассчитать магнитную силу  $F_m$ , которую нужно приложить к частице. Определим силы сопротивления притягиванию частицы к магниту из потока масла. Сила лобового гидравлического сопротивления частицы



$$F_d = 6 \cdot \pi \cdot \gamma \cdot r \cdot v_o = 6 \cdot 3,14 \cdot 0,000122 \cdot 0,00025 \cdot 0,2 = 0,1 \cdot 10^{-6} \text{ Н} \cdot \text{м}^2, \quad (2.100)$$

где  $\gamma$  – вязкость очищаемого масла, мм<sup>2</sup>/с;  $v_o$  – скорость потока масла при прохождении через магнит, м/с;  $r$  – радиус частицы, мм.

Сила тяжести, действующая на частицу в потоке масла

$$F_g = \rho \cdot g \cdot V = 1100 \cdot 9,8 \cdot 0,16 \cdot 10^{-10} = 0,17 \cdot 10^{-6} \text{ Н} \cdot \text{м}^2, \quad (2.101)$$

Из неравенства  $F_M \succ F_d + F_g,$  (2.102)

$$0,577 \cdot B_r^2 \cdot S \succ 0,1 \cdot 10^{-6} + 0,17 \cdot 10^{-6}. \quad (2.103)$$

Тогда площадь магнита

$$S = \frac{0,577 \cdot B_r^2 \cdot (F_d + F_g)}{1,2} = \frac{0,577 \cdot 770^2 \cdot 0,27 \cdot 10^{-6}}{1,2} = 0,076 \text{ м}^2. \quad (2.104)$$

Задавшись диаметром  $d = 0,14$  м, из формулы определения площади цилиндрической поверхности магнита, определим рабочую длину магнита  $l$

$$S = 2 \cdot \pi \cdot r^2 + 2 \cdot \pi \cdot r \cdot l. \quad (2.105)$$

$$l = \frac{S - 2 \cdot \pi \cdot r^2}{\pi \cdot r} = \frac{0,076 - 2 \cdot 3,14 \cdot 0,07^2}{3,14 \cdot 0,07} = 0,14 \text{ м}$$

Определим магнитную индукцию цилиндрического магнита с полученными геометрическими параметрами

$$B = \frac{770}{2} \cdot \left[ \frac{0,14 + 0,14}{\sqrt{0,14^2 + 0,14^2 + 0,14^2}} - \frac{0,14}{\sqrt{0,14^2 + 0,14^2}} \right] = 181 \text{ Тл}.$$

Таким образом, цилиндрический магнит соотношением диаметра и рабочей длины магнита 1:1 обеспечит полное удаление металлических продуктов износа из очищаемого масла.

## 2.4.5 Обоснование конструктивных параметров фильтра

Фильтрующая перегородка фильтров – это тело, содержащее поры. Поскольку одной из наиболее важной характеристик пористой среды является коэффициент пористости [2, 16, 17, 31, 50, 69, 82, 96, 139, приложение Ж1].

$$\varphi = \frac{V_n}{V} = \frac{72}{100} = 0,72, \quad (2.106)$$

где  $V_n$  и  $V$  – соответственно объем пор и объем пористого материала, %.

Для войлока диаметр каналов рассчитывают по следующей формуле:

$$d_\kappa = d_\epsilon \cdot \sqrt{\frac{\varphi}{1-\varphi}} = 0,000015 \cdot \sqrt{\frac{0,72}{1-0,72}} = 0,000022 \text{ м}, \quad (2.107)$$

где  $d_\epsilon$  – диаметр волокон, мм.

Другой важной геометрической характеристикой пористой среды является коэффициент удельной внутренней поверхности  $B_n$ :

$$B_n = 4 \cdot \frac{1-\varphi}{d_\epsilon} = 4 \cdot \frac{1-0,72}{0,000015} = 12727 \text{ м}^{-1}. \quad (2.108)$$

Определим объем фильтрующего материала

$$V_{nc} = \frac{S_\epsilon}{B_n} = \frac{24,8}{12727} = 0,0019 \text{ м}^3, \quad (2.109)$$

где  $S_\epsilon$  – внутренняя поверхность пористого материала, для войлока составляет 24,8 м<sup>2</sup>.

Для повышения эффективности фильтрации принимаем четырехслойный фильтрующий элемент с размерами: диаметром 0,3 м, толщиной – 0,007 м.

Так как удельная пропускная способность зависит от концентрации примесей, то сопротивление единицы поверхности фильтрующего материала может быть выражено через давление на входе и на выходе из фильтра. Поскольку масло на фильтрацию подается при атмосферном давлении  $P_1 = 0,1$  МПа, поэтому проведем расчет давления на выходе из фильтра

$$P_2 = \frac{80 \cdot 900 \cdot 0,0016 \cdot 0,08 \cdot 10^{-3}}{(1-0,0016) \cdot 24,8} = 0,01 \text{ МПа}$$

При этом увеличение гидравлического сопротивления составит

$$\Delta P = 0,1 - 0,01 = 0,09 \text{ МПа}.$$

Тогда удельная пропускная способность предлагаемого фильтрующего элемента

$$K = \frac{11,5 \cdot 0,1 \cdot 7 \cdot 4}{0,99} = 32,5 \text{ л/ч}.$$

Таким образом, при заданной концентрации нерастворимых примесей в отфильтрованном масле, предлагаемый фильтрующий элемент обеспечит необходимую пропускную способность.

### **Выводы**

1. Для очистки отработанных моторных минеральных масел разработана модульная установка с использованием гидроциклона, полнопоточных центрифуг, магнитного очистителя, фильтра.

2. Для очистки отработанных масел от воды и топливных фракций предложен метод выпаривания с последующей очисткой в гидроциклоне. Для удаления нерастворимых примесей и воды предложено использование центрифуг. Удаление продуктов износа осуществляется с помощью магнитного очистителя. Для удаления продуктов окисления – фильтрация масла.

3. Установлены теоретические зависимости процессов очистки отработанных моторных минеральных масел: изменение содержания воды и нерастворимых примесей – от времени отстоя и температуры нагрева при выпаривании; в гидроциклоне – от его конструктивных параметров и диаметра воздушного столба, зависящее от давления входного потока масла; в полнопоточных центрифугах – от конструктивных параметров и скорости осаждения. Выявлена зависимость геометрических параметров магнитного очистителя на отделение продуктов износа в масле. Установлено влияние гидравлических параметров в фильтре на удельную пропускную способность с заданным содержанием нерастворимых примесей в очищаемом масле. Предложены аналитические выражения для определения конструктивных параметров предлагаемых технических средств обеспечивающих максимальную очистку масла от загрязнителей.

### **3 МОДУЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ОЧИСТКИ И ЧАСТИЧНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОТРАБОТАННЫХ МОТОРНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ МАСЕЛ ОТ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ (НЕРАСТВОРИМЫХ ПРИМЕСЕЙ, ВОДЫ И ТОПЛИВНЫХ ФРАКЦИЙ)**

#### **3.1 Устройство и принцип работы составных частей модульной установки для очистки и частичного восстановления отработанного моторного минерального масла от нерастворимых примесей, воды и топливных фракций**

В процессе работы в двигателе моторное масло претерпевает целый ряд изменений, которые обусловлены тремя основными факторами:

- поступлением в масло продуктов износа деталей двигателя;
- накоплением в масле продуктов окисления и разложения углеводородов;
- попаданием и накапливанием в масле примесей из окружающей среды.

Это приводит к старению масла, потере им основных эксплуатационных свойств, выбраковке и отправке на очистку и восстановление.

Метод очистки и восстановления масла необходимо выбирать с учетом состояния отработанного масла. Выбор того или иного способа очистки и восстановления масла должен рассматриваться, исходя, прежде всего, из технико-экономической целесообразности. Проведенный анализ показывает, что все способы очистки и восстановления масла подчиняются общим закономерностям. По групповому углеводородному составу и физико-химическим свойствам очищенные и восстановленные масла должны соответствовать определенным эксплуатационным требованиям.

Все технические средства очистки и восстановления должны удовлетворять следующим требованиям: невысокая стоимость, технологичность конструкции, безотказность работы без обслуживания, высокая степень очистки, производительность и надежность, а также простота в эксплуатации.

Исходя из вышеперечисленных требований, выбран способ очистки и частичного восстановления моторных масел в условиях сельскохозяйственного предприятия. Предлагаемый метод включает в себя следующие операции:

- а) удаление воды и легких топливных фракций;
- б) удаление загрязняющих примесей и продуктов износа в силовом центробежном и магнитном полях;
- в) удаление смолистых соединений и продуктов разложения методом фильтрования;
- г) смешивание очищенного масла с минеральными добавками в виде товарных масел.

Так как в отработанном моторном масле содержится значительное количество воды и нерастворимых примесей, приходится пользоваться комбинированным способом очистки, представляющим собой сочетание центробежного, магнитного способа очистки и фильтрования.

Основными техническими средствами, используемыми в современных технологических процессах очистки масла, являются различного рода центрифуги и сепараторы. Использование центрифуг и сепараторов позволяет получать высокое качество очистки от механических примесей, если предварительно использовать гидроциклон, который очищает масло от крупных загрязняющих примесей. [47, 72, 95, 136, 142, 143, 146].

Технологический процесс очистки отработанного минерального моторного масла (рис. 3.1) включает в себя следующие операции: нагрев масла для удаления легких топливных фракций и воды; отстой, с целью удаления крупных механических примесей; очистку в гидроциклоне от крупных механических примесей; центрифугирование – для удаления взвешенных и тонкодисперсных механических примесей и продуктов разложения масла; магнитную очистку от металлических примесей и продуктов износа деталей двигателя; фильтрование – для удаления мелкодисперсных примесей, продуктов разложения и окисления отработанного моторного минерального мас-

ла; слив очищенного масла в резервуар для товарного масла; повторное использование отработанного моторного минерального масла без восстановления – в менее ответственных узлах и агрегатах; компаундирование отработанного моторного минерального масла с минеральными добавками в виде товарных масел и повторное его использование в трансмиссиях тракторов и автомобилей.

На каждом этапе отбирают пробы для контроля и корректировки процесса очистки отработанного моторного минерального масла [49, 118].



*Рисунок 3.1 – Технологическая схема очистки и частичного восстановления отработанных моторных минеральных масел*

По результатам анализа принимается решение о возможности дальнейшего применения очищенного отработанного моторного минерального масла. Без восстановления эксплуатационных свойств очищенное масло может быть использовано в неответственных узлах и системах сельскохозяйственных машин и механизмов (гидросистемы, открытые редукторы приводов и т.д.). Для улучшения эксплуатационных свойств очищенного масла возможно компаундирование его с минеральными добавками в виде товарных масел. В этом случае восстановленное отработанное моторное минеральное масло может быть использовано, в зависимости от значений частично восстановленных эксплуатационных показателей, как по прямому назначению, так и в трансмиссиях тракторов и автомобилей.

Преимуществом предлагаемой технологической схемы является то, что в зависимости от степени загрязненности отработанных масел, выбирается количество ступеней очистки или различная их комбинация и последовательность проведения очистки.

Предлагаемая модульная установка может быть установлена как в стационарных помещениях, так и на передвижных тележках или прицепах и использоваться для очистки и частичного восстановления отработанных моторных минеральных масел, различных марок при соблюдении соответствующих технологических режимов [46].

По предлагаемой технологической схеме изготовлена модульная установка, включающая в себя: гравитационное отстаивание, выпаривание топливных фракций, гидроциклонная очистка, центрифугирование, магнитная очистка, фильтрация; компаундирование.

Установка очистки и частичного восстановления масла состоит из: ёмкости для сбора очищаемого моторного масла – 1, 6, 9; ёмкости для отстоя и нагрева – 3; ёмкость для сбора грязного масла – 4; ТЭНа; шестерёнчатых насосов – 5; дроссельного расходомера типа ДР-70; гидроциклона – 2; полнопоточных масляных центрифуг – 7; магнитного очистителя – 8; вакуумного насоса – 10; фильтрующего элемента – 11; ёмкости для компаундирования (на рисунке не показан) (рис. 3.2).

Техническая характеристика установки для очистки и частичного восстановления моторного минерального масла (Приложение А):

1. Длина, мм	3500
2. Ширина, мм	900
3. Высота, мм	1800
4. Напряжение питающей сети, В	380
5. Частота, Гц	50
6. Обслуживающий персонал, чел.	1
7. Масса установки, кг	350

После всех ступеней очистки производится экспресс-анализ очищенного моторного масла, и даются рекомендации по дальнейшему использованию очищенного моторного минерального масла. Очищенные масла могут использоваться по двум направлениям: использование отработанных моторных минеральных масел без восстановления – в менее нагруженных узлах и агрегатах; использование отработанных моторных минеральных масел компаундированием с минеральными добавками в виде товарных масел и повторное использование в трансмиссиях тракторов и автомобилей или по прямому назначению в двигателях.



*Рисунок 3.2 – Установка для очистки и частичного восстановления отработанных моторных минеральных масел*

Предлагаемая установка отличается от существующих применением набора технических средств (гидроциклона, центрифуги, магнитного очистителя и фильтра), что позволяет получить необходимую степень очистки отработанного моторного минерального масла. А также простотой конструкции и высокой надёжностью.

Модульный принцип установки позволяет создать быстро переналаживаемый управляемый комплекс очистки масел, преимуществами которого являются не только многофункциональность, но и разнообразие технологических режимов, а также возможность вариации очистки от исходных пара-



метров очищаемого масла. Вторым существенным преимуществом является возможность дальнейшей модификации отдельных элементов и технических средств установки очистки (любой ступени), не затрагивая другие.

### 3.2 Технологический процесс очистки и частичного восстановления отработанных моторных минеральных масел от нерастворимых примесей, воды и топливных фракций

Отличительной особенностью предложенной технологической схемы является то, что используются различные способы очистки (рис. 3.3).

Модульная установка очистки и частичного восстановления отработанного моторного минерального масла работает следующим образом. Заранее приготовленное и отобранное по маркам моторное масло заливают в количестве 80 л в ёмкость для отстаивания 1 – это первая ступень очистки. После отстоя отработанное моторное масло с помощью центробежного насоса 2 подается в емкость 5, где масло нагревается ТЭНом 4 до температуры 100...105 °С.

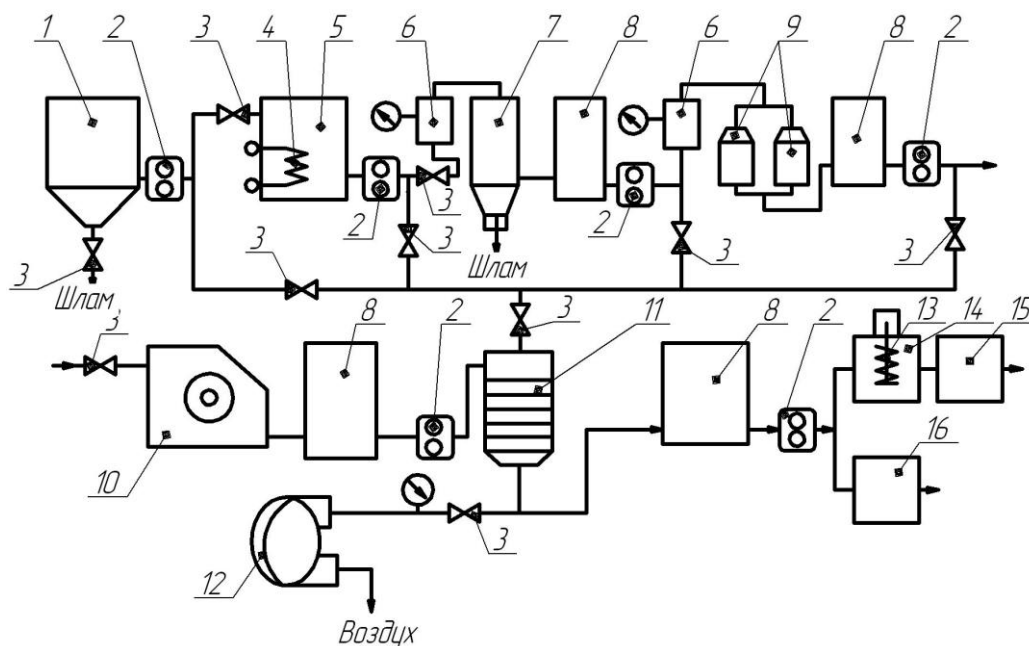


Рисунок 3.3 – Принципиальная схема установки для очистки и частичного восстановления отработанных моторных минеральных масел

При этой температуре происходит испарение воды и лёгких топливных фракций – вторая ступень очистки.

После нагревания моторное минеральное масло центробежным насосом 2, под давлением 0,4 МПа подаётся в гидроциклон 7 (рис.3.4, 3.5). В гидроциклоне 7 очищенное масло делится на две фракции. Первая фракция – очищенное масло, вторая – масло с нерастворимыми примесями. Очищенное масло собирается в ёмкости 8. Данный процесс является третьей ступенью очистки. На четвертой ступени очищаемое масло из ёмкости 8 с помощью центробежного насоса 2 под давлением 0,6 МПа, подаётся в параллельно соединённые полнопоточные масляные центрифуги 9 (рис. 3.6, 3.7). После центрифугирования очищаемое масло подается на пятую ступень очистки - магнитный очиститель 10 (рис. 3.8, 3.9) для удаления мелкодисперсных металлических продуктов износа. После магнитной очистки масло подаётся на фильтрацию (рис.3.10, 3.11), где под воздействием вакуума, создаваемого вакуумным насосом 12, производится его очистка в фильтрующем элементе 11 и поступает в ёмкость 8 – шестая ступень очистки.

После анализа очищенное моторное минеральное масло с помощью центробежного насоса 2 сливается в емкость 16 для использования без восстановления, либо в емкость 14 для компаундирования с частичным восстановлением эксплуатационных показателей масла. В емкости для компаундирования очищенное моторное минеральное масло смешивается с минеральной добавкой с помощью мешалки 13. После компаундирования частично восстановленное моторное минеральное масло сливается в емкость для готовой продукции 15.

После всех ступеней очистки и частичного восстановления проводится анализ очищенного моторного масла на содержание нерастворимых примесей (по нерастворимому осадку и содержанию железа в масле), кинематической вязкости, содержания воды и температуры вспышки, щелочное и кислотное число. По результатам анализа принимается решение о возможности его дальнейшего использования.



*Рисунок 3.4 – Гидроциклон*



*Рисунок 3.5 – Элементы гидроциклона*



*Рисунок 3.6 – Центрифуга*



*Рисунок 3.7 – Элементы центрифуги*



*Рисунок 3.8 – Магнитный очиститель*



*Рисунок 3.9 – Элементы магнитного очистителя*



*Рисунок 3.10 – Фильтр*



*Рисунок 3.11 – Элементы фильтра*

Предлагаемая модульная установка очистки моторного масла отличается от других тем, что позволяет производить очистку моторного масла последовательно в зависимости от степени его загрязненности. При этом очистку масла можно проводить с использованием одной, нескольких ступеней или всей установки в целом, а также варьировать последовательность очистки масла по ступеням.

## **Выводы**

1. Для очистки и частичного восстановления отработанных моторных минеральных масел разработана технологическая схема с использованием модульной установки. Технологический процесс очистки отработанного масла включает: нагрев отработанного моторного масла и отстой для удаления воды и топливных фракций; очистку в силовых полях; очистку от металлических примесей в магнитном поле; фильтрование для удаления мелкодисперсных примесей; слив в резервуар для очищенного масла. Без восстановления эксплуатационных свойств очищенное масло может быть использовано в ответственных узлах и системах сельскохозяйственных машин и механизмов (гидросистемы, открытые редукторы приводов и т.д.). Для улучшения эксплуатационных свойств очищенного масла используется компаундирование минеральными добавками в виде товарного масла. В этом случае восстановленное отработанное моторное минеральное масло может быть использовано, в зависимости от значений восстановленных эксплуатационных показателей, как по прямому назначению, так и в трансмиссиях тракторов и автомобилей.

2. Для очистки отработанных масел от нерастворимых примесей, воды легких топливных фракций предложена модульная установка, включающая в себя: отстойник, выпариватель, гидроциклон, полнопоточные центрифуги, магнитный очиститель, фильтр и емкость для компаундирования.

## **4 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

### **4.1 Обоснование и выбор объекта исследований**

Огромное количество тракторов, комбайнов и других машин, эксплуатируемых в сельском хозяйстве, требуют все возрастающего количества топливо-смазывающих материалов высокого качества, отвечающих требованиям мирового стандарта. Поэтому в настоящее время особое значение приобретает оценка качества применяемых моторных масел, работающих в эксплуатационных условиях.

Исследования процессов очистки проводим на отработанном моторном минеральном масле М-10Г<sub>2</sub>К (ГОСТ 17479.1-85), работавшем в двигателе СМД-62 трактора Т-150К (Приложение У1).

При сливе масла из двигателей в процессе технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственные предприятия имеют реальную возможность собирать и сдавать на регенерацию отработанные масла в количествах, предусмотренных действующими нормами сбора.

### **4.2 Структура экспериментальных исследований**

В данной работе исследования ведутся по следующим направлениям:

- изучение, обоснование и выбор эксплуатационных показателей моторного минерального масла;
- изучение, обоснование и разработка методов оценки состояния моторного масла;
- изучение, обоснование и разработка технических средств очистки отработанного моторного минерального масла.

В структуре одно положение вытекает из другого, что обеспечивает цельность и полноту охвата рассматриваемого вопроса (рис. 4.1).

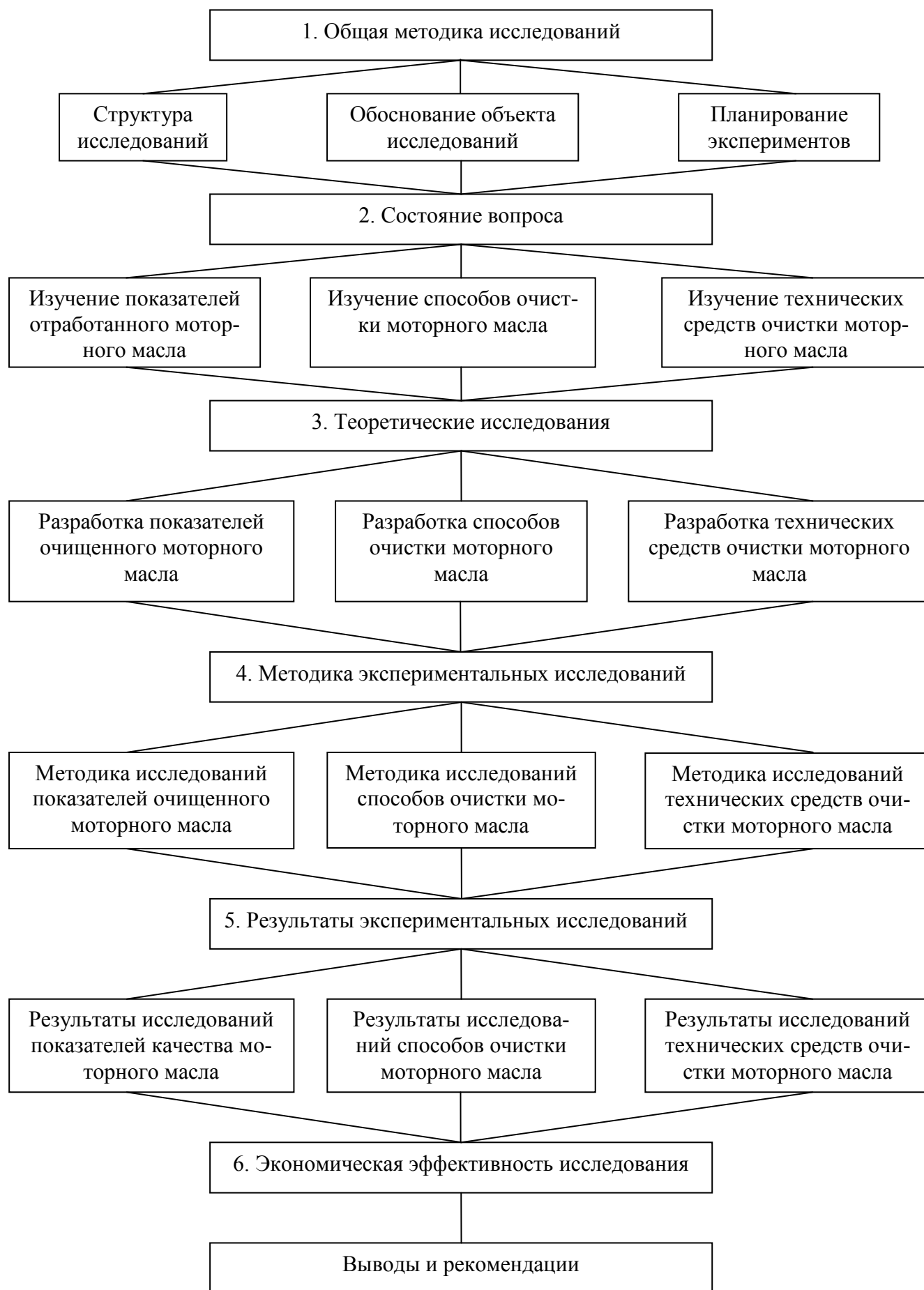


Рисунок 4.1 – Общая структурная схема исследований

Данная структура позволяет с достаточной точностью определять эффективность исследования и сохраняется во всей работе, начиная с общей методики исследований, изучении отечественного и зарубежного опыта по оценке, очистки и восстановлению отработанных минеральных моторных масел, теоретических исследованиях и в результате лабораторно-практических и эксплуатационных исследованиях.

### **4.3 Программа экспериментальных исследований**

На основе проведенного анализа и теоретических исследований были разработаны системы показателей и технических средств для частичного восстановления свойств отработанных моторных минеральных масел, позволяющих определить эффективность очистки и частичного восстановления эксплуатационных свойств масел, как в лабораторных, так и в производственных условиях.

В результате этих анализов и теоретических исследований целью экспериментальных исследований является проверка основных теоретических положений по вопросу очистки и частичного восстановления эксплуатационных свойств моторного масла. В настоящее время необходим комплекс мероприятий, который дает достаточно полную оценку эксплуатационных свойств моторного масла.

На основании поставленной цели решаются экспериментально следующие задачи:

1. Обосновать систему показателей для оценки эксплуатационных свойств отработанных моторных минеральных масел.
2. Обосновать способы очистки и частичного восстановления эксплуатационных свойств отработанных моторных минеральных масел.
3. Обосновать технические средства для очистки и частичного восстановления эксплуатационных свойств отработанных моторных минеральных масел.

4. Экспериментально обосновать систему показателей и технических средств для очистки и частичного восстановления эксплуатационных свойств и повторного их использования в эксплуатационных условиях в трансмиссиях автомобилей КамАЗ-55102 и конечных передачах тракторов Т-150К.

Для наиболее полного и последовательного изучения поставленных задач в основу экспериментальных исследований была положена программа, предусматривающая:

- выбор объекта исследования и условий для проведения экспериментов;
- определения количества опытов и выбор технических средств измерений;
- разработка методики лабораторных исследований;
- обработка результатов исследований.

#### **4.4 Выбор технических средств для проведения экспериментов**

Для определения эксплуатационных свойств отработанного моторного минерального масла применяются стандартные методы и средства измерения [53, 89, 97].

Для объективного определения состояния отработанного моторного минерального масла необходимы четкие требования к выбору методов и средств технического изучения [3, 10, 62, 140, 128], для выбора способа восстановления следует правильно подобрать оценочные показатели и соответствующие им приборы.

Технические средства должны быть простыми, универсальными и с необходимой точностью давать возможность прямого измерения, как в лабораторных, так и в производственных условиях.

Основными показателями, при помощи которых можно регулировать процесс частичного восстановления свойств отработанного моторного минерального масла, являются:

1. Кинематическая вязкость при 100 °С, мм<sup>2</sup>/с;
2. Содержание нерастворимых примесей, %



3. Содержание продуктов износа и металлов присадок, г;
4. Температура вспышки, °С;
5. Щелочное число, мг КОН/г;
6. Кислотное число, мг КОН/г;
7. Содержание воды, %;
8. Противоизносные и противозадирные свойства.

Классификация технических средств для оценки эксплуатационных свойств частично восстановленных отработанных моторных минеральных масел показана на рисунке 4.2.



*Рисунок 4.2 – Классификация технических средств для оценки эксплуатационных свойств отработанных моторных минеральных масел*

Показатели и средства измерений, используемые для контроля, соответствуют ГОСТ Р51634-2000 на исследование нефтепродуктов [122] (табл. 4.1).

Таблица 4.1 – Показатели оценки эксплуатационных свойств моторных минеральных масел

Показатели	ГОСТ, технические средства
Кинематическая вязкость масла, мм <sup>2</sup> /с	ГОСТ 33-2000
Содержание нерастворимых примесей, %	Центрифуга ЦЛН-2, весы ГОСТ 20684-75
Температура вспышки, °С	ГОСТ 4333-87
Содержание воды, %	ГОСТ 2477-65
Щелочное число, мг КОН/г	Иономер универсальный ЭВ-74 ГОСТ 11362-96
Кислотное число, мг КОН/г	
Содержание продуктов износа и металлов присадок, г	БАРС-3
Противоизносные и противозадирные свойства	СМТ-1, ЧМТ-1

#### 4.5 Методика лабораторных исследований

Для лабораторных исследований было взято 200 литров отработанного моторного минерального масла марки М-10Г<sub>2</sub>К. Масло собиралось в тщательно промытые емкости, имеющие завинчивающуюся пробку с резиновой прокладкой, в сухом прохладном месте, закрытом от прямого попадания солнечных лучей. Отработанное моторное масло, поступающее на очистку, предварительно должно быть подвергнуто анализу в соответствии с ГОСТ 2798-82. После этого очистка масла проводится на разработанной модульной установке.

##### 4.5.1 Подготовка модульной установки для очистки и частичного восстановления отработанных моторных минеральных масел

Для подготовки модульной установки по очистке и частичному восстановлению эксплуатационных свойств обслуживающие работники были пре-

дупреждены и проинструктированы о предстоящей работе. Перед исследованием необходимо провести следующие операции:

- установить сетчатые фильтры очистки масла на верхней части бака гидроциклона;
- установить фильтры тонкой очистки на вакуумном очистителе;
- проверить исправность и правильность показаний измерительных приборов на установке;
- проверить работу центрифуг и магнитного очистителя;
- промыть систему маслопроводов на работающей установке в течение 3...5 минут промывающей жидкостью;
- слить с установки смесь с обмытыми примесями;
- залить в бак установки для очистки масло, которое подлежит исследованию;
- подключить подогреватели и мешалку.

Перед началом работ по очистке отработанного моторного минерального масла проверялась работа всех ступеней на холостом ходу.

#### **4.5.2 Технологический процесс очистки и частичного восстановления отработанных моторных минеральных масел**

Перед началом работ по очистке масла проводится отбор проб и определяются физико-химические показатели отработанного моторного минерального масла.

После анализа масло сливается в емкость для гравитационного отстаивания. С целью установления оптимального времени отстаивания через каждые 3 часа проводится отбор проб для определения содержания воды и нерастворимых примесей. После достижения неизменных показателей включается система нагрева масла и проводится выпаривание воды и легких углеводородных топливных фракций с охлаждением паров и сбором в отдельной емкости.

После отбора проб и анализа на содержание воды и топливных фракций очищаемое масло подается на третью ступень очистки в гидроциклон. Давление входного потока масла в гидроциклон регулируется дроссель-расходомером ДР-70. При этом производится отбор пробы чистого потока масла и анализ на содержание нерастворимых примесей и воды.

Масло после гидроциклона подается на четвертую ступень – очистку в полнопоточные центрифуги. После центрифугирования масло подается на магнитный очиститель – пятую ступень очистки. С магнитного очистителя масло насосом подается в фильтр шестой ступени для удаления мелкодисперсных нерастворимых примесей. Профильтрованное масло сливается в емкость для очищенного масла. В процессе очистки отбираются пробы на каждой ступени и по результатам анализа основных показателей (содержание нерастворимых примесей, продуктов износа, кинематической вязкости, температуре вспышки) принимается решение о завершении процесса очистки на той или иной ступени или продолжении технологического цикла очистки.

Очищенное масло проверяется также по щелочному и кислотному числам. При их значениях ниже нормативных на 50 %, принимается решение о восстановлении их эксплуатационных свойств.

По результатам анализа принимается решение о дальнейшем использовании очищенного моторного минерального масла. Очищенное масло может использоваться по двум направлениям. Без восстановления эксплуатационных свойств очищенное масло может быть использовано в неответственных узлах и системах сельскохозяйственных машин и механизмов (гидросистемы тракторов и сельскохозяйственных машин, открытые редукторы приводов и т.д.). Для улучшения эксплуатационных свойств очищенного масла проводится компаундирование минеральными добавками в виде товарного масла. В этом случае восстановленное отработанное моторное минеральное масло может быть использовано, в зависимости от значений восстановленных эксплуатационных показателей, как по прямому назначению, так и в трансмиссиях тракторов и автомобилей.

### 4.5.3 Технологический процесс компаундирования очищенных отработанных моторных минеральных масел

Многие масла, выпускаемые нефтеперерабатывающими заводами, имеют высокую вязкость, превышающую значение вязкости отработанного моторного масла М-10Г<sub>2</sub>К. Поэтому смешивание таких марок масел с очищенными отработанными моторными минеральными маслами в определенных пропорциях позволит получать масла заданного качества, соответствующего товарным маслам. Такой метод называется компаундированием.

Данный способ разработан для частичного восстановления основных эксплуатационных показателей очищенного моторного минерального масла путем смешивания (компаундирования) его с товарным маслом, имеющим значительный потенциал по восстанавливаемым показателям.

В результате проведенных анализов для частичного восстановления очищенного моторного минерального масла была выбрана минеральная добавка в виде товарного масла марки МС-20П, имеющего кинематическую вязкость не ниже 19,5 мм<sup>2</sup>/с и щелочное число не менее 9 мг КОН/г (Приложение С1).

Экспериментальные исследования проводили путем ввода масла МС-20П в масло Д-10, являющимся базовым маслом при производстве моторных и трансмиссионных товарных масел, в количестве 1 % на объем масла с последующим определением кинематической вязкости и составлением номограммы изменения вязкости (рис. 4.3).

По полученным данным рассчитывали количество масла МС-20П, которое необходимо ввести в очищенное отработанное моторное минеральное масло для получения желаемой вязкости.

*Определение режимов ввода базового масла МС-20П.*

Исследования заключались в определении температуры ввода масла в очищенное моторное минеральное масло, а также времени перемешивания.

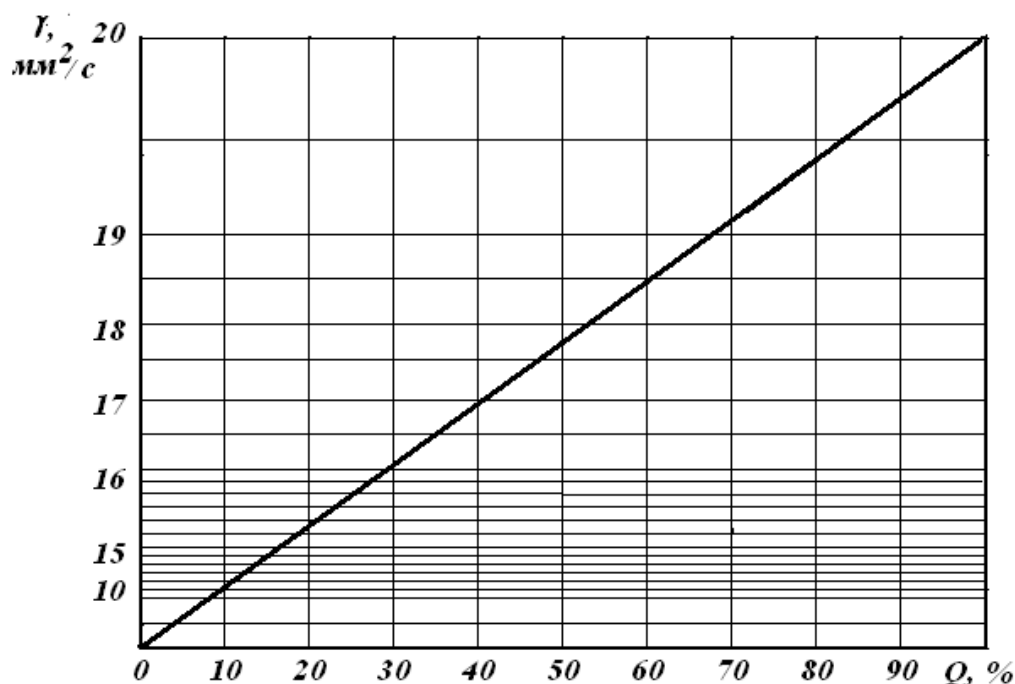


Рисунок 4.3 – Изменение кинематической вязкости ( $\gamma$ ) базового масла от количества ( $Q$ ) введенного масла МС-20П

Экспериментальные исследования проводили путем ввода минеральной добавки в виде масла МС-20П в очищенное моторное минеральное масло при различных температурах с определением основных показателей. По отклонениям экспериментальных значений (кинематической вязкости масла и его щелочного числа) от расчетных, определяли оптимальную температуру ввода.

Технологический процесс компаундирования осуществляется в следующей последовательности. По результатам анализа кинематической вязкости очищенного моторного минерального масла с использованием номограммы смесей определяется количество минеральной добавки, которое необходимо добавить в очищенное масло.

После этого минеральная добавка в виде товарного масла вводится в очищенное моторное минеральное масло при постоянном перемешивании. При этом температура очищенного моторного минерального масла должна быть такой, чтобы обеспечить наилучшее смешивание с минеральной добав-

кой. В процессе перемешивания производится отбор проб масла с интервалом 1 ч и их анализ с целью определения показателей и продолжительности цикла компаундирования.

После завершения цикла частичного восстановления проводится комплексный анализ масла и принимается решение о его использовании в авто-тракторных трансмиссиях.

#### 4.5.4 Отбор и подготовка проб масла для анализа

Для анализа частично восстановленного моторного минерального масла отбирают пробы. Для отбора проб бутылки предварительно промывались бензином Б-70 и обрабатывались на ультразвуковой установке УЗУ-01. После промывки бутылки переворачивались для истечения из них бензина. Затем они высушивались в сушильном шкафу в течение одного часа при температуре  $110 \pm 5$  °С до полного испарения бензина и влаги. После этого бутылки плотно закрывались пробками и не вскрывались до момента взятия соответствующей пробы. Бутылки для хранения взятых проб должны быть из темного стекла с тщательно притертыми пробками с требованием ГОСТ 2517-82 [89].

В момент взятия пробы масло должно иметь максимальную температуру -  $95...105$  °С и перемешано в баке установки.



*Рисунок 4.4 – Отбор проб масла*

После взятия пробы с помощью шприца ЖАНЭ (рис. 4.4) на бутылку

наклеивалась этикетка с надписью марки масла, порядкового номера пробы, момента взятия пробы и даты взятия их.

#### 4.5.5 Лабораторный анализ проб масла

Для оценки свойств масла необходимо контролировать его состояние. Лабораторный анализ проб проводился по показателям, предусмотренным методикой эксплуатационных исследований на приборах, рекомендуемым государственным стандартом.

*Определение кинематической вязкости.*

Кинематическую вязкость моторного масла определяли не менее трех раз при температуре 100 °С по ГОСТ 33-2000 (рис. 4.5). При этом принимались только те отсчеты, которые отличались от среднего арифметического не более чем на  $\pm 0,5$  %. Время истечения масла через вискозиметр замерялось по секундомеру.



*Рисунок 4.5 – Термостат для определения кинематической вязкости масла*

Общая предельная ошибка в измерении продолжительности опыта равна  $\pm 0,2$  секунды, относительная ошибка  $\pm 0,4$  %.

*Определение температуры вспышки.*

Температура вспышки  $t_{вс}$  определяется в приборе с открытым тиглем по ГОСТ 4333-87 (рис. 4.6).



Когда температура масла приблизится к ожидаемой, над поверхностью масла, на расстоянии 10...14 мм, проводят зажигательное приспособление, дающее язычок пламени в 3...4 мм.



*Рисунок 4.6 – Аппарат для определения температуры вспышки*

Температура вспышки качественно характеризуется присутствием в масле наиболее легких топливных фракций, т.е пожарную опасность.

*Определение щелочного и кислотного числа.*

Анализ проводили согласно ГОСТ 11362-96 с помощью универсального иономера ЭВ-74 (рис. 4.7).



*Рисунок 4.7 – Иономер универсальный ЭВ-74*

Метод заключается в потенциометрическом титровании раствора исследуемого продукта едким кали или соляной кислотой. Титрование ведётся или до значения потенциалов, установленных по буферным растворам, или до скачка потенциала.

За общее кислотное число принимали количество едкого кали, израсходованного на титрование раствора 1 г исследуемого продукта до получения значения потенциала, установленного для щелочного буферного раствора или до скачка потенциала.

За общее щелочное число принимали количество едкого кали, эквивалентное количеству соляной кислоты, израсходованному на титрование раствора 1 г испытуемого продукта до получения значения потенциала, установленного для кислотного буферного раствора или до скачка потенциала.

*Определение содержания нерастворимых примесей (ГОСТ 20684-75).*

В пробирку помещают массу исследуемого масла в количестве от 2 до 10 г в зависимости от вместимости пробирки. Пробирки с маслом взвешивают с погрешностью не более 0,01 г. Масло в пробирке растворяют в растворе, состоящем из 98 % нетролейного эфира или бензина «Галоша», 1 % – бутилдиэтиламина и 1 % изопропилового спирта. Растворитель в миллилитрах берется в 10 кратном соотношении к массе масла. Пробирку вместе с раствором устанавливают в центрифугу и центрифугируют в течение 1 часа (рис. 4.8).



*Рисунок 4.8 – Аппарат для определения нерастворимых примесей*

Раствор масла по окончании центрифугирования декантируют. Затем вновь центрифугируют 20 минут. Пробирки с осадком после последней промывки и декантации высушивают в сушильном шкафу.

Массовую долю нерастворимого осадка в отработанных маслах ( $X$ ) в процентах вычисляют по формуле:

$$X = \frac{(m_2 - m_1)}{m} \cdot 100, \quad (4.1)$$

где  $m$  – масса отработанного масла, взятая для исследования, г;  $m_1$  – масса пробирки, г;  $m_2$  – масса с осадком, г

*Определение содержания воды.*

Содержание воды определяется на аппарате (рис. 4.9) по ГОСТ 2477-65 методом выпаривания, смешанной в объеме с легким бензином, по количест-



*Рисунок 4.9 – Аппарат для определения содержания воды*

ву осевшей в ловушке жидкости определяли процентное содержание воды в масле.

*Противоизносные и противозадирные свойства.*

Трибологические исследования проводили на четырехшариковой машине трения ЧМТ-1 (рис. 4.10 а), а для определения критических нагрузок задира – на роликовой машине трения СМТ-1 (рис. 4.10 б).

Принцип действия машины трения ЧМТ-1 основан на воспроизведении нормированных воздействий на исследуемые образцы, находящиеся в исследуемом смазочном материале, с последующим определением величины износа исследуемых образцов.



*а*



*б*

*Рисунок 4.10 – Машины трения: а – ЧМТ-1; б – СМТ-1*

В качестве исследуемых образцов использовали шарики диаметром  $12,70 \pm 0,01$  мм по ГОСТ 3722-81 из стали ШХ-15 по ГОСТ 801-78, которые образуют пирамидку из четырех шариков, контактирующих между собой. Три нижних шарика закрепляли неподвижно в узле трения машины, в котором размещали исследуемое масло. Длительность испытаний – 60 мин. Требуемое значение осевых нагрузок задавали путем установки гиредержателя с необходимым набором гирь в положение, определяемое индексом на рычаге.

Величину износа исследуемых образцов определяли путем измерения диаметров износа каждого из трех нижних шариков с помощью микроскопа с увеличением не менее 24, снабженного отсчетной шкалой с ценой деления 0,01 мм.

Исследования на машине трения СМТ-1 проводили на образцах, имеющих форму дисков, при частоте вращения нижнего ролика  $8,4 \text{ с}^{-1}$ . Масло в зону трения подавалось из ванночки вращающимся нижним образцом. Нагружение трибоузла производили ступенчато возрастающей нагрузкой с 1 МПа до 8 МПа с шагом нагружения 1 МПа. На каждой ступени нагрузки определяли величину износа лунки, коэффициент трения и предельную удельную нагрузку, характеризующие, соответственно, противоизносные, антифрикционные и антизадирные свойства.

### *Содержание продуктов износа и металлов присадок.*

Содержание продуктов износа и металлов активных присадок в исследуемых маслах определяли с помощью бездифракционного анализатора рентгеновского спектрального БАРС-3 (рис.4.11) [27].



*Рисунок 4.11 – Прибор БАРС-3*

Для подготовки проб исследуемых масел к анализу на определение примесей по каналу *Fe* прибора БАРС-3 производили высадку проверяемой пробы на фильтрующий элемент, с которого предварительно снимали количество выдаваемых импульсов (количество импульсов фона). Высадку производили на фильтр «Красная лента» диаметром 30 мм. Затем фильтр с высаженной пробой помещали в сушильный шкаф и при температуре 115 °С оставляли на 30 минут для высушивания примесей. После этого фильтр с высаженной пробой помещали в прибор и снимали импульсы пробы масла по каналу *Fe*.

Количество импульсов нерастворимых примесей по каналу *Fe* рассчитывали по формуле:

$$C_{np} = C_{nm} - C_f, \quad (4.2)$$

где  $C_{nm}$  – количество импульсов пробы масла;  $C_f$  – количество импульсов фильтра.

Для определения содержания активных металлов присадки провели тарировку прибора по приготовленным образцам масел с известным содержанием металлов  $Ba$ .

Тарировку прибора БАРС-3 осуществляли путем введения в базовое масло ДС-11 компонентов соли циклогексанмасляной кислоты бариевой  $C_{20}H_{34}BaO_4$  в строго дозированных количествах в процентном соотношении. После этого по разработанной методике снимали импульсы по каналам  $Ba$ , причем выполняли не менее двенадцати замеров по каждой пробе.

Снятие импульсов по каналу  $Ba$  для определения содержания активных присадок в масле проводилось аналогично снятию импульсов нерастворимых примесей.

$$C_{нрм} = C_m - C_f, \quad (4.3)$$

где  $C_{нрм}$  – количество импульсов определяемого металла ( $Ba$ );  $C_m$  – количество импульсов пробы масла.

#### **4.5.6 Экспресс-метод определения наличия в отработанном моторном минеральном масле топливных фракций**

В настоящее время в агропромышленном производстве принята плано-предупредительная система технического обслуживания машин и оборудования, в соответствии с которой моторные масла заменяют через определённое время. Однако в процессе эксплуатации тракторов и машин значения основных показателей моторного масла к моменту замены, установленному правилами технического обслуживания, могут достичь предельного состояния или остаться в допустимых пределах. Поэтому необходимо установить индивидуальные сроки замены моторного масла. Для решения этой задачи необходимо внедрять в повседневную практику эффективные, доступные для широкого применения методы и средства контроля состояния работавшего масла в эксплуатационных условиях.

В процессе работы помимо нерастворимых примесей и воды в моторное масло поступают топливные фракции. В результате чего моторные масла разжижаются и теряются смазывающие свойства. С целью определения топливных фракций в моторном масле был разработан экспресс-метод определения наличия и процентного содержания в отработанном моторном минеральном масле легких топливных фракций.

Для предварительной оценки процентного содержания топлива в моторном масле М-8 В<sub>1</sub> и М-10 Г<sub>2</sub>К использован косвенный метод предварительного определения температуры вспышки масла с последующим построением тарировочного графика [121].

График построен экспериментальным путём при составлении смесей «свежее масло М-8 В<sub>1</sub> – бензин А-76» и «свежее масло М-10 Г<sub>2</sub>К – дизельное топливо» с концентрацией 0; 2,5; 5,0; 7,5; 10 % (табл. 4.2)

Таблица 4.2 - Содержание топлива (%) от температуры вспышки масла

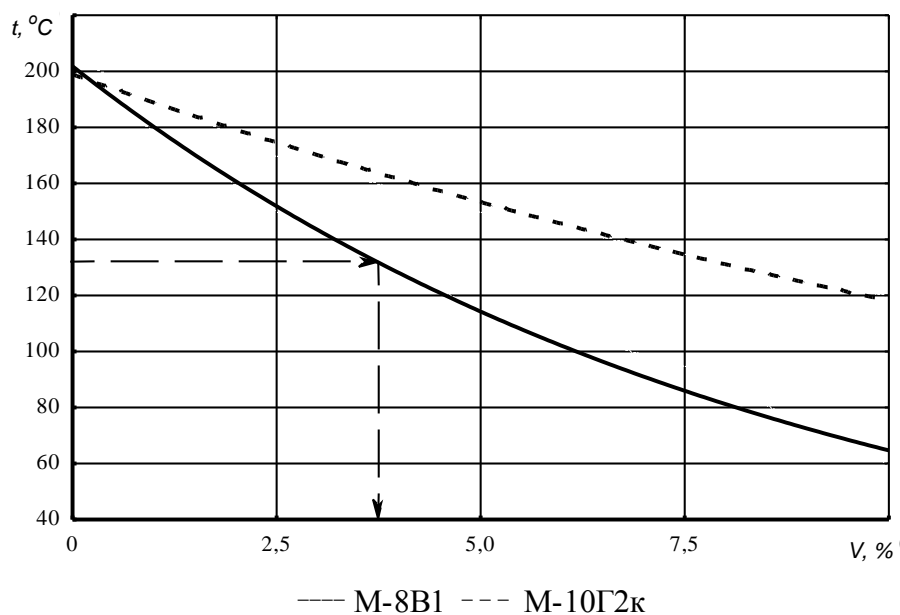
Содержание топлива, %		0	2,5	5,0	7,5	10
Температура вспышки, °С	М-8В <sub>1</sub>	198	150	115	95	60
	М-10Г <sub>2</sub> К	205	170	150	135	120

Определение температуры вспышки масла проводилось в соответствии с ГОСТ 4333-87 [89].

График зависимости содержания топлива от температуры вспышки масла представлен на рисунке 4.12.

Зависимость между температурой вспышки и количеством содержащихся в моторном масле легких топливных фракций является гиперболической и выражается функцией  $V=f(t^{\circ}C)$ , а полученная кривая принимается за эталонный график. Эта кривая отражает взаимосвязь между температурой вспышки и количеством топлива.

Зная температуру вспышки масла и, двигаясь по стрелке на графике (рис. 4.12), можно определить процентное содержание углеводородного топлива в моторном масле.



*Рисунок 4.12 – График зависимости содержания бензина А-76 и дизельного топлива в масле от температуры вспышки*

Имея тарировочный график и, зная величину температуры вспышки, можно с достаточной точностью определить наличие топлива в моторном масле М-8 В<sub>1</sub> двигателя ЗИЛ-130 и М-10 Г<sub>2</sub>К в двигателе СМД-62.

#### **4.6 Методика исследований в производственных условиях**

После проведения лабораторных исследований были проведены производственные исследования для подтверждения эксплуатационных свойств частично восстановленных моторных масел в условиях рядовой эксплуатации в трансмиссиях автомобилей и конечных передачах тракторов.

Данный этап предусматривал исследования разрабатываемого способа очистки отработанных моторных масел в производственных условиях и подтверждения разработанных положений о возможности очистки и частичного восстановления эксплуатационных свойств отработанных моторных минеральных масел в условиях производственного предприятия.



С этой целью на базе предприятия ООО «Симол» была смонтирована установка по очистке отработанных моторных масел производительностью 800 л в смену (рис. 4.14, 4.15, приложение К1, М1), включающая в себя оборудование, разработанное, согласно исследуемого способа очистки, и состоящая из резервуара для слива отработанных моторных масел 1; гравитационного отстойника 2; электропечи, мощностью 30 кВт, объёмом 200 л 3; гидроциклона, изготовленного по уточненным нами расчетам 4; ёмкости для слива грязного масла с нижнего патрубка гидроциклона 1; ёмкости для слива чистого масла с верхнего патрубка гидроциклона 5 с установленным в нижней части фильтром тонкой очистки 6; центрифуги 7; магнитного очистителя 8, насосов НШ-32У и Ш-4,5-3.



*Рисунок 4.14 – Производственная установка очистки отработанных моторных минеральных масел*

Восстановление очищенного моторного минерального масла до необходимой кинематической вязкости и щелочного числа осуществлялось на установке компаундирования (рис.4.15).



Рисунок 4.15 – Производственная установка компаундирования очищенного моторного масла с маслом МС-20П:  
 1 – емкость для масла МС-20П; 2 – насос НШ-32У для подачи масла МС-20П; 3 – емкость для компаундирования; 4 – мотор-редуктор с мешалкой

Производственная установка и технологическое оборудование очистки отработанного моторного масла изготовлена в соответствии с предлагаемой технологической схемой очистки и частичного восстановления отработанного моторного минерального масла (рис 4.16).

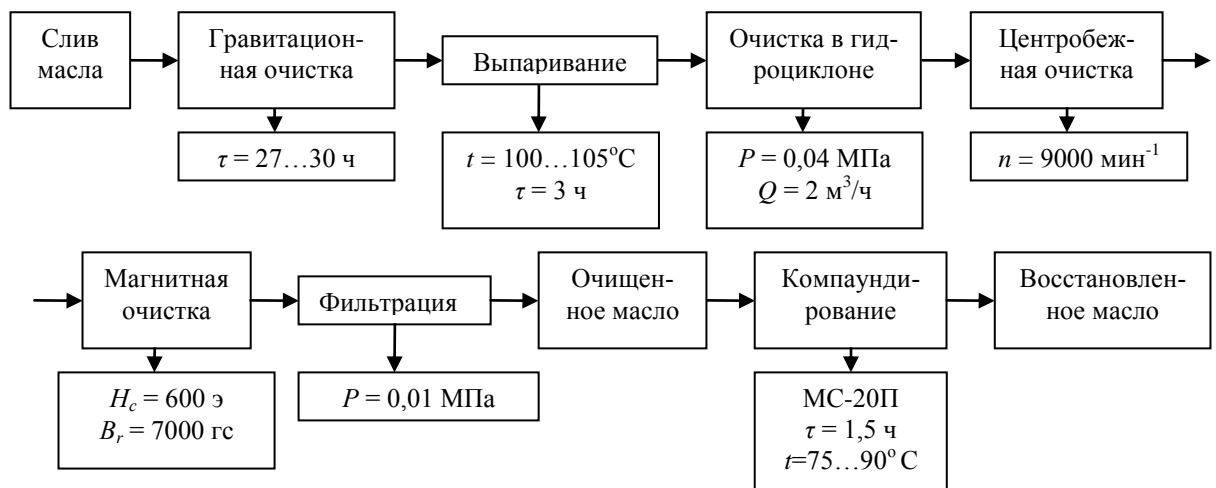


Рисунок 4.16 – Технологическая схема очистки и частичного восстановления отработанных моторных минеральных масел

## 4.7 Выбор условий эксперимента

При выборе условий проведения эксперимента исходили из следующих положений:

- идентичность использования и обслуживания тракторов и автомобилей;
- типичность выполняемого объема работ.

Эксплуатационные исследования проводились на тракторах Т-150К и автомобилях КамАЗ-55102, принадлежащих ООО «Ирбис» (Приложение Л1).

Три трактора Т-150К и три автомобиля КамАЗ-55102 были взяты из рядовой эксплуатации без специального подбора деталей и узлов. Такое количество обеспечивает желаемую степень достоверности эксплуатационных результатов. Режимы исследований были поставлены в реальных условиях. Подготовка исследуемого частично восстановленного масла и отбор проб осуществлялось непосредственно на рабочих местах.

Из трансмиссии автомобилей и конечных передач тракторов исследуемых машин отбирали пробы работающего масла для анализа и столько же доливали идентичного частично восстановленного масла.

Общий пробег трех автомобилей за время исследований составил 88812 км или в среднем по 29604 км на один автомобиль. Нарботка трех тракторов составила 2940 мото-ч или в среднем по 980 мото-ч на один трактор.

## 4.8 Рекомендации по вторичному использованию отработанных моторных минеральных масел в автотракторных трансмиссиях

Перед началом исследований, после проведения очередного технического обслуживания, на каждом автомобиле и тракторе необходимо произвести следующие операции:

- слить имеющееся масло из картеров ведущих мостов;

- промыть трансмиссию на холостом ходу промывочным маслом в течение 15 мин;
- слить из картеров ведущих мостов промывочное масло с обмытыми примесями (данные операции повторяются до тех пор, пока с картеров не будет сливаться прозрачное промывочное масло);
- промыть трансмиссию в течение 15 мин маслами, которые будут подлежать исследованию;
- слить масла из картеров до полного их истечения;
- залить исследуемые масла в трансмиссию.

После замера уровня масла по маслоуказательному щупу автомобиля и трактора пускались в эксплуатацию.

Во время исследований велся контроль пробега автомобиля, наработка тракторов, отбора проб и количеством доливаемого масла. Все результаты наблюдений регистрировались в журнале. За время исследований поломок и нарушений в работе трансмиссии по вине частично восстановленного моторного масла не наблюдалось.

#### **4.9 Методика обработки результатов**

Для подтверждения правильности выбранных показателей оценки качества масла использовалось априорное ранжирование факторов. Исследователям, принадлежащим к различным школам, предлагалось расположить факторы (кинематическая вязкость, щелочное и кислотное числа, содержание нерастворимых примесей, содержание продуктов износа, температура вспышки и т.д.), действующие на объект, в порядке убывания величины вносимого ими вклада или влияния на критерий оптимизации, то есть необходимо проранжировать  $n$  потенциально возможных факторов, приписав им порядковые номера (ранги) 1, 2, 3, ...,  $n$  [115].

По результатам опроса вычисляется коэффициент конкордации  $W$  (согласия), определяющий степень согласованности мнений специалистов, по

формуле:

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n)}, \quad (4.4)$$

где  $S$  – сумма квадратов отклонений;  $m$  – число опрашиваемых специалистов;  $n$  – число факторов

Сумма квадратов отклонений вычисляется:

$$S = \sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^m a_{ij} - L)^2, \quad (4.5)$$

где  $a$  – ранг (порядковый номер при опросе  $i$ -го фактора у  $j$ -го специалиста);  $L$  – среднее значение сумм рангов по каждому фактору

$$L = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij}}{n}. \quad (4.6)$$

Значение коэффициента конкордации изменяется в интервале от 0 до 1, и чем больше его значение, тем больше согласованность мнений у специалистов.

Вычисление коэффициента конкордации удобнее проводить, составив матрицу результатов опроса в виде алгоритма (табл. 4.3).

Любой результат измерения при наблюдении содержит ряд ошибок различного происхождения. Ошибки принято делить на систематические, случайные и грубые. Каждый параметр анализируемой пробы масла вычисляется как среднее арифметическое из результатов двух-четырёх параллельных определений.

Таблица 4.3 – Матрица результатов опроса

Специалисты	Факторы				
	$A_1$	$A_2$	$A_3$	...	$A_n$
Первый	$A_{11}$	$A_{21}$	$A_{31}$		
Второй	$A_{12}$	$A_{22}$	$A_{32}$		
Третий	$A_{13}$	$A_{23}$	$A_{33}$		
....		..	.		
....		.	.		
$m$ -й		.	.		

Определение вязкости масла проводилось не менее четырех раз. При этом принимались только те отсчеты, которые отличались от среднего арифметического не более чем на  $\pm 0,5$  %. Время истечения масла через вискозиметр замерялось по секундомеру. Предельная ошибка при этом складывается из несистематической инструментальной ошибки и ошибки вследствие несвоевременного включения и выключения секундомера. Предельная ошибка секундомера составляет, по данным проверки,  $\pm 0,2$  %, или в абсолютном значении  $\pm 0,2$  с. Общая предельная ошибка в измерении продолжительности опыта равна  $\pm 0,4$  с. Относительная ошибка равна  $\pm 0,4$  %.

Все пробы на нерастворимые примеси взвешивали на аналитических весах ВЛА-2000 с точностью 0,0002 г. Содержание нерастворимого осадка определялось с точностью до 0,001 %. Расхождение между параллельными определениями не превышало 0,002 %.

Расход присадки по содержанию активных металлов определялся с точностью до 0,001 %. Расхождение между параллельными определениями не превышало 0,002 %.

Щелочное и кислотное числа масла определялись с точностью 0,01 мг КОН/г. Расхождение между параллельными измерениями не превышало 0,05 мг. Величина *pH* определялась на лабораторном ионметре. В каждом из диапазонов прибор дает допустимую погрешность (1 % от диапазона измерения), равную  $\pm 1$  %. В полном диапазоне измерений погрешность измерений равняется  $\pm 2,5$  %, т.е. ошибки измерений при проверке по 5-ти стандартным буферным растворам не превышают 0,04 *pH* на всех диапазонах измерений в 4,0 единицы *pH* и 0,40 на диапазоне – 3...15 *pH*. Измерение ЭДС электрической схемы должно соответствовать допустимой основной погрешности соответственно для 0,04 *pH*  $\pm 2,5$  мВ и для 0,40 *pH*  $\pm 23$  мВ.

Определение погрешностей остальных величин выполнялось в соответствии с нормами, установленными Государственным стандартом. Действия с приближенными числами производились по правилам, изложенным в

соответствующих разделах математики с применением метода наименьших квадратов [73, 89].

Методом корреляционного анализа в данных исследованиях были найдены основные зависимости между показателями качества моторного масла и пробегом автомобилей.

Все расчеты корреляционного анализа проведены на ЭВМ по разработанной программе парной и множественной корреляции. В машину закладывались числа членов в выборке (число пар сопоставимых значений признаков)  $N$ , значения признаков – факторов, т.е. значения независимых переменных  $x[N]$ , а также закладывались значения корреляции с фактором признака или зависимые переменные  $y[N]$  [21, 36, 59].

При математической обработке результатов измерений определялись следующие статистические показатели:

Среднее арифметическое значение измеряемой величины

$$\eta_l = \frac{t_{cp} \cdot n_i}{N}, \quad (4.7)$$

где  $t_{cp}$  – среднее значение класса;  $n_i$  – количество измерений в классе;  $N$  – общее число измерений.

Среднее квадратическое отклонение

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum n_i \cdot (t - t_{cp})^2}{N - 1}}. \quad (4.8)$$

Величина среднего квадратического отклонения определяет абсолютную амплитуду наиболее характерных колебаний измеряемой величины.

Доверительный интервал

$$n = t \pm 3\sigma. \quad (4.9)$$

Коэффициент вариации

$$V = \frac{\sigma \cdot 100}{\bar{t}}. \quad (4.10)$$

Ошибка среднего

$$m = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}, \quad (4.11)$$

или в процентах:

$$\alpha = \frac{100 \cdot m}{t}. \quad (4.12)$$

Ошибка измерений

$$\Delta = \frac{\Delta \Pi_t}{\bar{t}} = \frac{3\sigma}{\bar{t}} \times 100\%. \quad (4.13)$$

По результатам исследований строятся тарифовочные графики в осях координат показаний приборов.

Математическое подтверждение сходимости результатов опытных исследований с результатами теоретических расчетов изменения выбранных показателей масла определяется по индексу корреляции  $R_{y/x}$ . Индекс корреляции используется в качестве меры тесноты связи в случае криволинейной зависимости между признаками  $x$  и  $y$  и представляет собой корреляционное отношение, вычисленное на основании результатов выравнивания  $y$  по  $x$  по некоторой линии.

$$K = \sqrt{\frac{\sum_1^n (y_p - \bar{y}_{cp.p})^2}{\sum_1^n (y_э - \bar{y}_{cp.э})^2}}, \quad (4.14)$$

где  $Y_p$  – расчетное значение показателя;  $Y_{cp.p}$  – среднее расчетное значение показателя;  $Y_э$  – экспериментальное значение показателя;  $Y_{cp.э}$  – среднее экспериментальное значение показателя.

## Выводы

1. Разработана общая программа исследований, которая, наряду с лабораторными исследованиями эксплуатационных свойств частично восстановленных отработанных моторных минеральных масел на соответствие их требованиям Госстандартов и техническим условиям, включает исследования технологических режимов очистки отработанных моторных минеральных



масел и конструктивных параметров технических средств модульной установки.

2. Производственные исследования технологических режимов очистки отработанных моторных минеральных масел проводили на производственной установке, разработанной в соответствии с предлагаемыми техническими средствами.

3. Исследования содержания продуктов износа и активных металлов присадок в маслах определяли с использованием бездифракционного спектрального анализатора БАРС-3, позволяющего с высокой точностью определить количественный и химический состав примесей в масле.

4. Сравнительные эксплуатационные исследования товарного масла ТМ-3-18 и частично восстановленных отработанных моторных минеральных масел по предлагаемой технологической схеме проводили в трансмиссии автомобилей КамАЗ-55102 и в конечных передачах тракторов Т-150К в условиях рядовой эксплуатации.

5. Для оценки качества очищенного отработанного моторного минерального масла и определения продолжительности срока службы в трансмиссии предлагается использовать показатели, сгруппированные по основным свойствам: вязкостно-температурным, противоизносным, щелочному и кислотному числу, содержанию нерастворимых примесей по железу.

## **5 РЕЗУЛЬТАТЫ И АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

### **5.1 Результаты и анализ лабораторных исследований очистки и частичного восстановления отработанных моторных минеральных масел**

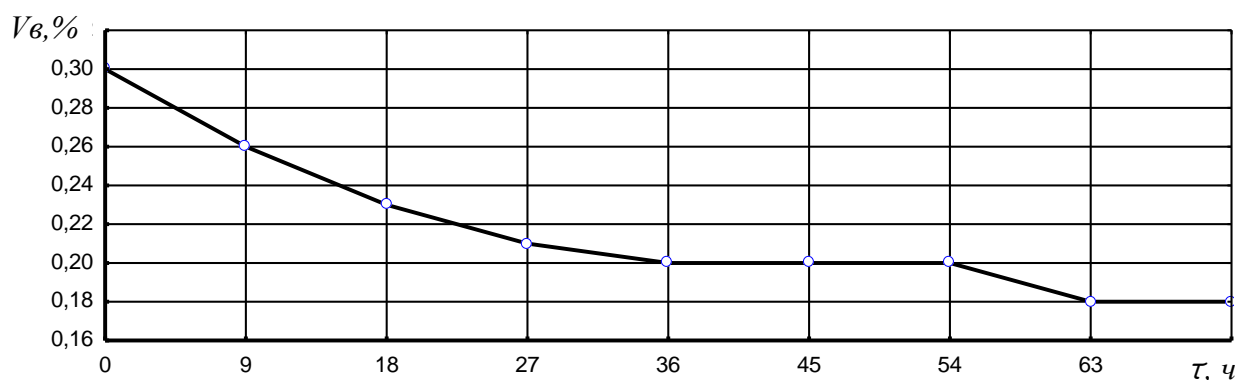
Для подтверждения теоретических выкладок и определения эффективности очистки и частичного восстановления эксплуатационных свойств отработанных моторных минеральных масел на разработанной модульной установке проводились исследования в лабораторных и производственных условиях.

Лабораторные исследования проводились по каждой ступени очистки и частичного восстановления эксплуатационных свойств, для получения оптимальных технологических режимов и конструктивных параметров разработанного способа очистки и установки по ее ступеням.

#### **5.1.1 Результаты и анализ исследований очистки отработанных моторных минеральных масел в процессе гравитационного отстаивания**

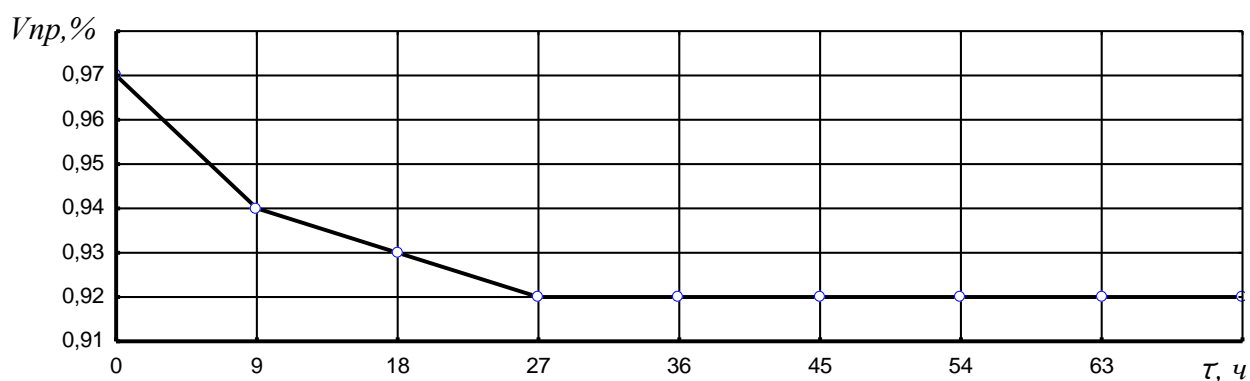
Первой ступенью очистки отработанного моторного минерального масла является гравитационное отстаивание. В результате проведенных исследований очистки в процессе гравитационного отстаивания получены следующие результаты. Наиболее интенсивно отделение воды из масла происходит впервые 18 часов, содержание воды снизилось с 0,3 % до 0,23 %. Через 36 часов содержание воды составило 0,2 % и при дальнейшем увеличении времени отстоя содержание воды не изменилось и составило 0,2 % (рис. 5.1).

Результаты исследования показали, что наиболее эффективным является время отстоя 27...30 часов, дальнейший отстой отработанного масла нецелесообразен.



*Рисунок 5.1 – Изменение содержания воды в отработанном минеральном моторном масле ( $V_{в}$ ) от времени отстаивания( $\tau$ )*

По содержанию нерастворимых примесей получены следующие результаты (рис.5.2).



*Рисунок 5.2 – Изменение содержания нерастворимых примесей в отработанном минеральном моторном масле ( $V_{пр}$ ) от времени отстаивания ( $\tau$ )*

Наибольшее осаждение нерастворимых примесей наблюдается в первые 27 часов. При этом содержание нерастворимых примесей снизилось с 0,97 % до 0,92 %. При увеличении времени отстоя содержание нерастворимых примесей уменьшается незначительно, и через 63 часа составило 0,91 %. Как видно, с увеличением времени отстоя эффективность осаждения нерастворимых примесей снижается.

Проведенный анализ кинематической вязкости и температуры вспышки масла показал следующее. В связи с частичным удалением воды кинема-

тическая вязкость отстаиваемого масла незначительно повысилась с 12,2 мм<sup>2</sup>/с, перед началом отстоя, до 12,6 мм<sup>2</sup>/с. Температура вспышки повысилась с 182 °С до 188 °С (Приложение Б). Таким образом, на основании проведенных исследований принимаем время гравитационной очистки 27 часов.

### 5.1.2 Результаты и анализ исследования очистки отработанных моторных минеральных масел в процессе выпаривания

Второй ступенью очистки отработанного моторного минерального масла является удаление из масла воды и легких топливных фракций при нагреве масла (выпаривании). Для определения режимов выпаривания масла проводились исследования влияния температуры и времени нагрева на эффективность очистки. В результате исследований получены следующие результаты (рис. 5.3).

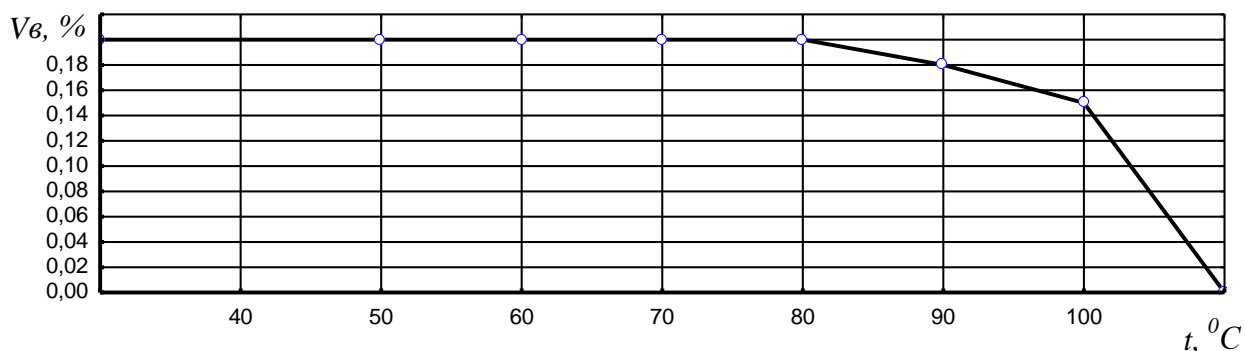


Рисунок 5.3 – Изменение содержания воды ( $V_v$ ) в масле от температуры нагрева ( $t$ )

Как видно из графика (рис. 5.3), при нагревании масла до 60 °C отделение воды не наблюдается. При температуре 100 °C содержание воды составило 0,15 %, а при 105 °C – 0,08 %.

По данным исследований, оптимальной температурой нагрева является 100...105 °C, время нагрева – 1,5...2 часа (рис. 5.3, 5.4).

Испарение легких топливных фракций начинается при температуре 45 °C. При температуре 95...105 °C наблюдается интенсивное испарение во-

ды и легких топливных фракций.

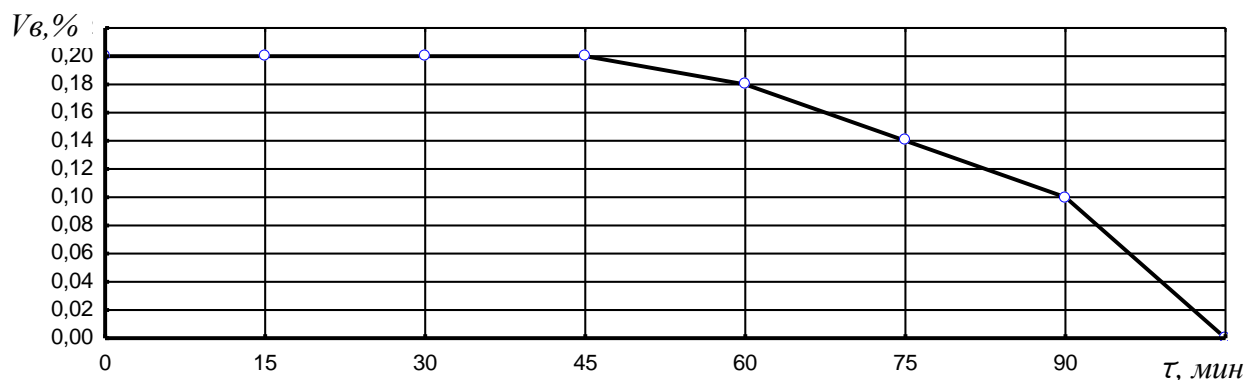


Рисунок 5.4 – Изменение содержания воды ( $V_{в}$ ) в масле от времени нагрева ( $\tau$ )

При исследовании зависимости содержания нерастворимых примесей от температуры и времени нагрева были получены следующие результаты (рис.5.5).

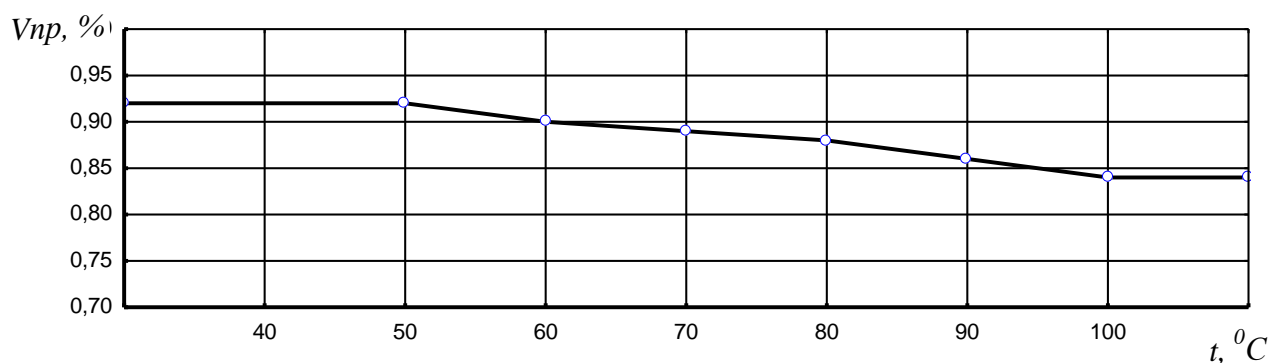


Рисунок 5.5 – Изменение содержания нерастворимых примесей ( $V_{пр}$ ) от температуры нагрева ( $t$ )

Содержание нерастворимых примесей при нагреве до температуры 105 °C снизилось с 0,92 % до 0,84 %. При этом кинематическая вязкость масла повысилась до 13,1 мм<sup>2</sup>/с, а температура вспышки повысилась до 205 °C (Приложение В).

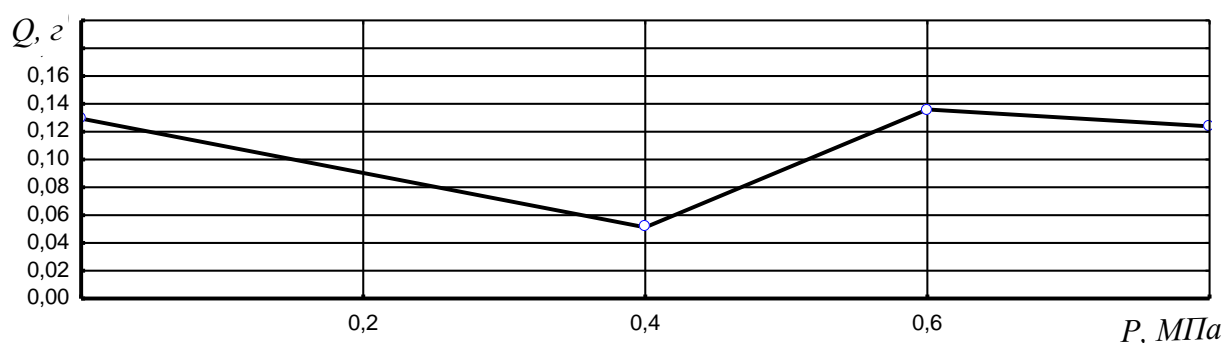
### 5.1.3 Результаты и анализ исследований очистки отработанных моторных минеральных масел в процессе гидроциклонной очистки

Для определения эффективности гидроциклонной очистки отработан-

ных моторных минеральных масел проводились исследования по определению давления входного потока масла в гидроциклоне.

На основании проведенных исследований было определено, что наилучшая степень очистки масла происходит при давлении входного потока масла 0,4 МПа, при этом содержание нерастворимых примесей снизилось с 0,1389 до 0,0512 г (Приложение Г, рис. 5.6).

Необходимо отметить, что исследования проводились на гидроциклоне, изготовленном по расчетным параметрам при температуре масла 100...105 °С. А для выявления оптимальной зоны давлений первоначальные исследования проводились при входном давлении от 0,2 до 1,0 МПа, и только после выявления оптимальной зоны (0,2...0,8 МПа) проводились исследования для выявления зависимостей.



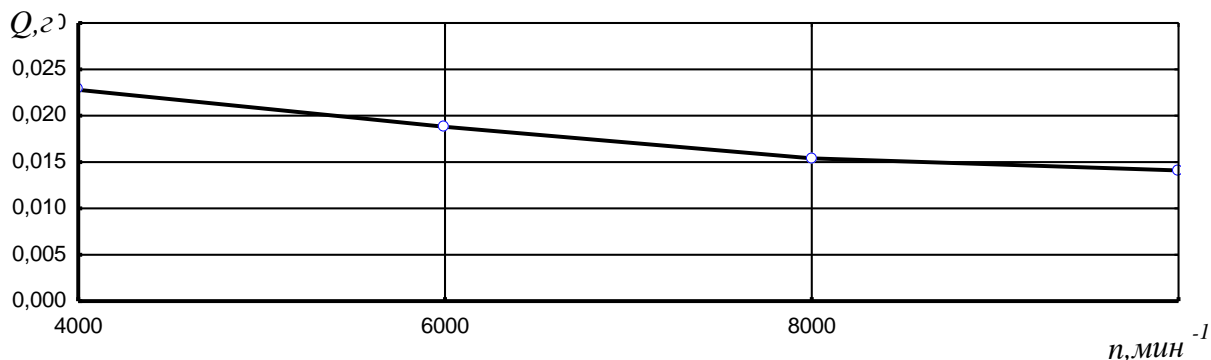
*Рисунок 5.6 – Зависимость содержания нерастворимых примесей в отработанном масле (Q) от давления (P) входного потока в гидроциклоне*

Проведенный анализ показал, что кинематическая вязкость масла снизилась с 13,1 до 12,8 мм<sup>2</sup>/с, а температура вспышки составила 205 °С.

#### **5.1.4 Результаты и анализ исследований очистки отработанных моторных минеральных масел в процессе центрифугирования**

На основании теоретических положений установлено, что эффективность очистки масла от нерастворимых примесей зависит от частоты враще-

ния центрифуги. Для определения эффективности центробежной очистки проводились исследования по выявлению зависимости содержания нерастворимых примесей от частоты вращения ротора центрифуги (рис. 5.7, Приложение Д).



*Рисунок 5.7 – График зависимости содержания нерастворимых примесей (Q) от частоты вращения ротора (n) центрифуги*

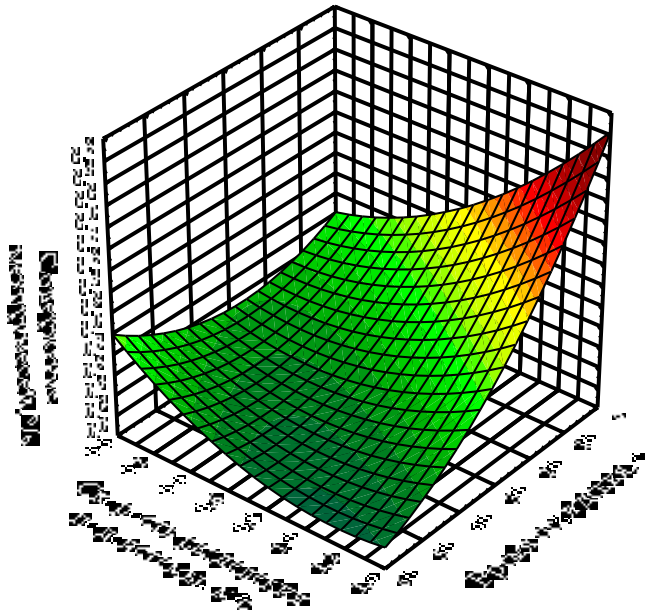
Как видно из результатов исследований, с увеличением частоты вращения ротора центрифуги эффективность очистки улучшается. При частоте вращения от 4000 до 8000 мин<sup>-1</sup> содержание нерастворимых примесей снизилось с 0,0228 г до 0,016 г. При дальнейшем увеличении частоты вращения ротора содержание нерастворимых примесей снижается, и при 9000 мин<sup>-1</sup> содержание примесей составило 0,015 г, а при 10000 мин<sup>-1</sup> – 0,0141 г. Необходимо отметить, что достичь частоту вращения 10000 мин<sup>-1</sup> и более технически трудно и является нецелесообразным. Поэтому выбираем режим центрифугирования – 9000 мин<sup>-1</sup>.

На основании проведенных исследований процесса очистки масла в центрифуге на различных режимах получено уравнение регрессии:

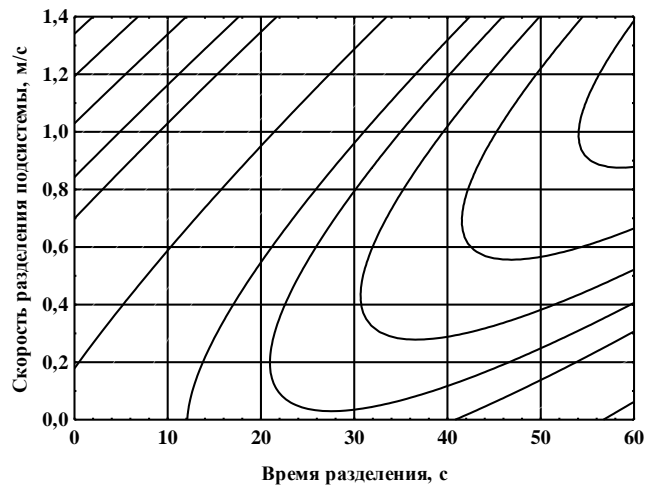
$$Q = 0,6092 - 0,0224 \cdot v_{pn} + 0,393 \cdot \tau + 0,0004 \cdot v_{pn}^2 - 0,031 \cdot v_{pn} \tau + 0,6476 \cdot \tau^2, \quad (5.1)$$

где Q – содержание нерастворимых примесей, %;  $v_{pn}$  – скорость осаждения нерастворимых примесей, м/с;  $\tau$  – время осаждения, с.

Результаты исследований показывают, что наилучшая степень очистки соответствует максимальной скорости разделения подсистемы и времени осаждения (рис. 5.8, 5.9).



*Рисунок 5.8 – Поверхность отклика от взаимодействия содержания нерастворимых примесей от скорости разделения масляной среды и времени осаждения*



*Рисунок 5.9 – Двухмерное сечение, характеризующее содержание нерастворимых примесей от скорости разделения масляной среды и времени осаждения*

Также было установлено, что наиболее эффективно удаление нерастворимых примесей из масла происходит при скорости разделения масляной



среды 1...1,2 м/с и времени осаждения – 55...60 с, соответствующие частоте вращения ротора центрифуги 9000 мин<sup>-1</sup>.

### 5.1.5 Результаты и анализ исследований очистки отработанных моторных минеральных масел в процессе магнитной очистки

Исследования эффективности магнитной очистки проводились по определению зависимости геометрических параметров магнита, влияющих на величину удерживающей силы  $F_m$  и на степень очистки.

Исследованию подвергались очистители с различными геометрическими параметрами (табл. 5.1).

Как видно из проведенных исследований, наиболее эффективно очистка масла происходит с образцами № 3 и № 4, при этом содержание нерастворимых примесей составило 0,096 % против 0,124 % у образца № 1 и 0,099 % у образца № 2 (рис. 5.10).

Таблица 5.1 – Характеристика магнитных очистителей

№ образца	Диаметр барабана, мм	Ширина барабана, мм	Удерживающая сила $F_m$ , А/м	Остаточная индукция $B_r$ , Тл
1	100	140	300	400
2	120	140	400	600
3	140	140	600	700
4	160	140	600	700

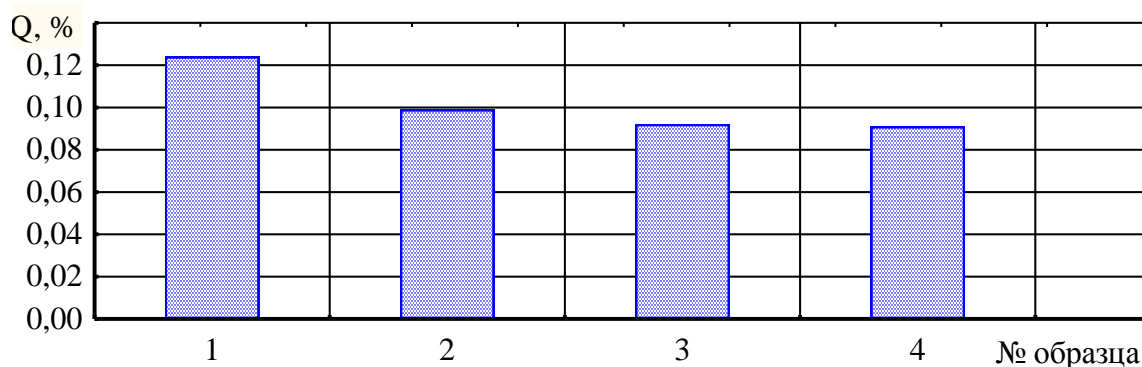


Рисунок 5.10 – Зависимость степени очистки ( $Q$ ) от удерживающей силы ( $F_m$ )

На основании проведенных исследований выбираем магнитный очиститель № 3 с диаметром барабана магнита 140 мм и шириной – 140 мм, как обладающий наилучшей эффективностью очистки.

### 5.1.6 Результаты и анализ исследований очистки отработанных моторных минеральных масел в процессе фильтрования

Для определения эффективности фильтрования проводились исследования по определению материала фильтрующего элемента. Результаты исследований представлены в таблице 5.2.

С целью определения материала фильтрующего элемента проводились исследования фильтрования отработанного масла.

Как видно из результатов исследований, наилучшей степенью очистки обладают войлок и фетр, позволяющие снизить содержание нерастворимых примесей в масле с 0,1589 г до 0,022 г и 0,035 г соответственно, что составляет 86 % и 78% степени очистки (рис. 5.11). Поэтому для фильтрующего элемента выбираем войлок, позволяющий снизить содержание нерастворимых примесей до 0,022 г. Кроме того, в силу своей структуры войлок можно промывать и использовать вторично без потери его фильтрующих свойств.

Таблица 5.2 – Характеристики фильтрующих материалов

№ образца	Наименование материала	Степень очистки, %			
		типовая		исследовательская	
		нерастворимых примесей	воды	нерастворимых примесей	воды
1	Шелк	20	35	21	32
2	Фетр	56	68	78	64
3	Войлок	75	82	86	88
4	Акриловое волокно	54	32	48	41
5	Асбест	62	34	55	29
6	Березовые опилки	88	95	49	92
7	Осиновые опилки	87	92	43	88

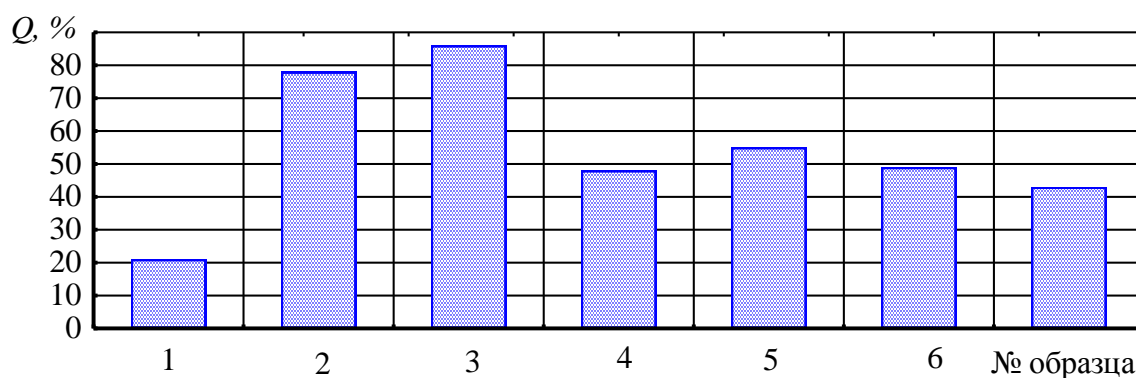


Рисунок 5.11 – Зависимость степени очистки нерастворимых примесей ( $Q$ ) от используемого материала

При исследовании динамических параметров масляной среды были получены следующие результаты (рис. 5.12, 5.13).

На основании результатов исследований получено уравнение регрессии:

$$Q = 104,0212 - 2649,892 \cdot P + 253,0264 \cdot V - 23603,1208 \cdot P^2 + 10733,3123 \cdot P \cdot V - 1047,1196 \cdot V^2, \quad (5.2)$$

где  $Q$  – содержание нерастворимых примесей, %;  $P$  – давление в фильтре, МПа;  $V$  – объем масла, вышедшего с фильтра, м<sup>3</sup>.

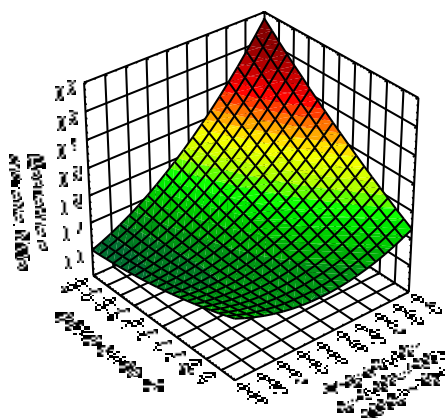
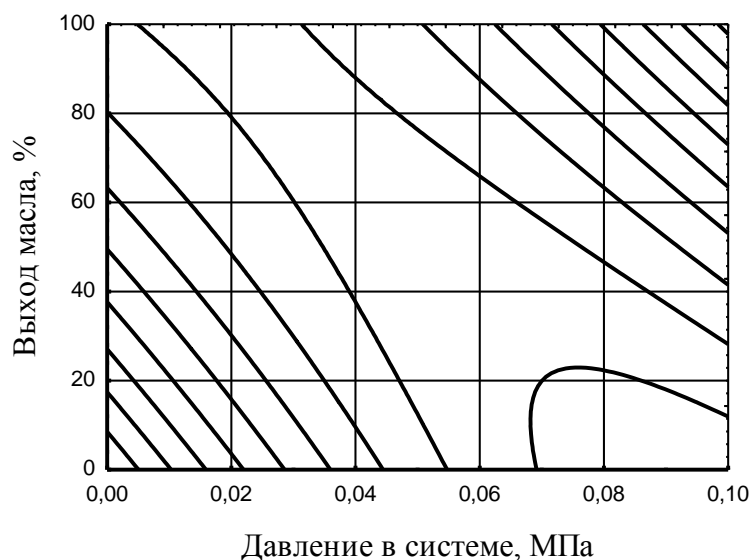


Рисунок 5.12 – Поверхность отклика от взаимодействия содержания нерастворимых примесей от давления в фильтре и выхода масла



*Рисунок 5.13 – Двухмерное сечение, характеризующее содержание нерастворимых примесей от давления в фильтре и выхода масла*

Наилучшая степень очистки масла достигается при разнице давления перед фильтрующим и после фильтрующего элемента 0,98 МПа. При этом содержание нерастворимых примесей уменьшилось с 0,068 до 0,015 г. Выход очищенного масла составил 98 % (Приложение Ж).

## 5.2 Результаты лабораторных исследований

Проведенные исследования очистки отработанного моторного минерального масла по ступеням на предлагаемой установке показали следующие результаты (табл. 5.3).

При очистке масла отстаиванием на первой ступени модульной установки происходит снижение содержание нерастворимых примесей на 5 % – с 0,97 % до 0,92 % (рис. 5.14).

Содержание воды снизилось с 0,3 % до 0,2 % (рис. 5.15).

Кинематическая вязкость отработанного моторного масла незначительно повысилась с 12,2 до 12,6 мм<sup>2</sup>/с (рис. 5.16).

Таблица 5.3 – Результаты анализа отработанного моторного минерального масла М-10Г<sub>2</sub>К по ступеням очистки

Ступени очистки	Показатели			
	содержание примесей, %	содержание воды, %	кинематическая вязкость, мм <sup>2</sup> /с	температура вспышки, °С
Отработанное минеральное моторное масло	0,97	0,3	12,2	182
I ступень очистки	0,92	0,2	12,6	188
II ступень очистки	0,92	отсутств.	13,1	205
III ступень очистки	0,84	отсутств.	12,8	205
IV ступень очистки	0,65	отсутств.	11,2	207
V ступень очистки	0,53	отсутств.	10,8	207
VI ступень очистки	0,02	отсутств.	10	207
Товарное масло М-10Г <sub>2</sub> К	0,015	отсутств	10,9	208

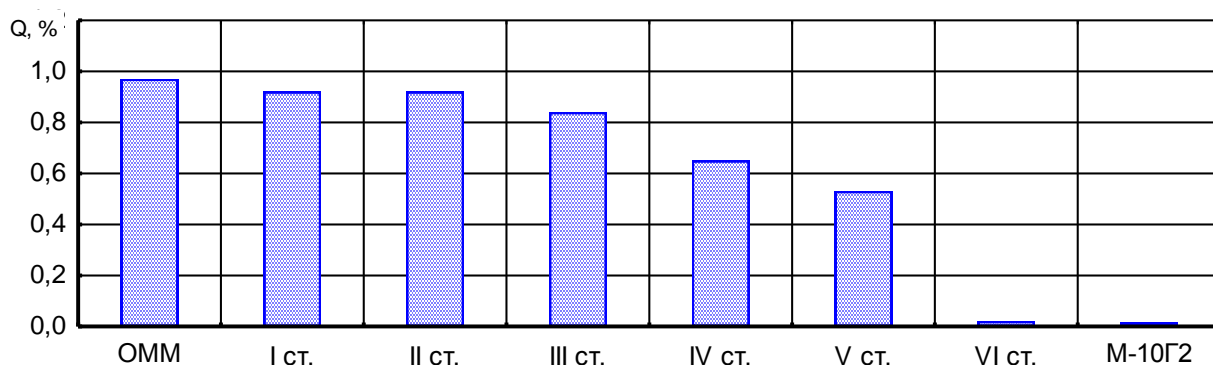


Рисунок 5.14 – Изменение содержания нерастворимых примесей ( $Q$ ) в очищаемом масле по ступеням очистки

Температура вспышки повысилась до 188 °С против 182 °С у отработанного масла (рис. 5.16).

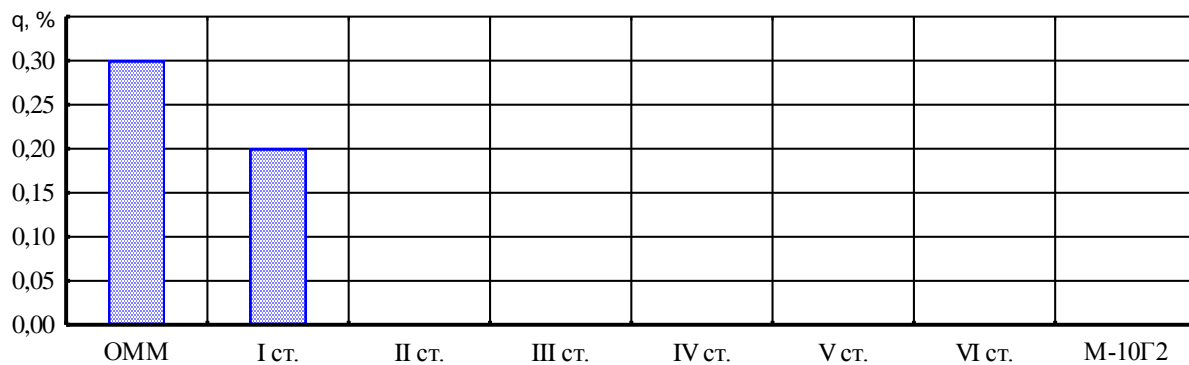
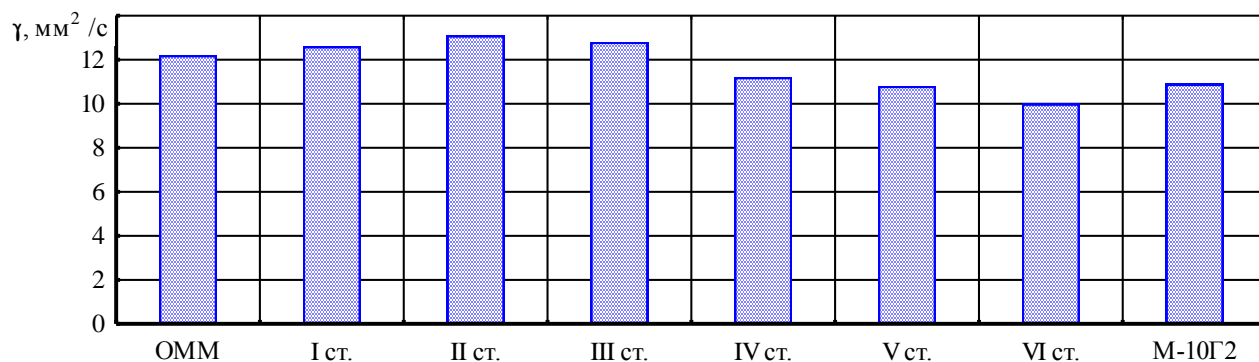


Рисунок 5.15 – Изменение содержания воды ( $q$ ) в очищаемом масле по ступеням очистки

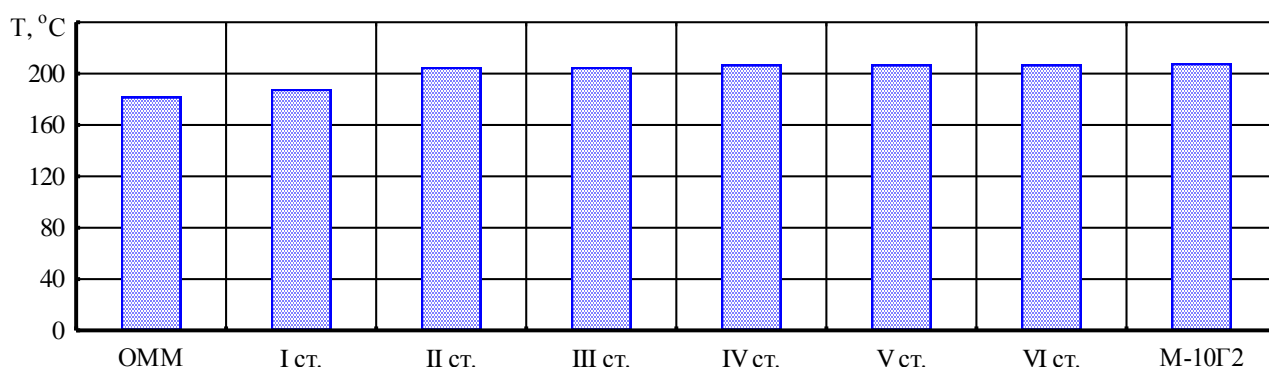
На второй ступени очистки (выпаривание) определяемые показатели качества изменились следующим образом.

Содержание нерастворимых примесей снизилось до 0,92 %, содержание воды – отсутствие, кинематическая вязкость повысилась до 13,1 мм<sup>2</sup>/с, температура вспышки составила 205 °С (рис. 5.14 – 5.17).



*Рисунок 5.16 – Изменение кинематической вязкости(γ)очищаемого масла по ступеням очистки*

На третьей ступени очистки с использованием гидроциклона содержание нерастворимых примесей снизилось до 0,84 %. При этом кинематическая вязкость масла составила 12,8 мм<sup>2</sup>/с, температура вспышки – 205 °С (рис. 5.14 – 5.17).



*Рисунок 5.17 – Изменение температуры вспышки (T) очищаемого масла по ступеням очистки*

При центрифугировании масла – четвертая ступень – содержание нерастворимых примесей снизилось до 0,65 %, кинематическая вязкость снизи-

лась до 11,2 мм<sup>2</sup>/с. Температура вспышки повысилась до 207 °С.

После магнитной очистки – пятая ступень – содержание нерастворимых примесей снизилось до 0,53 %. Кинематическая вязкость масла снизилась до 10,8 мм<sup>2</sup>/с. Температура вспышки осталась неизменной – 207 °С.

На заключительной стадии – фильтровании – являющимся шестой ступенью, содержание нерастворимых примесей составило 0,02 %, кинематическая вязкость – 10 мм<sup>2</sup>/с, температура вспышки – 207 °С.

Таким образом, очистка отработанного моторного минерального масла на предлагаемой модульной установке с использованием многоступенчатого способа очистки позволяет снизить содержание нерастворимых примесей на 81,4 %, которое составило 0,02 % от объема очищаемого масла, при содержании в товарном масле М-10Г<sub>2</sub>К – 0,015 %. Содержание воды в очищаемом масле – отсутствие, при допустимом значении в товарных маслах – следы. Температура вспышки очищенного масла составила 207 °С, что находится в пределах требований технических условий к моторным маслам. Кинематическая вязкость очищенного масла составила 10 мм<sup>2</sup>/с (табл. 5.3). Установленные в процессе исследований технологические параметры предлагаемой модульной установки приведены в Приложении К.

### **5.3 Результаты исследований компаундирования очищенных отработанных моторных минеральных масел**

Исследования режимов ввода минеральной добавки в виде товарного масла МС-20П в очищенное отработанное моторное минеральное масло проводили с определением значений кинематической вязкости частично восстанавливаемого масла при различных температурах ввода (рис. 5.18) и времени перемешивания минеральной добавки с очищенным маслом (Приложение Е, рис. 5.19).

Результаты исследований показали, что для получения значения кинематической вязкости частично восстанавливаемого масла, соответствующего

шего требованиям ГОСТ 33-2000 – 15 мм<sup>2</sup>/с, товарное масло МС-20П необходимо вводить в очищенное масло при его температуре 85...90 °С.

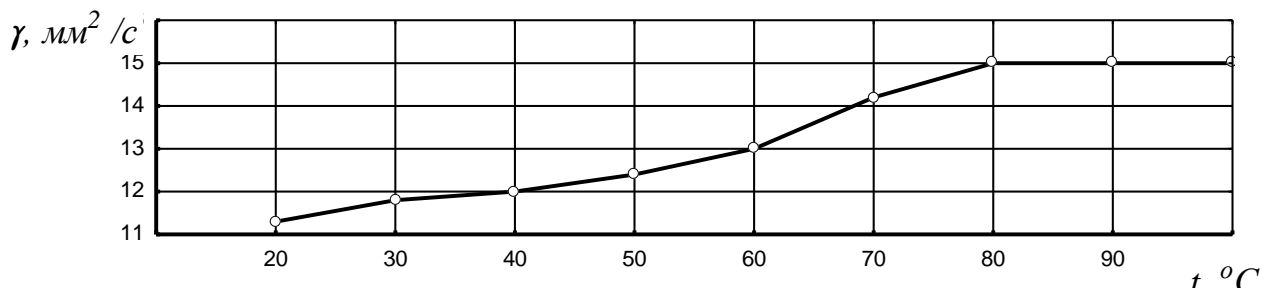


Рисунок 5.18 – Зависимость кинематической вязкости ( $\gamma$ )  
восстановленного очищенного масла  
от температуры ввода товарного масла МС-20П

Таким образом, принимается режим ввода масла МС-20П в очищенное масло, для частичного восстановления кинематической вязкости, в температурном интервале 85...90 °С.

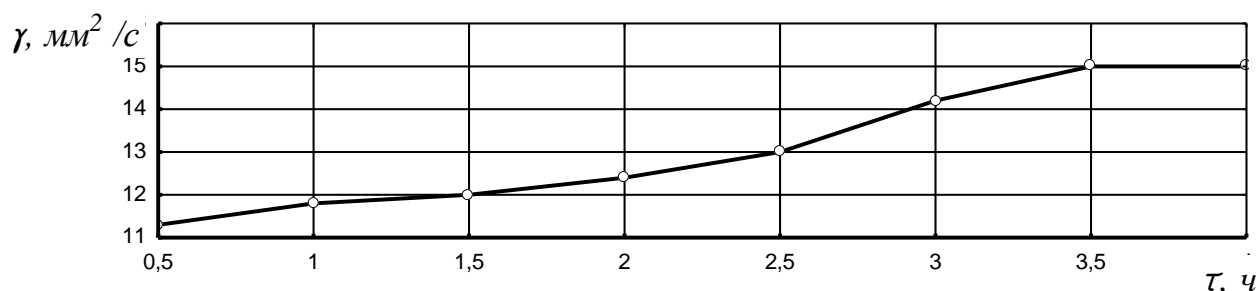


Рисунок 5.19 – Зависимость кинематической вязкости ( $\gamma$ )  
восстановленного очищенного масла от времени  
перемешивания ( $\tau$ ) с товарным маслом МС-20П

Результаты исследований показали, что частичное восстановление очищенного масла по кинематической вязкости и щелочному числу происходит при перемешивании очищенного масла с товарным маслом МС-20П в течение 3 ч при температуре 85...90 °С (рис. 5.19).

#### 5.4 Результаты исследований в производственных условиях

С пункта технического обслуживания хозяйства приняли и слили в ре-



зервуар 4500 л отработанного моторного минерального масла. Насосом закачивали масло в гравитационный отстойник на 27...30 часов. Затем отстоявшееся масло закачивали в электропечь 2, для выпаривания воды и легких топливных фракций, и нагревали до температуры 100...105 °С при постоянном перемешивании насосом. После выпаривания воды и легких топливных фракций при температуре 100 °С масло подавали насосом в гидроциклон под давлением 0,4 МПа. Масло, очищенное в гидроциклоне, подавали в полнопоточные центрифуги для центробежной очистки. После центрифугирования очищаемое масло подавали на магнитную очистку и затем на фильтрование. Суммарный выход очищенного масла составил 3800 л.

После очистки проводился отбор проб и их анализ для определения кинематической вязкости, щелочного и кислотного чисел, нерастворимых примесей, продуктов износа (*Fe*) и воды (табл. 5.4).

Как видно из таблицы 5.4, щелочное число масла после очистки в гидроциклоне снизилось и составило 2,35 мг КОН/г против 2,5 мг КОН/г у отработанного масла, кинематическая вязкость не изменилась и составила 12,3 мм<sup>2</sup>/с. Это говорит о том, что в гидроциклоне не происходит отделение продуктов разложения моторного масла, являющихся причиной повышения его кинематической вязкости при эксплуатации. Это же подтверждает кислотное число, которое после очистки в гидроциклоне не изменилось и составило 0,2 мг КОН/г.

Очистка в силовом поле центрифуги позволила снизить кинематическую вязкость очищаемого масла до 11,5 мм<sup>2</sup>/с, при этом содержание нерастворимых примесей снизилось до 0,0228 г, а содержание продуктов износа до 0,00007 г. Кислотное число снизилось с 0,2 мг КОН/г до 0,15 мг КОН/г и щелочное число – с 2,35 мг КОН/г до 2,08 мг КОН/г. Температура вспышки поднялась до 220 °С.

После магнитной очистки содержание нерастворимых примесей снизилось с 0,0228 г до 0,0054 г, а продуктов износа – с 0,00007 г до 0,00004 г. Температура вспышки повысилась до 224 °С. При магнитной очистке проис-

ходит удаление продуктов износа и продуктов разложения масла и присадок, находящихся в связанном состоянии с частицами металла. Это подтверждается существенным снижением кислотного числа с 0,15 мг КОН/г до 0,01 мг КОН/г и щелочного числа до 1,1 мг КОН/г,

На последней ступени очистки – фильтровании содержание нерастворимых примесей снизилось до 0,0016 г, а продуктов износа до 0,00003 г. Щелочное число масла осталось неизменным и составило 1,1 мг КОН/г. Температура вспышки повысилась и составила 226 °С.

После очистки проводилось частичное восстановление кинематической вязкости до состояния трансмиссионного масла ТМ-3-18 (Приложение Т1). По номограмме смесей масел определили количества масла МС-20П, которое нужно добавить для получения необходимой кинематической вязкости.

После компаундирования очищенного отработанного моторного минерального масла с маслом МС-20П получены следующие результаты. Кинематическая вязкость составила 14,9 мм<sup>2</sup>/с, что соответствует требованиям ГОСТ 23652-79 на трансмиссионное масло ТМ-3-18. Содержание нерастворимых примесей снизилось до 0,0012 %. Содержание продуктов износа по *Fe* снизилось до 0,00001 г.

Щелочное число масла увеличилось и составило 3,2 мг КОН/г. Температура вспышки повысилась до 284 °С.

Данные проведенных лабораторных исследований подтвердили возможность частичного восстановления эксплуатационных свойств отработанных моторных минеральных масел с использованием предлагаемой модульной установки и способа компаундирования. На основании проведенных лабораторных и производственных исследований частичного восстановления отработанных моторных минеральных масел на разработанной модульной установке составлена номограмма выбора ступеней очистки (рис. 5.20).

Предлагаемая номограмма позволяет выбрать степень очистки отработанного моторного минерального масла в зависимости от его загрязненности или от того, какое значение выбранного показателя необходимо получить.

Таблица 5.4 - Результаты анализа проб масел при производственных исследованиях

Показатели	Кинематическая вязкость, мм <sup>2</sup> /с	Содержание нерастворимых примесей, %	Содержание продуктов износа (Fe), г	Содержание воды, %	Щелочное число, мг КОН/г	Кислотное число, мг КОН/г	Температура вспышки, °С
Отработанное масло	12,3	0,1589	0,00086	0,3	2,5	0,2	112
Масло после отстаивания	12,3	0,0856	0,00074	0,2	2,5	0,2	142
Масло после выпаривания	12,3	0,0729	0,00062	0,1	2,4	0,2	202
Масло после очистки в гидроциклоне	12,3	0,0358	0,00051	0,1	2,35	0,2	200
Масло после центрифугирования	11,5	0,0228	0,00007	отсутств.	2,08	0,15	220
Масло после магнитной очистки	11,52	0,0054	0,00004	отсутств.	1,1	0,01	224
Масло после фильтрования	11,3	0,0016	0,00003	отсутств.	1,1	-	226
OM+МС-20П	14,9	0,0012	0,00001	следы	3,2	-	284

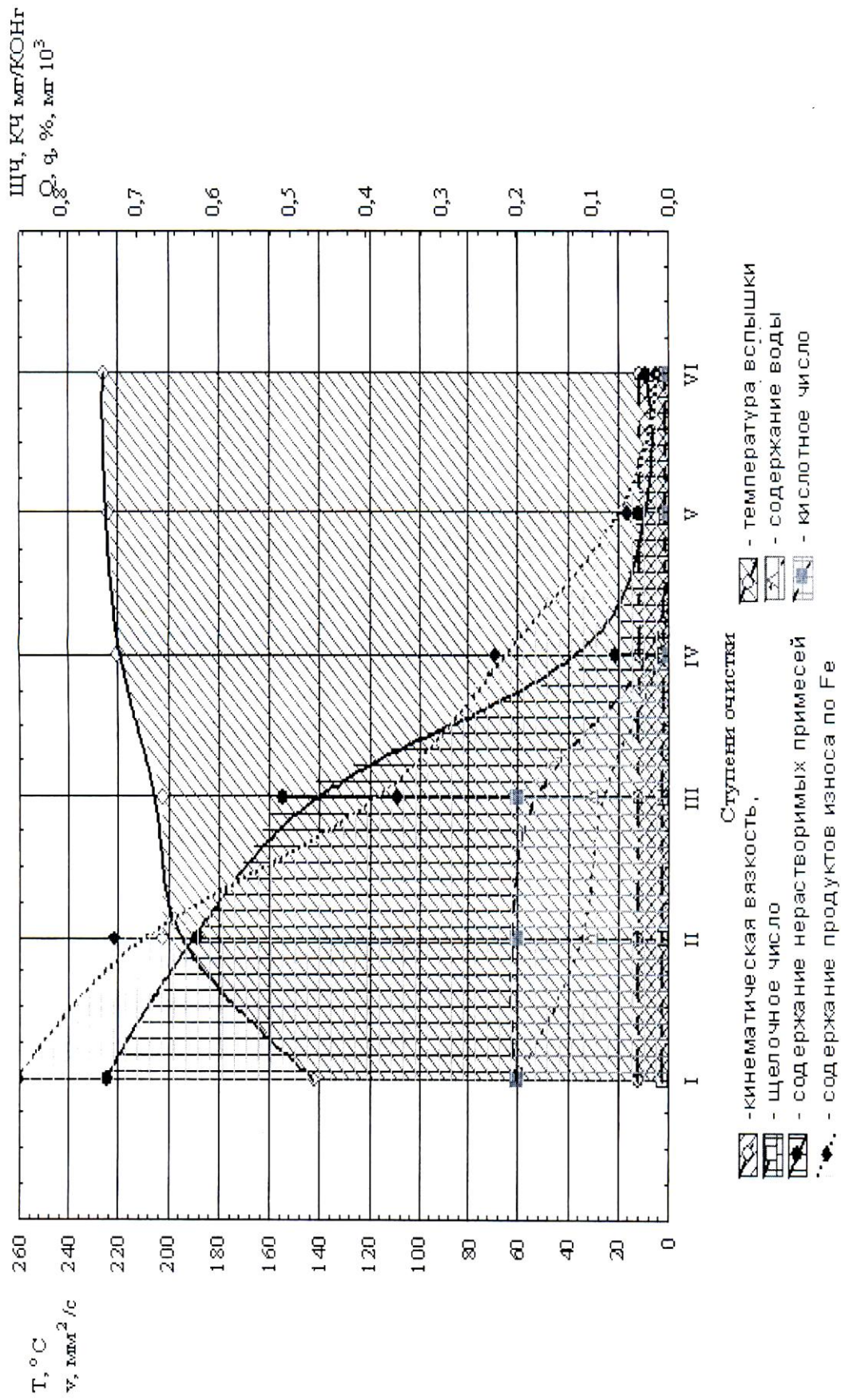


Рисунок 5.20 – Номограмма выбора ступеней очистки отработанного моторного минерального масла от величины основных показателей

В номограмме выбор ступеней очистки определяется: по кинематической вязкости; содержанию воды, нерастворимых примесей и продуктов износа в масле по  $Fe$ ; кислотному и щелочному числам; температуре вспышки.

На поле номограммы нанесены зоны, соответствующие определенному показателю масла, выделенные соответствующей штриховкой. Зоны включают максимально возможные и минимально допустимые значения параметров соответствующего показателя масла.

При использовании номограммы достаточно определить один из показателей масла и выбрать соответствующую ступень или последовательность ступеней очистки для получения необходимого значения выбранного показателя.

Использование номограммы позволит сократить время очистки отработанного моторного минерального масла и затраты энергии путем выбора необходимых ступеней очистки для достижения необходимых значений показателей масел.

## **5.5 Результаты исследований очищенных и частично восстановленных моторных минеральных масел на лабораторных установках**

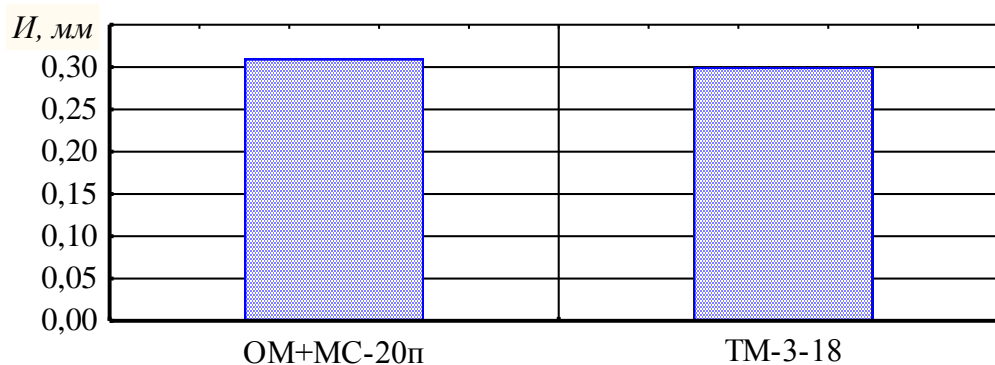
Для подтверждения возможности использования очищенных и частично восстановленных отработанных моторных минеральных масел в трансмиссиях машин проводились исследования масла в лабораторных условиях.

### **5.5.1 Результаты исследований противоизносных свойств**

Исследования смазывающих свойств масел показывают, в какой мере масло выполняет свои основные функции – уменьшает силу трения и предохраняет детали двигателя от износа. При исследованиях имитируются реальные условия режимов трения. Наиболее часто моделируется трение сколь-

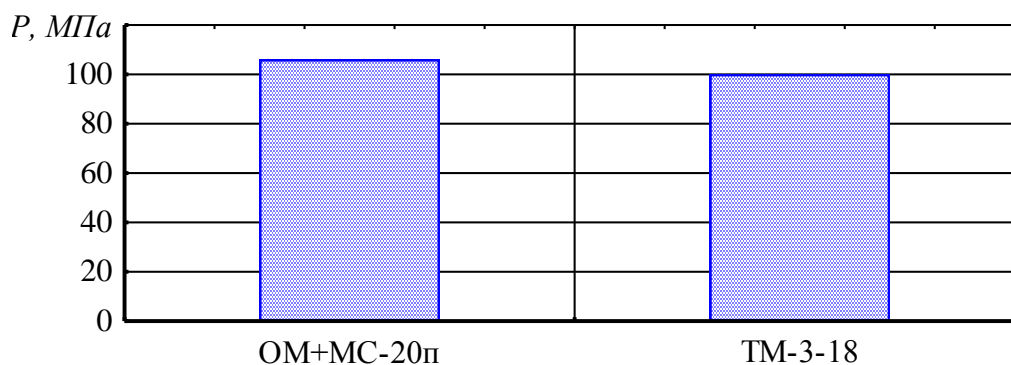
жения на небольшой поверхности.

Исследования на машине трения ЧМТ-1 показали следующие результаты (Приложение Л, рис. 5.21 – 5.24). Диаметр пятна износа образцов с частично восстановленным маслом составил 0,32 мм, с товарным маслом ТМ-3-18 – 0,30 мм (рис. 5.21).



*Рисунок 5.21 – Диаметр пятна износа образцов при исследовании на машине трения ЧМТ-1*

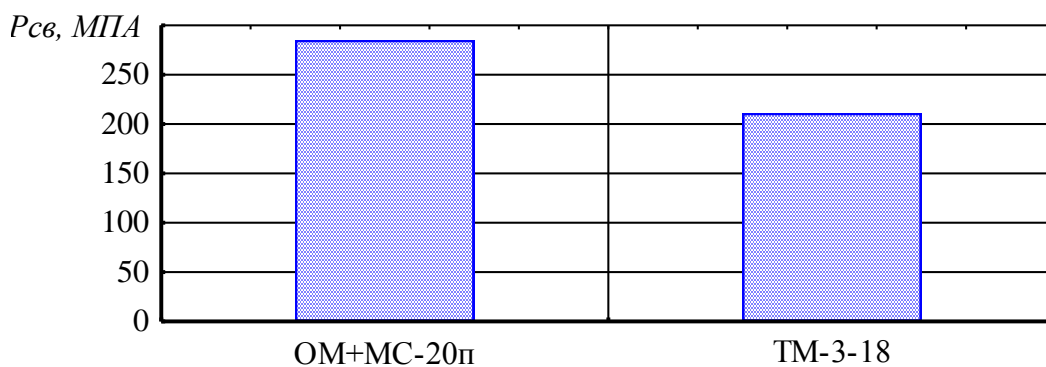
Предельное давление в контакте образцов с частично восстановленным маслом составило 126 МПа, а с маслом ТМ-3-18 – 100 МПа (рис. 5.22).



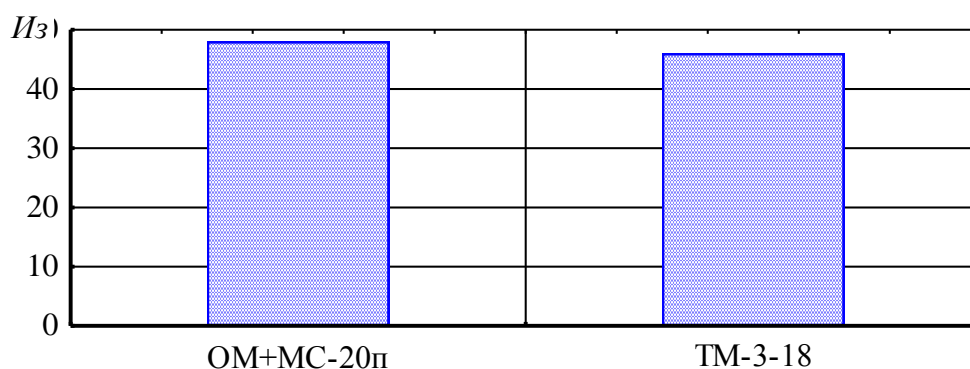
*Рисунок 5.22 – Предельное давление в контакте образцов при исследовании на машине трения ЧМТ-1*

Исследования по определению давления сваривания образцов показали следующие результаты. У образцов с частично восстановленным маслом составило 299 МПа, а с маслом ТМ-3-18 – 211 МПа (рис. 5.23).

Индекс задира у образцов с частично восстановленным маслом составил 55 усл. ед., против 46 усл. ед. с маслом ТМ-3-18 (рис. 5.24).



*Рисунок 5.23 – Давление сваривания образцов при исследовании на машине трения ЧМТ-1*



*Рисунок 5.24 – Индекс задира образцов при исследовании на машине трения ЧМТ-1*

Исследования на машине трения СМТ-1 проводились на образцах, имеющих форму дисков при скорости 1 м/с. Нагружение трибоузла проводилось ступенчато возрастающей нагрузкой с определением на каждой ступени: износа, коэффициента трения, предельной удельной нагрузки. Исследования показали следующие результаты (Приложение М). В паре трения сталь-сталь предельная нагрузка частично восстановленного моторного масла составила 87,6 МПа против 60 МПа у товарного масла ТМ-3-18. Как видно, частично восстановленное отработанное масло показало лучшие результаты по отношению к товарному маслу ТМ-3-18 (рис.5.25, 5.26).

Таким образом, трибологические свойства частично восстановленного отработанного моторного минерального масла по разработанной технологической схеме, при рабочих нагрузках в паре трения сталь-сталь, находятся на



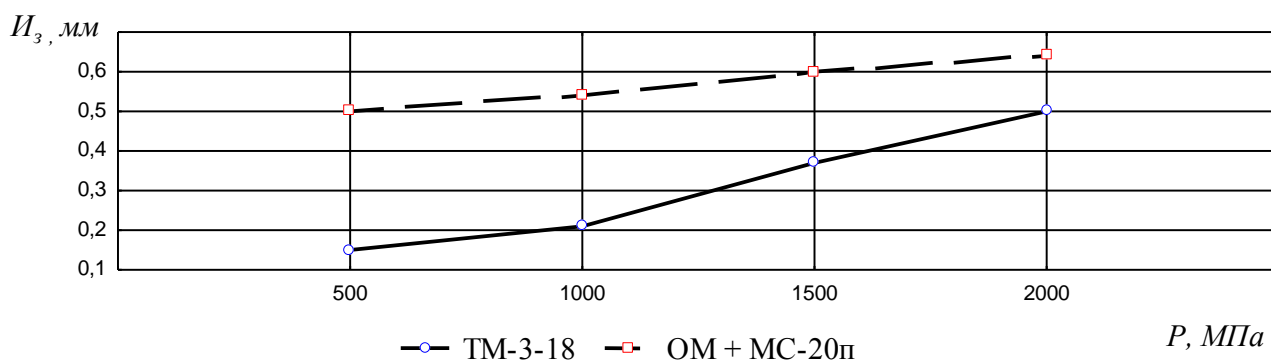


Рисунок 5.25 – График износа ( $I_3$ ) образцов в паре трения сталь-сталь

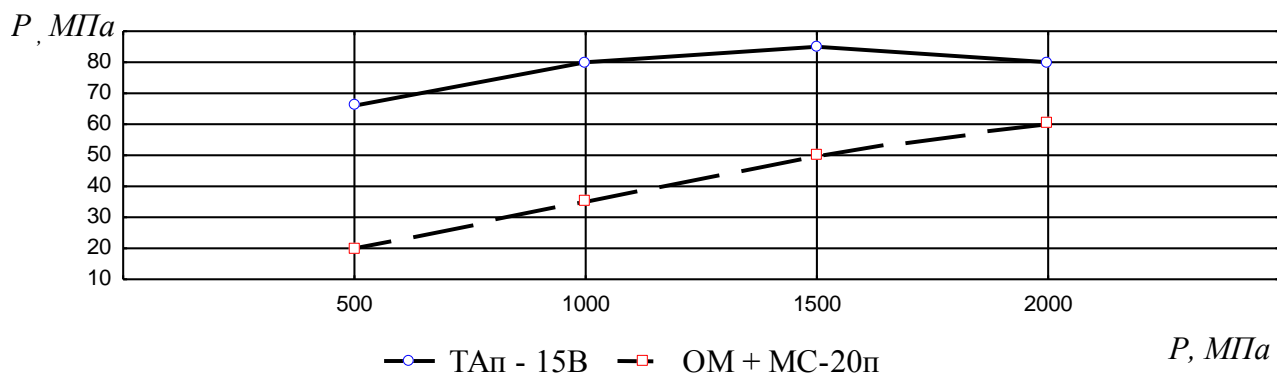


Рисунок 5.26 – График изменения предельного давления ( $P$ ) образцов в паре трения сталь-сталь

уровне товарного масла ТМ-3-18 и могут использоваться заменителями в трансмиссии автомобилей и тракторов.

### 5.5.2 Результаты исследования на содержание продуктов износа и металлов присадок

Определение содержания продуктов износа и металлов присадок проводилось с использованием прибора БАРС-3. Для подготовки проб масел к анализу на определение примесей по каналу  $Fe$  проводилась высадка исследуемого масла на фильтрующий элемент, с которого предварительно было снято количество выдаваемых импульсов (количество импульсов фона). Высадка производится на фильтр «Красная лента» диаметром 30 мм. Затем фильтр с высаженной пробой помещается в сушильный шкаф и при темпера-



туре 115 °С оставляли на 30 минут для высушивания примесей. После этого фильтр с высаженной пробой помещали в прибор и снимали импульсы пробы масла. Количество импульсов нерастворимых примесей по каналу *Fe* рассчитывали по формуле:

$$C_{np} = C_{об} - C_{ф}, \quad (5.3)$$

где  $C_{np}$  – количество импульсов нерастворимых примесей;  $C_{об}$  – количество импульсов пробы масла;  $C_{ф}$  – количество импульсов фильтра.

*Определение количества импульсов проб масел.*

Пробы масел, в которых ранее уже было определено содержание нерастворимых примесей путем центрифугирования, высаживались на фильтры, с которых заранее были сняты показания импульсов, и проверялись на количество импульсов (табл. 5.5).

Таблица 5.5 – Содержание нерастворимых примесей от пробега автомобилей

№ пробы	Среднее содержание железа в масле		Пробег, км
	массовое содержание в пробе, г	массовое содержание в трансмиссии, г	
0	0,001	0,003	0
1	0,002	0,050	3267
2	0,006	0,151	6720
3	0,014	0,352	10012
4	0,028	0,705	13822
5	0,039	0,982	16108
6	0,054	1,360	19016
7	0,072	1,814	22873
8	0,081	2,041	29604

Данные по результатам исследований проб масел на количество импульсов по каналу *Fe* представлены в таблице 5.6.

Таким образом, установлено, что определенному содержанию примесей соответствует определенное количество импульсов, которое тем выше, чем больше содержится *Fe* в масле.

Таблица 5.6 – Количество импульсов по каналу *Fe*

№ фильтра	Количество импульсов		
	фильтра	осадка на фильтре	осадка по каналу <i>Fe</i>
1	350	360	10
2	357	369	12
3	332	345	13
4	338	359	21
5	332	372	40
6	326	371	45
7	328	415	87
8	341	440	99
9	334	452	118

По полученным данным построен график зависимости импульсов от содержания *Fe* в масле с линией тренда (рис. 5.27).

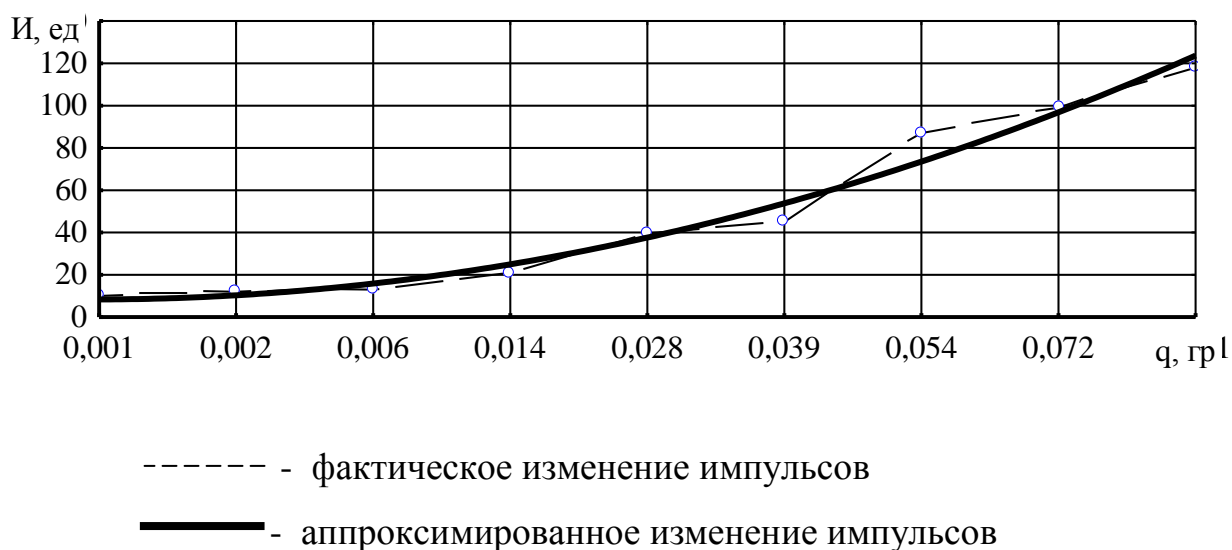


Рисунок 5.27 – Полиномиальная кривая зависимости импульсов (*I*) от массового содержания железа (*q*)

Величина достоверности аппроксимации по коэффициенту корреляции составляет  $R^2 = 0,9511$ .

На основании данных исследования проб масел по количеству импульсов и определения содержания продуктов износа по *Fe* построен график зависимости содержания железа от пробега автомобилей (рис. 5.28).

Исследования частично восстановленных масел в трансмиссиях тракторов показали результаты, представленные в таблице 5.7.

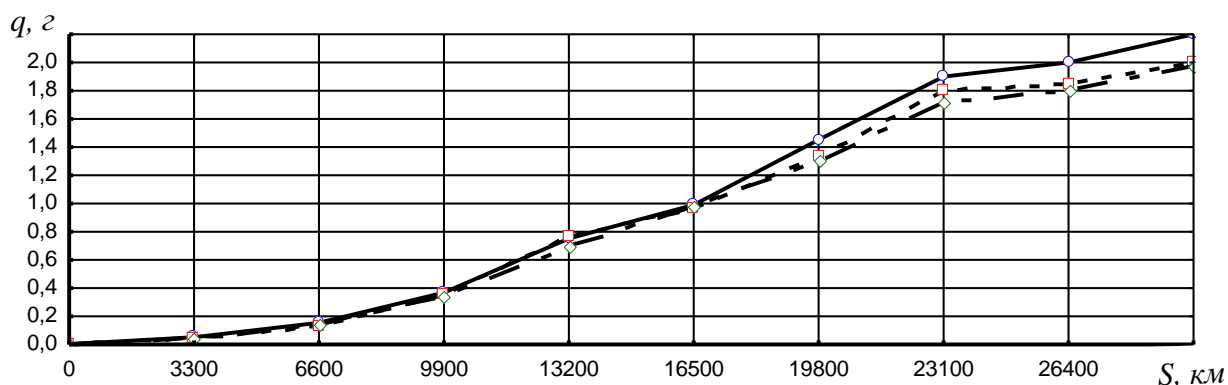


Рисунок 5.28 – График изменения массового содержания железа ( $q$ ) от пробега ( $S$ ) автомобилей

Таблица 5.7 – Содержание нерастворимых примесей от наработки тракторов

№ пробы	Среднее содержание железа в масле		Наработка, мото-ч
	массовое содержание в пробе, г	массовое содержание в конечной передаче, г	
0	0,001	0,003	0
1	0,008	0,132	128
2	0,032	0,531	246
3	0,059	0,979	389
4	0,078	1,294	514
5	0,094	1,560	644
6	0,109	1,809	822
7	0,120	1,992	934
8	0,146	2,423	980

На основании данных исследования проб масел по количеству импульсов и определения содержания продуктов износа по  $Fe$  построен график зависимости содержания железа от наработки тракторов (рис. 5.29).

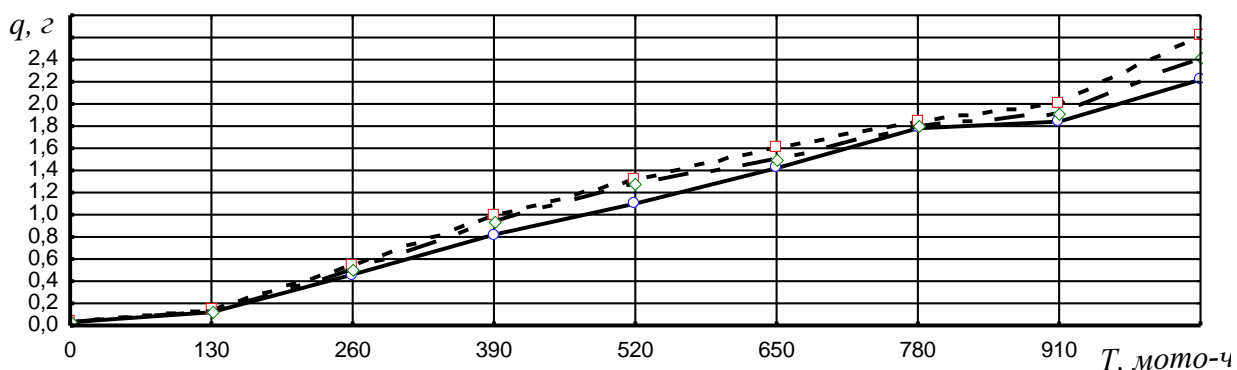


Рисунок 5.29 – График изменения массового содержания железа ( $q$ ) от наработки ( $T$ ) тракторов

График зависимости количества импульсов от массового содержания железа по каналу  $Fe$  позволяет определять содержание продуктов износа в отработанном минеральном масле.

### 5.6 Результаты эксплуатационных исследований очищенных и частично восстановленных моторных минеральных масел в автотракторных трансмиссиях

Для определения полной взаимозаменяемости частично восстановленных отработанных моторных минеральных масел с товарными трансмиссионными маслами проводились сравнительные исследования в условиях реальной эксплуатации в трансмиссиях автомобилей КамАЗ-55102 и конечных передачах тракторов Т-150К.

После подготовки трансмиссии и заправки их исследуемым маслом автомобили и тракторы пускались в эксплуатацию [119].

Исследования частично восстановленных отработанных моторных масел проводились в соответствии с разработанной программой эксплуатационных исследований. Отбор проб проводился через 1000 км пробега у автомобилей и 60 мото-ч у тракторов в конце рабочей смены, когда масло в трансмиссии находилось в хорошо перемешанном состоянии при температуре 40...60 °С. Все отобранные пробы анализировались по разработанным по-

казателям. В результате проведенных исследований было выявлено следующее (табл. 5.8, Приложение Ю).

У товарного масла ТМ-3-18 за период исследований кинематическая вязкость с 14,9 мм<sup>2</sup>/с к 13822 км пробега увеличилась до 15,0 мм<sup>2</sup>/с, а к 29604 км пробега увеличилась до 15,2 мм<sup>2</sup>/с, у очищенного масла частично восстановленного с МС-20П с 14,9 мм<sup>2</sup>/с до 15,2 мм<sup>2</sup>/с (Приложение Н, рис. 5.30).

Щелочное число у товарного ТМ-3-18 снизилось через 29604 км пробега с 3,2 до 0,3 мг КОН/г, у восстановленного масла соответственно с 3,2 до 2,1 мг КОН/г (Приложение Ф, рис. 5.32). Кислотное число увеличилось у масла ТМ-3-18 до 2,9 мг КОН/г, у очищенного масла с МС-20П – до 2,4 мг КОН/г (Приложение Ц, рис. 5.33).

Таблица 5.8 - Результаты эксплуатационных исследований частично восстановленных моторных масел в трансмиссии автомобилей КамАЗ-55102

Наименование масла	Пробег, км	Показатели				
		кинематическая вязкость, мм <sup>2</sup> /с	содержание нерастворимых примесей, %	содержание Fe, г	щелочное число, мг КОН/г	кислотное число, мг КОН/г
ТМ-3-18	0	14,5	0,0105	0,001	3,2	-
	13822	14,3	1,2	0,705	1,2	2,5
	29604	15,2	1,4	2,041	0,3	2,9
ОМ+ МС-20П	0	14,9	0,0154	0,003	3,2	-
	13822	15,0	1,8	0,812	2,3	2,3
	29604	15,2	1,8	1,998	2,1	2,4

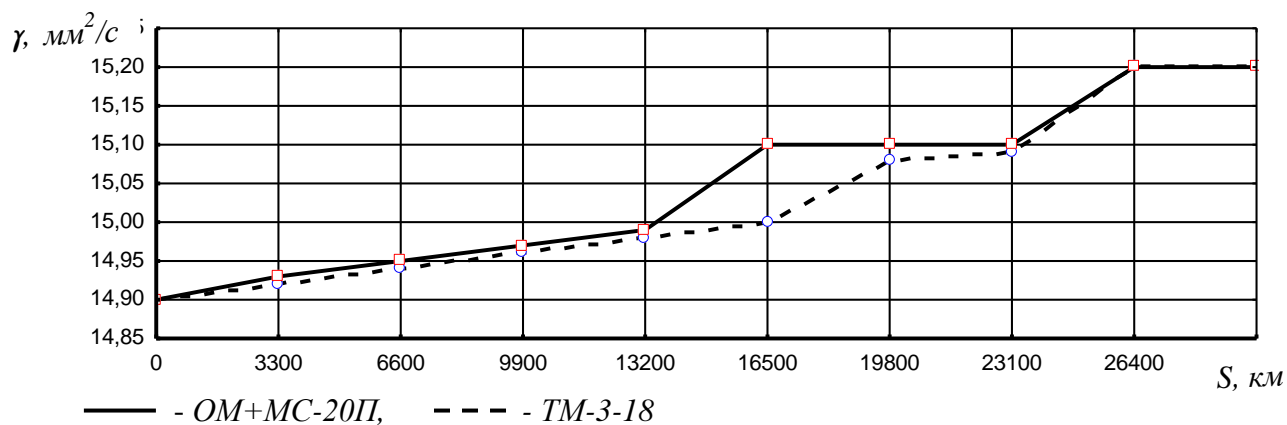


Рисунок 5.30 – Изменение кинематической вязкости ( $\gamma$ ) частично восстановленного и товарного масла от пробега ( $S$ ) автомобилей

Содержание нерастворимых примесей соответственно увеличилось с 0,0105 % до 1,2 % у масла ТМ-3-18 и у частично восстановленного масла – с 0,0154 % до 1,9 %. (Приложение Т, рис. 5.31).

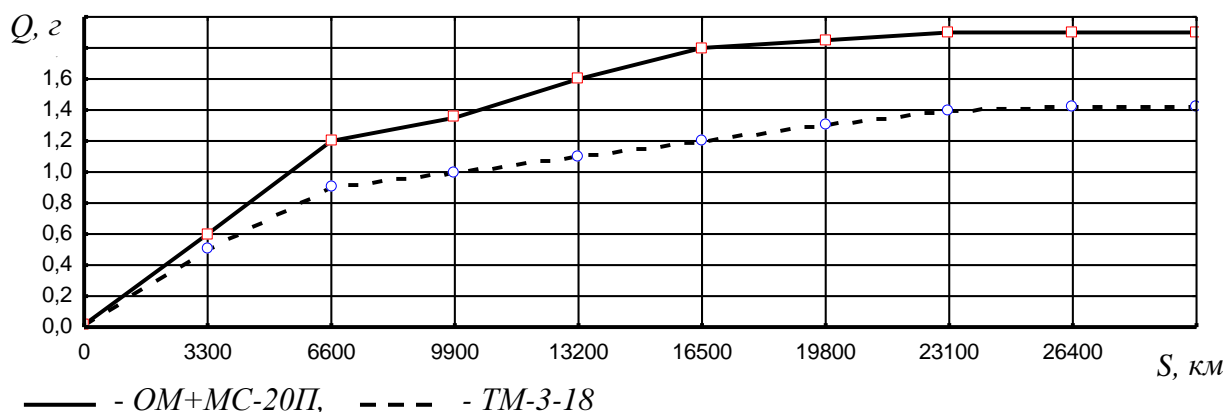


Рисунок 5.31 – Изменение содержания нерастворимых примесей ( $Q$ ) в частично восстановленном и товарном масле от пробега ( $S$ ) автомобилей

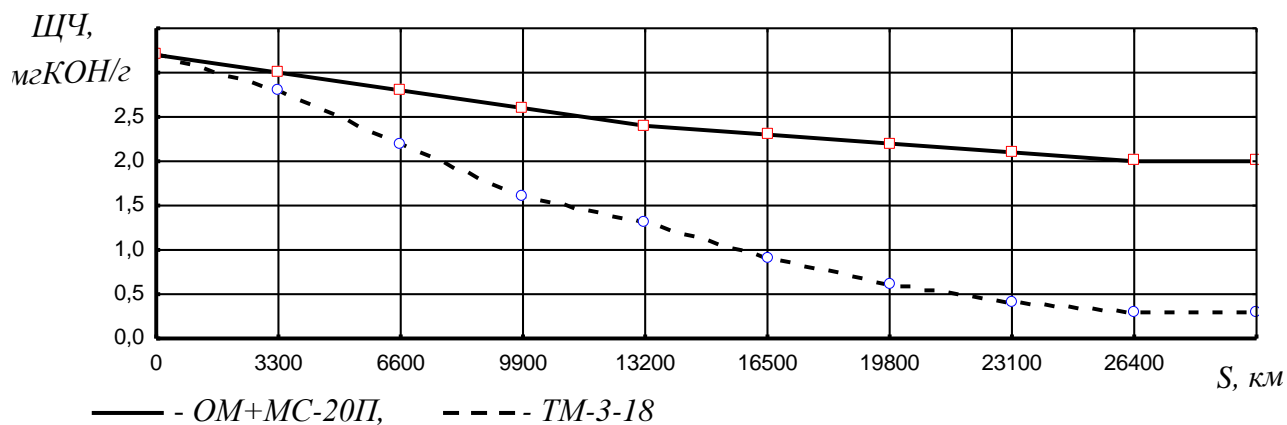


Рисунок 5.32 – Изменение щелочного числа (ЩЧ) частично восстановленного и товарного масла от пробега (S) автомобилей

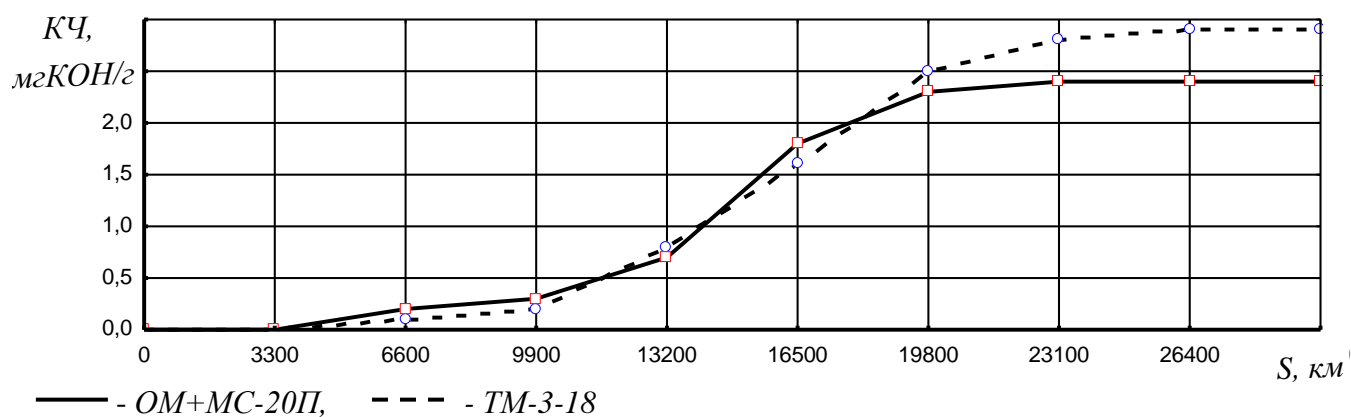


Рисунок 5.33 – Изменение кислотного числа (КЧ) частично восстановленного и товарного масла от пробега (S) автомобилей

Содержание продуктов износа у товарного масла ТМ-3-18 увеличилось с 0,001 г до 2,041 г, а у частично восстановленного масла – с 0,003 г до 1,998 г (Приложение Щ, рис. 5.33).

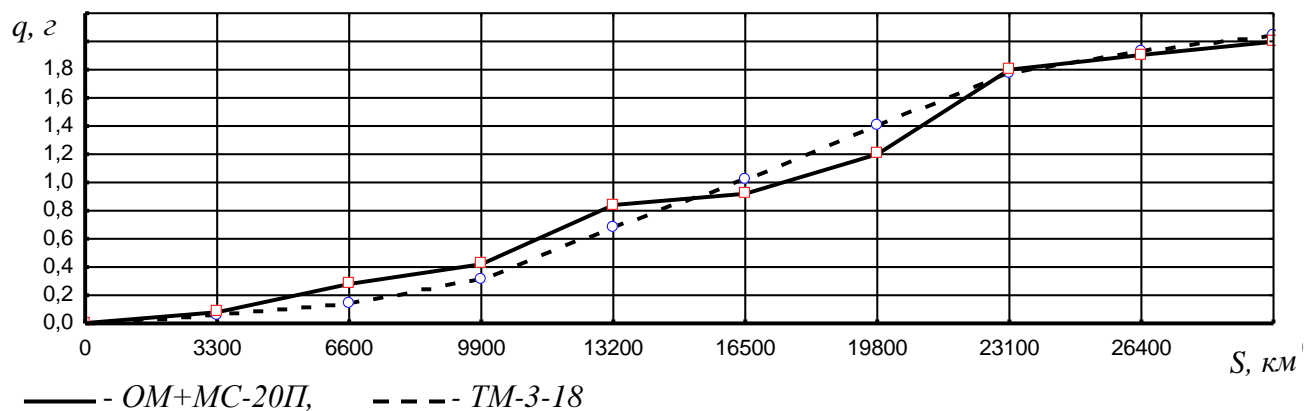


Рисунок 5.34 – Изменение массового содержания Fe (q) в частично восстановленном и товарном масле от пробега (S) автомобилей

Результаты исследований частично восстановленного масла в трансмиссиях тракторов Т-150К представлены в таблице 5.9 (Приложение Я).

Таблица 5.9 – Результаты эксплуатационных исследований частично восстановленных моторных масел в конечных передачах тракторов Т-150К

Наименование масла	Наработка, мото-ч	Показатели				
		кинематическая вязкость, мм <sup>2</sup> /с	содержание нерастворимых примесей, %	содержание Fe, г	щелочное число, мг КОН/г	кислотное число, мг КОН/г
ТМ-3-18	0	14,5	0,0105	0,003	3,2	-
	514	14,8	1,4	1,294	1,2	2,8
	980	15,9	2,1	1,998	0,1	3,2
ОМ+МС-20П	0	14,9	0,0154	0,003	3,2	-
	514	15,9	1,9	1,356	2,1	3,1
	980	16,2	2,8	1,992	0,4	3,4

У товарного масла ТМ-3-18 за период исследований кинематическая вязкость к 514 мото-ч наработки увеличилась с 14,5 мм<sup>2</sup>/с до 14,8 мм<sup>2</sup>/с, а к 934 мото-ч наработки увеличилась до 15,9 мм<sup>2</sup>/с, у частично восстановленного масла с 14,9 мм<sup>2</sup>/с до 16,2 мм<sup>2</sup>/с (Приложение П, рис. 5.35). Содержание нерастворимых примесей соответственно увеличилось с 0,0105 % до 2,1 % у масла ТМ-3-18 и с 0,0154 % до 2,8 % – у частично восстановленного масла с добавкой МС-20П (Приложение У, рис. 5.36).

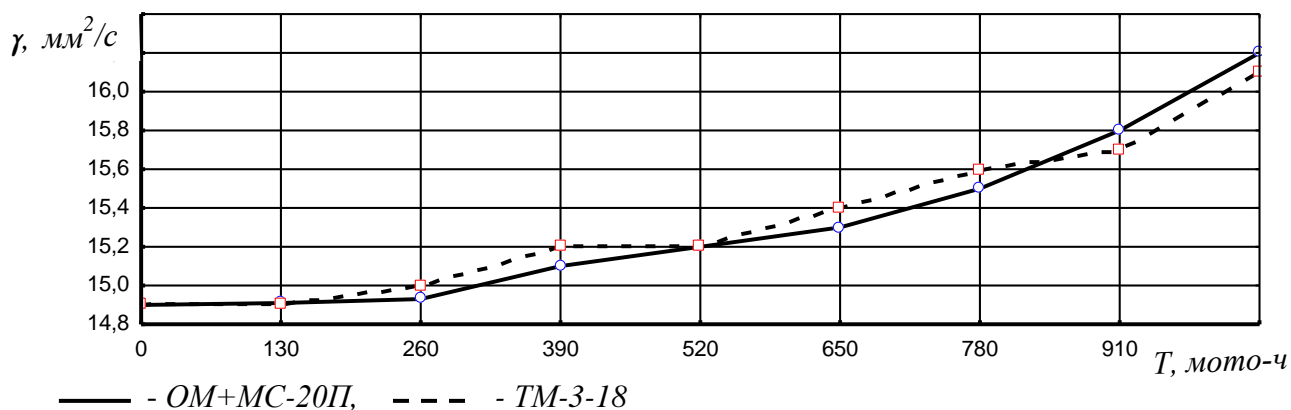


Рисунок 5.35 – Изменение кинематической вязкости ( $\gamma$ ) частично восстановленного и товарного масла от наработки (T) тракторов



Щелочное число у товарного ТМ-3-18 снизилось через 934 мото-ч наработки с 3,2 мг КОН/г до 0,1 мг КОН/г, у частично восстановленного масла соответственно с 3,2 мг КОН/г до 0,4 мг КОН/г (Приложение X, рис. 5.37).

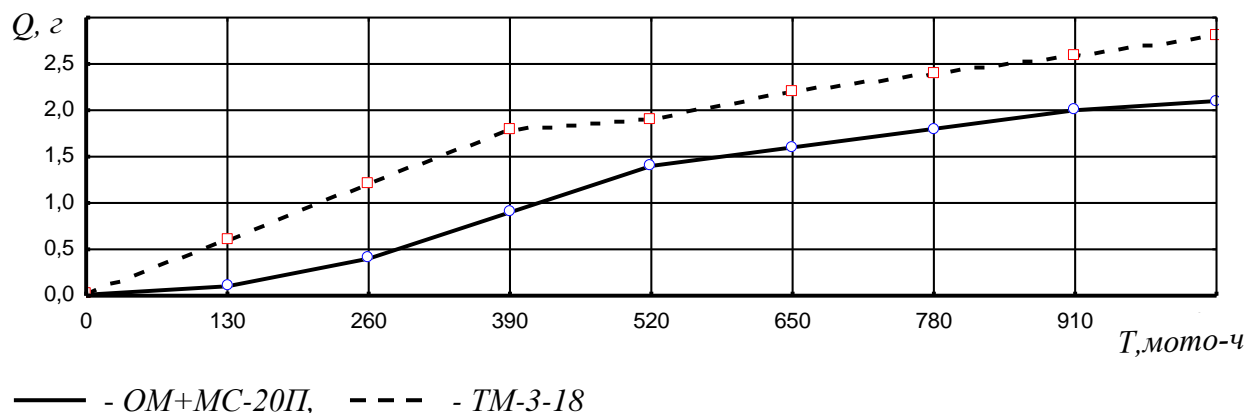


Рисунок 5.36 – Изменение содержания нерастворимых примесей ( $Q$ ) в частично восстановленном и товарном масле от наработки ( $T$ ) тракторов

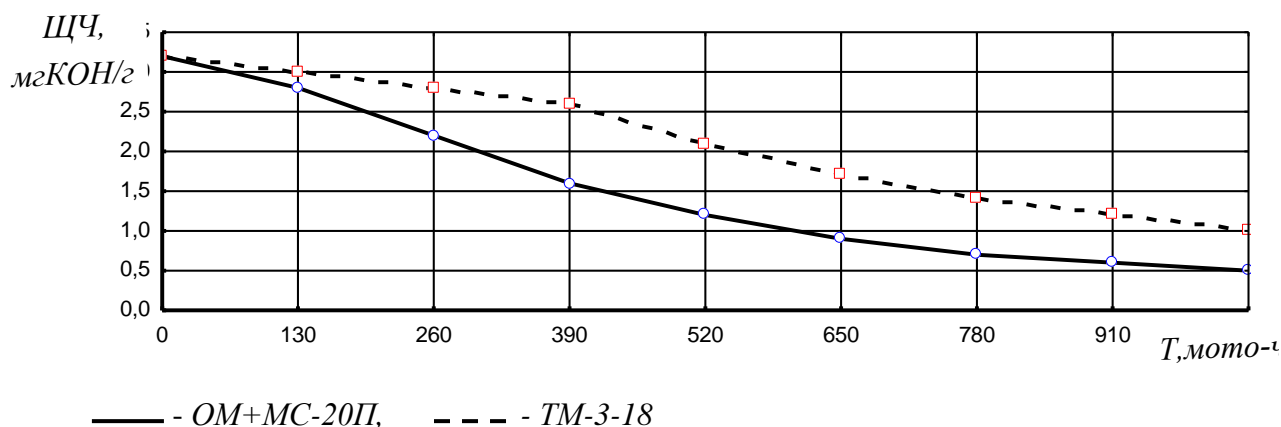


Рисунок 5.37 – Изменение щелочного числа ( $ЩЧ$ ) частично восстановленного и товарного масла от наработки ( $T$ ) тракторов

Кислотное число у масла ТМ-3-18 увеличилось до 3,2 мг КОН/г, у частично восстановленного масла – до 3,4 мг КОН/г (Приложение Ш, рис. 5.38). Содержание продуктов износа у товарного масла ТМ-3-18 увеличилось с 0,001 г до 1,998 г, а у частично восстановленного масла с 0,003 г до 1,992 г (Приложение Э, рис. 5.39).

Для подготовки проб масел к анализу на определение активных металлов по каналу *Va* прибора БАРС-3 проводилась высадка анализируемого

масла на фильтрующий элемент, с которого предварительно было снято количество импульсов фона. Высадка проводится на фильтр «Красная лента» диаметром 30 мм.

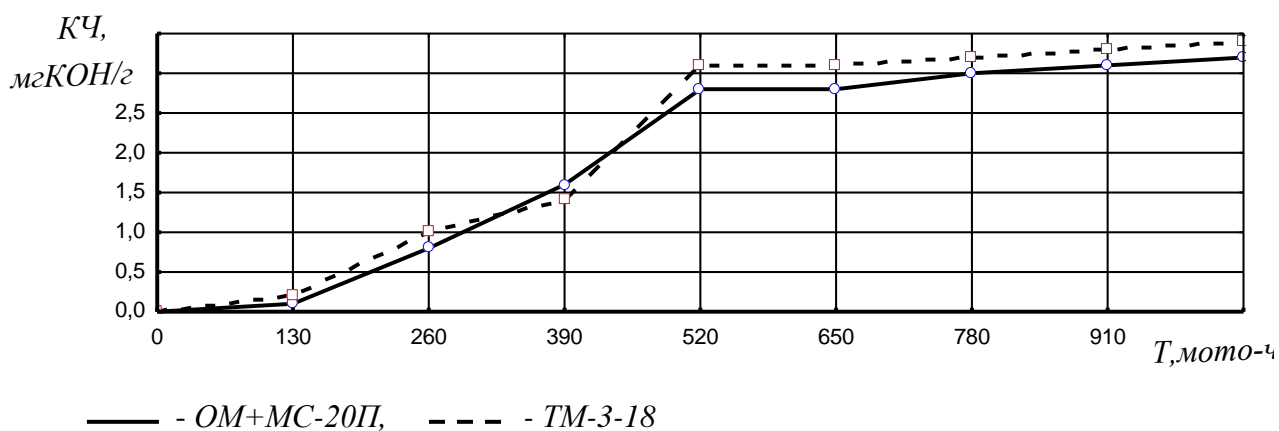


Рисунок 5.38 – Изменение кислотного числа (КЧ) частично восстановленного и товарного масла от наработки (T) тракторов

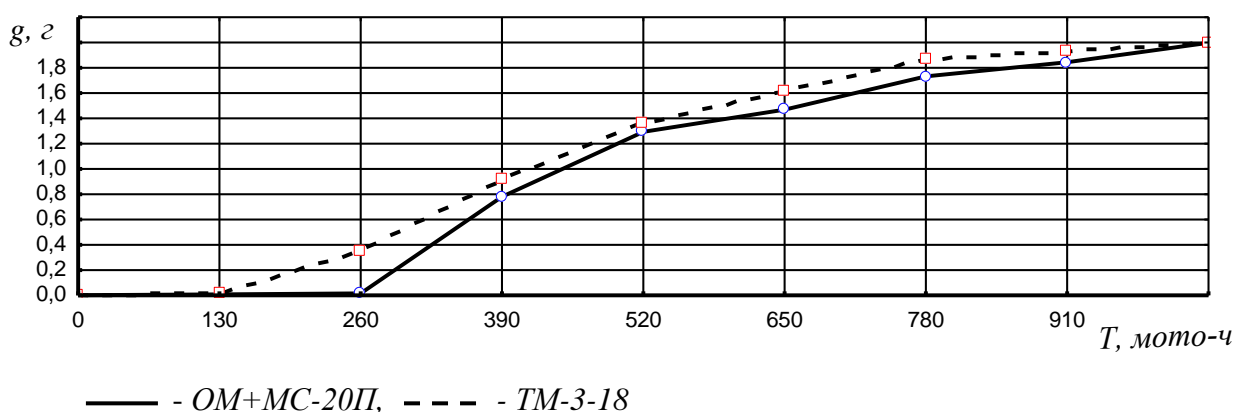


Рисунок 5.39 – Изменение массового содержания железа (q) в частично восстановленном и товарном масле от наработки (T) тракторов

Фильтр с высаженным маслом высушивался при температуре 115 °С в течение 30 минут. После этого проводилось снятие импульсов пробы масла. Количество импульсов активных металлов определялось по формуле:

$$C_{np} = C_{об} - C_{ф}, \quad (5.6)$$

где  $C_{np}$  – количество импульсов активного металла;  $C_{об}$  – количество импульсов пробы масла;  $C_{ф}$  – количество импульсов фильтра.

### Определение количества импульсов проб масел.

Для определения содержания активных металлов присадок в маслах был построен тарировочный график зависимости импульсов по каналу *Va* от его содержания в масле (рис. 5.40).

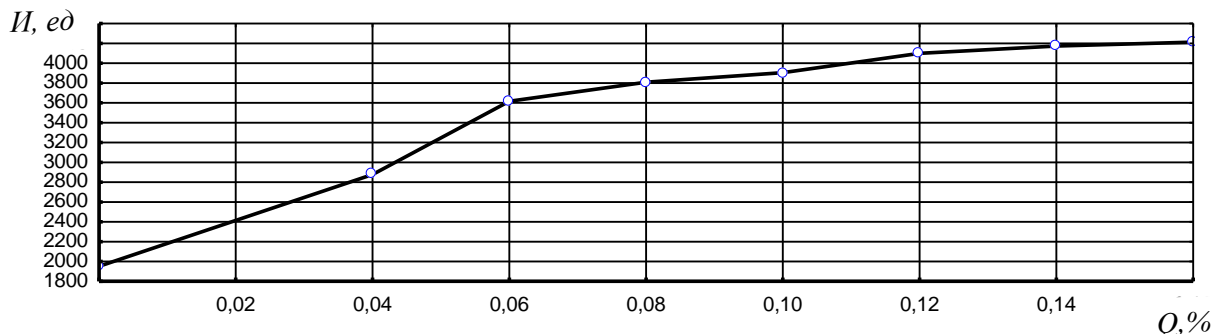
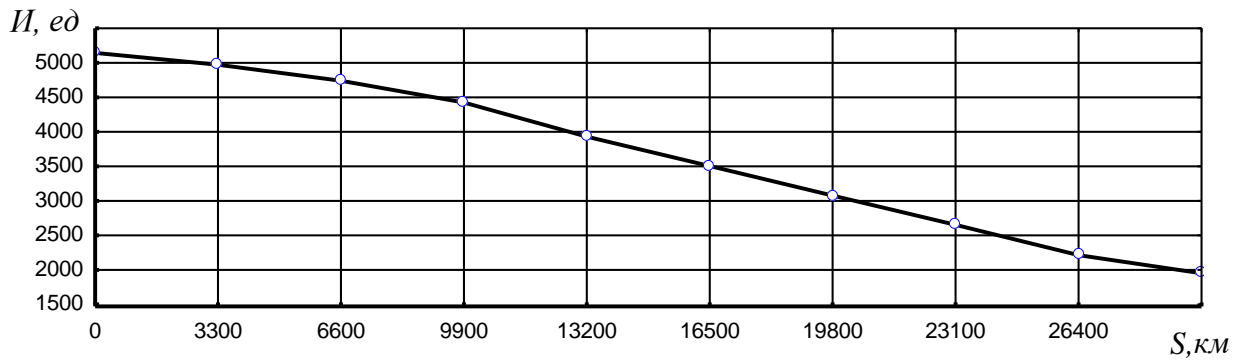


Рисунок 5.40 – Тарировочный график определения количества импульсов (*I*) от содержания *Va* (*Q*) в масле

Тарировка прибора БАРС-3 производилась путем введения в базовое масло ДС-10 компонентов соли циклогексанмасляной кислоты бариевой  $C_{20}H_{34}BaO_4$  в строго дозированных количествах в процентном соотношении, после чего по разработанной методике проводилось снятие импульсов не менее двенадцати замеров по каждой пробе по каналу *Va*.

Содержание активных металлов определялось в каждой отобранной пробе с последующим определением среднего значения по всем группам исследуемых автомобилей и тракторов.

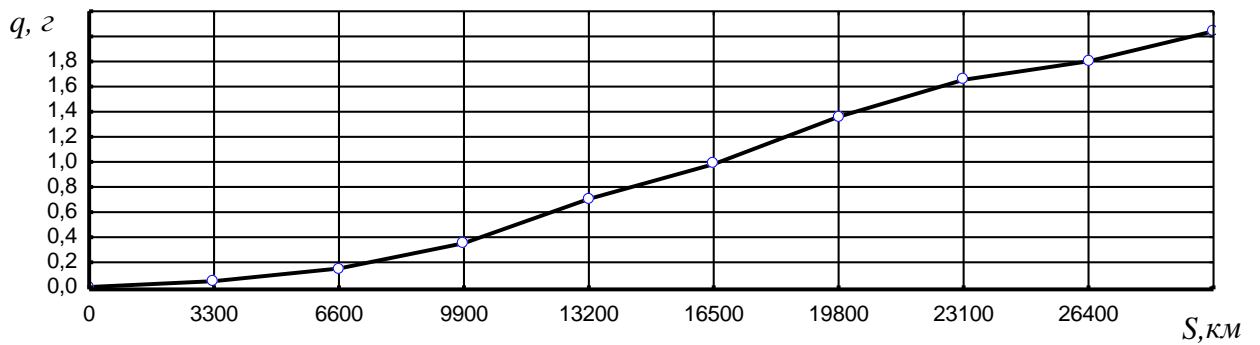
На основании полученных результатов и тарировочных графиков определено изменение содержания активного металла присадок от пробега автомобилей (Приложение А1, В1 рис.5.41 – 5.43).



*Рисунок 5.41 – Среднее значение изменения содержания Ва по количеству импульсов (I) в частично восстановленном и товарном масле от пробега (S) автомобилей*



*Рисунок 5.42 – Изменение содержания Ва (K) в частично восстановленном и товарном масле от пробега (S) автомобилей*



*Рисунок 5.43 – Изменение содержания Fe (q) в исследуемых маслах от пробега (S) автомобилей*

Аналогичным образом определена срабатываемость присадок в конечных передачах тракторов Т-150К (Приложение Б1, Г1 рис. 5.44, 5.45). Результаты исследований показали следующее.

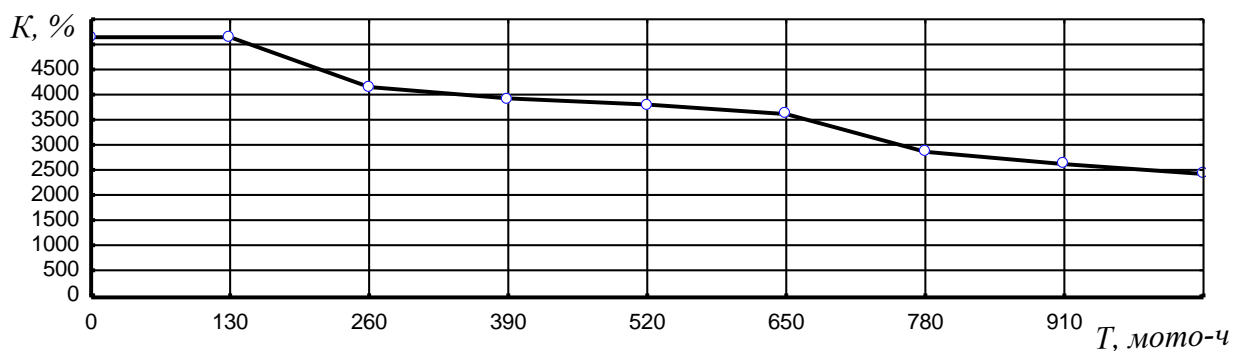


Рисунок 5.44 – Среднее значение изменения содержания  $Va$  по количеству импульсов ( $I$ ) в частично восстановленном и товарном масле от наработки тракторов ( $T$ )

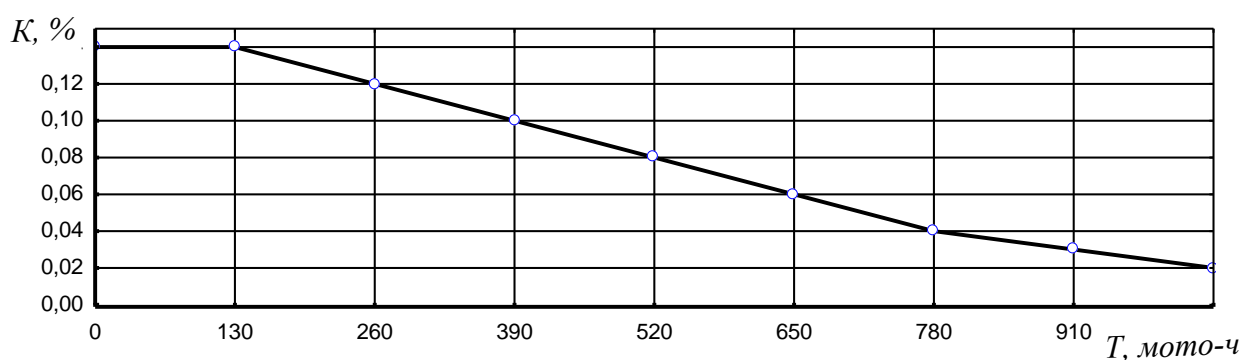


Рисунок 5.45 – Изменение содержания  $Va$  ( $K$ ) в исследуемом масле от наработки тракторов ( $T$ )

Результаты исследований по содержанию продуктов износа  $Fe$  в исследуемых маслах представлены на рисунке 5.46.

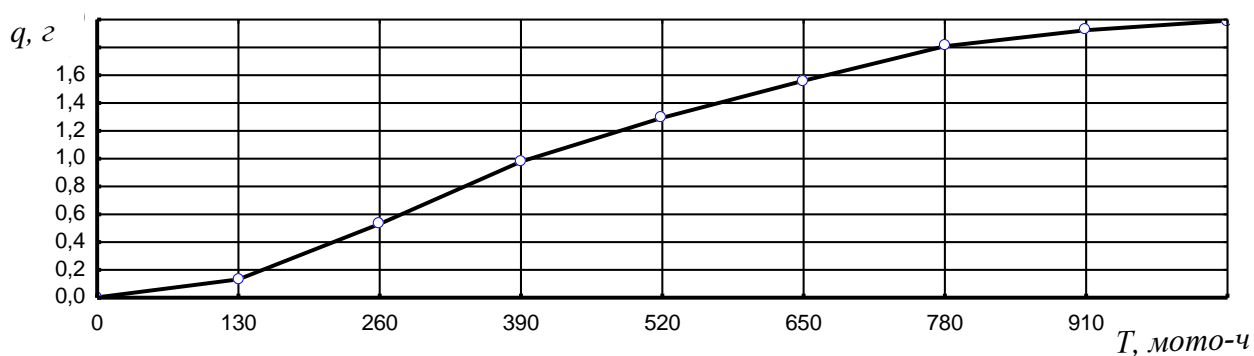
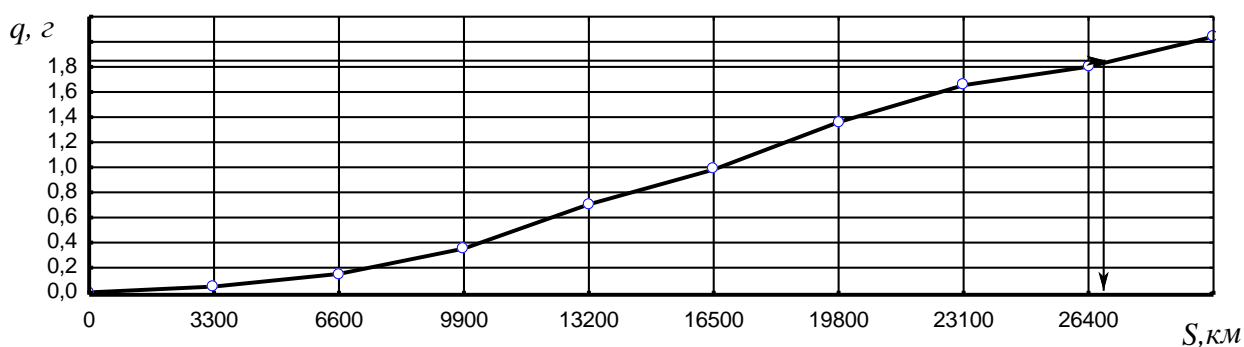


Рисунок 5.46 – Изменение содержания  $Fe$  ( $q$ ) в исследуемом масле от наработки тракторов ( $T$ )

Как видно из полученных данных, динамика изменения основных оценочных показателей частично восстановленного отработанного минерального масла и товарного масла ТМ-3-18 практически одинакова. Коэффициент

корреляции оценочных показателей для исследуемых масел составил: по кинематической вязкости  $R=0,989$ , по содержанию нерастворимых примесей  $R=0,995$ , по щелочному числу  $R=0,995$ , по кислотному числу  $R=0,974$ , по содержанию продуктов износа ( $Fe$ )  $R=0,979$ , по содержанию присадок ( $Ba$ )  $R=0,994$  (Приложение Д1).

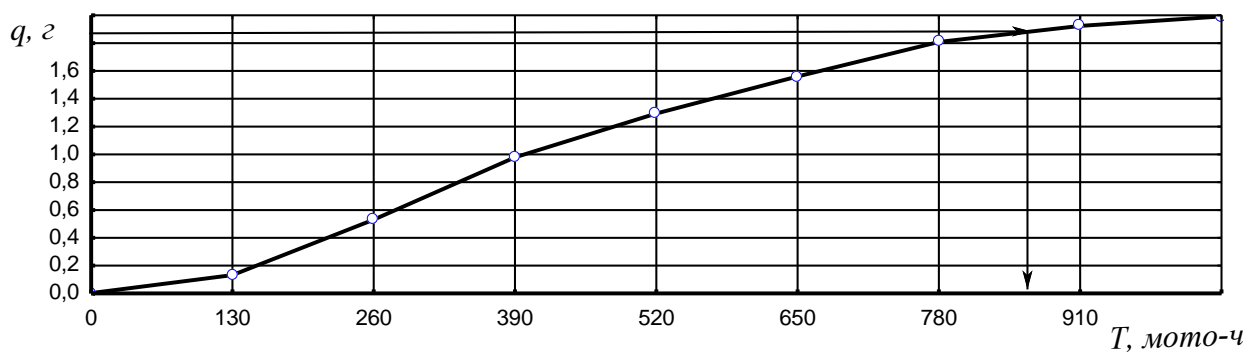
Руководствуясь исследованными значениями основных показателей качества очищенного моторного масла, по которым принимается решение о использовании его в трансмиссиях тракторов и автомобилей, получена зависимость продолжительности работы масла от содержания продуктов износа и определен пробег и наработку, до его замены на новое (рис.5.47, 5.48).



*Рисунок 5.47 – График определения продолжительности работы восстановленных моторных масел в трансмиссии автомобилей КамАЗ-55102*

Исходя из рекомендуемых данных смены работающих масел по содержанию продуктов износа ( $Fe$ ) не более 1,82 г, установлено, что замену масла в трансмиссиях автомобилей КамАЗ-55102 необходимо проводить через 26700 км пробега.

Замену масла в конечных передачах тракторов Т-150К необходимо проводить через 880 мото-ч наработки (рис. 5.48).



*Рисунок 5.48 – График определения продолжительности работы  
восстановленных моторных масел в конечных передачах  
тракторов Т-150К*

Таким образом, на основании проведенных лабораторных и эксплуатационных исследований можно заключить, что частично восстановленные моторные минеральные масла могут являться заменителями товарного трансмиссионного масла ТМ-3-18 и использоваться в трансмиссиях автомобилей и конечных передачах тракторов.

## **Выводы**

1. Определены оптимальные технологические режимы процесса очистки и частичного восстановления эксплуатационных свойств отработанных моторных минеральных масел: время отстоя 27...30 ч.; температура нагрева для удаления воды и легких топливных фракций 100...105 °С, время нагрева – 1,5...2 ч; давление входного потока масла в гидроциклоне – 0,4 МПа; режим центрифугирования – 9000 мин<sup>-1</sup>; фильтрование при перепаде давления в фильтре – 0,99 МПа; температура ввода масла МС-20П – 85...90 °С, время компаундирования – 3 ч.

2. Установлены оптимальные конструктивные параметры гидроциклона: отношение диаметра к высоте 1:1, угол наклона входного патрубка 10°, сечение входного патрубка – круглое, угол конической части 10°, длина ко-

нической части 90 мм; магнитного очистителя: диаметр барабана – 140 мм, ширина барабана – 140 мм. Материал для фильтрующего элемента - войлок.

3. Частично восстановленные отработанные моторные минеральные масла, предлагаемым многоступенчатым способом, не уступают по противозносным и противозадирным свойствам (диаметр пятна износа частично восстановленных масел составляет 0,32 мм, предельная нагрузка 87,6 МПа), товарному маслу ТМ-3-18 (соответственно 0,30 мм и 60 МПа).

4. Предложена система показателей для оценки частично восстановленного масла, позволяющая объективно и точно оценить эксплуатационные свойства очищенного моторного минерального масла и остаточный срок его службы.

5. Производственные исследования товарных и частично восстановленных отработанных моторных минеральных масел в трансмиссии автомобилей КамАЗ-55102 и конечных передачах тракторов Т-150К показали, что очищенные масла могут использоваться в трансмиссиях со сроком службы 88...90 % от срока службы товарного масла ТМ-3-18.



## **6 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ**

### **6.1 Общий подход к оценке экономической эффективности**

Общий подход к оценке экономической эффективности от внедрения многоступенчатого способа и модульной установки для очистки отработанных моторных минеральных масел и частичного восстановления их эксплуатационных свойств основан на том, что внедрение предлагаемых разработок приведет к снижению затрат на использование трансмиссионного масла без снижения его качества и небольшого срока окупаемости дополнительных капитальных вложений [21, 67, 115].

Эффективность от продления срока службы и использовании частично восстановленных отработанных моторных минеральных масел рассчитываем на примере Ульяновского района Ульяновской области с парком автомобилей КамАЗ – 148 единиц и тракторов Т-150К – 24 единицы.

### **6.2 Расчет эффективности при использовании частично восстановленного отработанного моторного минерального масла**

Экономический расчет выполним, исходя из результатов эксплуатационных исследований очищенных и частично восстановленных отработанных моторных минеральных масел.

Определим потребное количество очищенного моторного масла для использования в трансмиссии тракторов и автомобилей.

$$Q_{mp} = n_{mp} \cdot q_{kn}, \quad (6.1)$$

$$Q_{авт} = n_{авт} \cdot q_{ем}, \quad (6.2)$$

где  $n_{\delta}$  и  $n_{авт}$  – соответственно, количество тракторов и автомобилей, ед;

$q_{\text{эi}}$  – количество масла, заливаемое в конечную передачу трактора, кг;

$q_{\text{ав}}$  – количество масла, заливаемое в ведущий мост автомобиля, кг.

Годовая потребность в очищенных и частично восстановленных отработанных моторных минеральных маслах будет определяться, исходя из наработки тракторов и пробега автомобилей и сроков смены масла

$$Q_{mp}^c = \frac{N}{m} \cdot Q_{mp}, \quad (6.3)$$

$$Q_{авт}^c = \frac{S}{m} \cdot Q_{авт}, \quad (6.4)$$

где  $N$  – годовая наработка трактора, мото-ч.;  $S$  – годовой пробег автомобиля, км;  $m$  – периодичность смены масла.

$$Q_{mp} = 24 \cdot 8,3 = 199 \text{ кг.}$$

$$Q_{авт} = 148 \cdot 12,6 = 1864 \text{ кг.}$$

$$Q_{mp}^c = \frac{3072}{960} \cdot 199,2 = 637 \text{ кг.}$$

$$Q_{авт}^c = \frac{326000}{30000} \cdot 1864,8 = 20264 \text{ кг.}$$

Общая годовая потребность в трансмиссионном масле составит

$$Q^c = Q_{mp}^c + Q_{авт}^c = 637 + 20264 = 20901 \text{ кг.}$$

Стоимость очистки отработанных моторных минеральных масел будет определяться

$$\mathcal{E}_0 = \mathcal{Z}_{no} + H + A + C_{эл} + (C_{оммм} \cdot k_0) + T_{mp}^0, \quad (6.5)$$

где  $\mathcal{Z}_{no}$  – основная заработная плата оператора модульной установки, руб.;  $H$  – отчисления на страховые взносы, руб.;  $A$  – амортизационные отчисления, руб.;  $C_{эл}$  – затраты на электроэнергию, руб.;  $C_{оммм}$  – стоимость отработанных моторных минеральных масел, руб.;  $k_0$  – коэффициент, учитывающий доплату за сбор отработанных моторных минеральных масел ( $k_0=1,3$ );  $T_{mp}^0$  – затраты на доставку отработанных моторных минеральных масел, руб.

Основная заработная плата

$$\mathcal{Z}_{no} = T_0 \cdot C \cdot k, \quad (6.7)$$

где  $T_0$  – трудоемкость очистки отработанных моторных минеральных масел, чел.ч;  $C$  – тарифная ставка оператора, руб.;  $k=1,3$  – коэффициент, учитывающий размер доплат

$$Z_{no} = 112,4 \cdot 76,19 \cdot 1,3 = 11133 \text{ руб.}$$

Амортизационные отчисления в год:

$$A = \frac{C_{my}}{C_m} \cdot 12, \quad (6.8)$$

где  $C_{my}$  – стоимость модульной установки для очистки частичного восстановления масла ( $C_{my}=78290$ руб), руб.;  $C_m$  – срок эксплуатации, мес.

$$A = \frac{78290}{84} \cdot 12 = 11184 \text{ руб.}$$

Затраты на электроэнергию:

$$C_{эл} = N_0 \cdot K_{эл}, \quad (6.9)$$

где  $N_0$  – затрачиваемая электроэнергия на очистку отработанных моторных минеральных масел, кВт;  $K_{эл}$  – стоимость электроэнергии, руб./кВт.

$$C_{эл} = 1956 \cdot 4,86 = 9506 \text{ руб.}$$

По данным на 2011 год, стоимость отработанных моторных минеральных масел составляет 8 рублей за килограмм. Тогда

$$C_{оммм} = Q^2 \cdot 8 = 20901 \cdot 8 = 167208 \text{ руб.} \quad (6.10)$$

Транспортные затраты на доставку отработанных моторных минеральных масел составляет

$$T_{mp}^0 = T_{mp} \cdot Q_o^2, \quad (6.11)$$

где  $T_{mp}$  – затраты на перевозку 1т отработанных моторных минеральных масел, руб.;  $Q_o^2$  – годовой объем перевозимого отработанного моторного минерального масла, т.

$$T_{mp} = L \cdot C, \quad (6.12)$$

где  $L$  – среднее расстояние перевозки от пункта сбора до места очистки и частичного восстановления отработанных моторных минеральных масел, км;  $C$  – стоимость одного километра перевозок, руб.

$$T_{mp} = 40 \cdot 18 = 720 \text{ руб} / \text{т} .$$

Транспортные затраты на весь объем собираемых отработанных моторных минеральных масел

$$T_{mp}^0 = 20,901 \cdot 720 = 15049 \text{ руб} .$$

Таким образом, годовые издержки на очистку отработанных моторных минеральных масел составят

$$\mathcal{E}_0 = 11133 + 3785 + 11184 + 9505 + (167208 \cdot 1,3) + 15049 = 268027 \text{ руб} .$$

Стоимость очищенного 1кг отработанного моторного минерального масла (включая остаточную стоимость отработанного моторного минерального масла)

$$C_0 = \frac{\mathcal{E}_0}{Q_0^c} = \frac{268027}{20901} 12,8 \text{ руб} . / \text{кг} . \quad (6.13)$$

Стоимость частично восстановленных эксплуатационных свойств отработанных моторных минеральных масел будет определяться

$$\mathcal{E}_c = \mathcal{Z}_{не} + H + C_{мс} + A + C_{эл} + (C_{оммм} \cdot k_0) + T_{mp}^0 , \quad (6.14)$$

где  $\mathcal{Z}_{не}$  – основная заработная плата оператора модульной установки по очистке и частичного восстановления отработанных моторных минеральных масел, руб.;  $C_{мс}$  – стоимость приобретения минеральной добавки в виде масла МС-20П, руб.

Исходя из результатов исследований для частичного восстановления отработанных моторных минеральных масел необходимо добавить 17 % масла МС-20П. Тогда необходимое количество МС-20П для восстановления годового объема отработанных моторных минеральных масел будет определяться

$$Q_{мс} = Q_0^c \cdot 0,17 = 20901 \cdot 0,17 = 3553 \text{ кг} . \quad (6.15)$$

Основная заработная плата

$$\mathcal{Z}_{не} = (T_0 + T_{к}) \cdot C \cdot k , \quad (6.16)$$

где  $T_{к}$  – трудоемкость компаундирования, чел.ч.

$$\mathcal{Z}_{не} = (112,4 + 5,6) \cdot 76,19 \cdot 1,3 = 11688 \text{ руб} .$$

Отчисления на страховые взносы

$$H = 0,34 \cdot 111688 = 3974 \text{ руб.}$$

Стоимость приобретенного масла

$$C_{mc} = (Q_{mc} \cdot K_{mc}) + T_{трв}, \quad (6.17)$$

где  $K_{mc}$  – стоимость масла МС-20П, руб./кг;  $T_{трв}$  – транспортные затраты на доставку масла МС-20П, руб.

$$T_{трв} = L_{г} \cdot C_{г}, \quad (6.18)$$

где  $L_{г}$  – расстояние перевозки масла с терминала до пункта очистки и частичного восстановления отработанных моторных минеральных масел, км;  $C_{г}$  – стоимость 1 км перевозки, руб.

$$T_{трв} = 40 \cdot 34 = 1360 \text{ руб.}$$

Тогда  $C_{mc} = (3553 \cdot 34) + 1360 = 122196 \text{ руб.}$

Затраты на электроэнергию

$$C_{эл} = (N + N_k) \cdot K_{эл}, \quad (6.19)$$

где  $N_k$  – затраты электроэнергии на компаундирование отработанных моторных минеральных масел с маслом МС-20П, кВт.

$$C_{эл} = (1956 + 44) \cdot 4,86 = 9720 \text{ руб.}$$

Потребность в отработанных моторных минеральных маслах при восстановлении будет определяться

$$Q_{олмм} = Q_0^e - Q_{mc}^e = 20901 - 3553 = 17348 \text{ кг.}$$

Тогда затраты на отработанные моторные минеральные масла составят

$$C_{олмм} = 17348 \cdot 8 = 138784 \text{ руб.}$$

Таким образом, годовые издержки на частичное восстановление отработанных моторных минеральных масел

$$\mathcal{E}_g = 11688 + 3974 + 122196 + 11184 + 9720 + (138784 \cdot 1,3) + 15049 = 391181 \text{ руб.}$$

Стоимость 1 кг частично восстановленного отработанного моторного минерального масла

$$Ц_g = \frac{391181}{20901} = 18,7 \text{ руб / кг.}$$

Годовые издержки на товарное масло ТМ-3-18 составят

$$\mathcal{E}_m = Q_m^{\circ} \cdot K_{TM}, \quad (6.20)$$

где  $Q_m^{\circ}$  – годовая потребность в трансмиссионном масле ТМ-3-18, кг;  
 $K_{TM}$  – стоимость трансмиссионного масла ТМ-3-18, руб./кг.

$$\mathcal{E}_m = 20901 \cdot 28 = 585228 \text{ руб.}$$

Годовая экономия при очистке отработанных моторных минеральных масел составит

$$\mathcal{E}_0^{\circ} = (\mathcal{E}_m + E_{\kappa} + K_m) - (\mathcal{E}_0 + E_{\kappa} + K_0), \quad (6.21)$$

где  $E_{\kappa}$  – коэффициент эффективности капитальных вложений ( $E_{\kappa} = 0,15$ );  
 $K_m$  – капитальные вложения при использовании товарного масла ТМ-3-18 ( $K_m=0$ );  $K_0$  – капитальные вложения при очистке отработанных моторных минеральных масел.

$$K_0 = C_{\text{м.у}} = 78290 \text{ руб.},$$

где  $\mathcal{E}_m$  – годовые издержки на приобретение товарного масла, руб.

Поскольку очищенные на модульной установке отработанные моторные минеральные масла могут быть использованы только в неответственных узлах и агрегатах автотракторной техники, необходимо проводить расчет годовой потребности индустриальных и гидравлических масел, используемых в таких узлах и агрегатах. Исходя из этого

$$\mathcal{E}_m = \mathcal{E}_{\text{м.г}} = Q_{\text{м.г}}^{\circ} \cdot K_{\text{м.г}}, \quad (6.22)$$

где  $Q_{\text{м.г}}^{\circ}$  – годовая потребность в гидравлических или индустриальных маслах, кг;  $K_{\text{м.г}}$  – стоимость индустриального или гидравлического масла, руб./кг.

$$\mathcal{E}_{\text{м.г}} = 20901 \cdot 22 = 459822 \text{ руб.}$$

Тогда

$$\mathcal{E}_0^{\circ} = 459822 - (268027 + 1,5 \cdot 78290) = 74360 \text{ руб.}$$

Годовая экономия при частичном восстановлении отработанных моторных минеральных масел

$$\mathcal{E} = (\mathcal{E}_m + E_{\text{н}} \cdot K) - (\mathcal{E}_0 + E_{\text{н}} \cdot K_0), \quad (6.23)$$

$$\mathcal{E} = 586518 - (391181 + 1,5 \cdot 78290) = 77972 \text{ руб.}$$

Результаты расчетов представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Экономическое обоснование исследований

Показатели	Вариант		
	товарное транс- миссионное мас- ло ТМ-3-18	очищенное ОМММ	частично вос- становленное ОМММ
Годовая потребность в товарном масле, кг	20901	-	3553
Годовая потребность в ОМММ, кг	-	20901	17348
Капитальные вложе- ния, руб.	-	78290	78290
Годовые издержки по обеспечению маслом, руб.	586588	268027	391181
Стоимость 1 кг мине- рального масла, руб./кг	28	12,8	18,7
Годовая экономия масла, кг	-	20901	17348
Годовая экономия де- нежных средств, руб.	-	74360	77972

Таким образом, внедрение в масштабах одного района разработанных мероприятий позволит снизить годовые издержки на трансмиссионное масло на 43,4 %.

### **6.3 Рекомендации производству по использованию, очистке и частичному восстановлению отработанных моторных минеральных масел**

На основании результатов проведенных исследований было установлено, что предлагаемая модульная установка очистки и частичного восстановления отработанных моторных минеральных масел позволяет проводить очистку и частичное восстановление эксплуатационных свойств отработанных

моторных минеральных масел для дальнейшего использования в трансмиссии тракторов и автомобилей.

Для внедрения модульной установки с разработанной многоступенчатой технологической схемой для очистки и частичного восстановления масел на предприятиях АПК, автотранспортных предприятиях и организаций, занимающихся утилизацией нефтяных отходов, рекомендуется:

- разработанный многоступенчатый способ и модульная установка очистки и частичного восстановления эксплуатационных свойств отработанных моторных минеральных масел позволяющие сократить затраты на приобретение свежих товарных трансмиссионных масел в 1,5...2 раза, обеспечить собственные потребности в трансмиссионных маслах требуемого качества при затратах 20...50 % от стоимости товарного масла ТМ-3-18;

- номограмма определения ступеней очистки отработанного моторного минерального масла, позволяющая выбрать необходимые ступени очистки отработанного моторного минерального масла в зависимости от его загрязненности. При этом очистка может осуществляться как с использованием всех, так и отдельно выбранным ступеням, с минимальными энерго- и трудозатратами, низкой себестоимостью очистки и частичного восстановления отработанных моторных минеральных масел;

- экспресс-метод определения наличия и процентного содержания легких топливных фракций в отработанном моторном минеральном масле по температуре вспышки.

## **Выводы**

Экономическая эффективность предлагаемой модульной установки, многоступенчатого способа очистки и частичного восстановления эксплуатационных свойств отработанных моторных минеральных масел складывается от снижения количества потребного товарного трансмиссионного масла ТМ-3-18. Годовая экономия денежных средств составила 77972 руб.



## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Установлены теоретические зависимости процессов очистки отработанных моторных минеральных масел по ступеням очистки: при отстаивании - изменение содержания воды и нерастворимых примесей от времени отстоя; при выпаривании - изменение содержания воды и нерастворимых примесей от температуры нагрева; в гидроциклоне - от его конструктивных параметров и давления входного потока; в полнопоточных центрифугах – от конструктивных параметров и скорости осаждения. Выявлено влияние геометрических параметров магнитного очистителя на отделение продуктов износа в масле. На ступени фильтрования установлено влияние свойств фильтрующего материала на степень очистки масла. Предложены аналитические выражения для определения конструктивных параметров предлагаемых технических средств с требуемым качеством очистки.

Частичное восстановление основных эксплуатационных свойств очищенных отработанных моторных минеральных масел предлагается методом компаундирования минеральной добавкой в виде масла МС-20П.

2. Разработана, изготовлена и исследована модульная установка для многоступенчатой очистки и частичного восстановления эксплуатационных свойств отработанных моторных минеральных масел. Многоступенчатый способ включает следующие ступени: отстаивание, выпаривание воды и топливных фракций, гидроциклонная очистка, центрифугирование, очистку в магнитном поле, фильтрование, компаундирование очищенного масла путем ввода минеральной добавки.

3. Определены режимные параметры процесса очистки: время отстоя 27...30 ч, температура нагрева для удаления воды и легких топливных фракций 100...105 °С, время нагрева – 1,5...2 ч, давление входного потока масла в гидроциклоне – 0,4 МПа, режим центрифугирования – 9000 мин<sup>-1</sup>, фильтрование при перепаде давления в фильтре – 0,98...0,99 МПа, температура ввода масла МС-20П – 85...90 °С, время компаундирования – 3 ч.

Обоснованы конструктивные параметры: гидроциклона (отношение диаметра к высоте 1:1, угол наклона входного патрубка  $10^\circ$ , сечение входного патрубка – круглое, угол конической части  $10^\circ$ , длина диафрагмы, равная  $1,2 \dots 2,2$  длине конической части); магнитного очистителя с геометрическими параметрами: диаметр барабана – 140 мм, ширина барабана – 140 мм. На ступени фильтрования в качестве фильтрующего элемента рекомендуется войлок.

4. Установлено, что частично восстановленные моторные минеральные масла по предлагаемой технологической схеме не уступают по противоизносным и противозадирным свойствам (диаметр пятна износа восстановленных масел составляет 0,32 мм, предельная нагрузка 87,6 МПа) товарному маслу ТМ-3-18 (соответственно 0,30 мм и 60 МПа).

Производственные исследования товарного масла ТМ-3-18 и частично восстановленного моторного минерального масла в трансмиссии автомобилей КамАЗ-55102 и конечных передачах тракторов Т-150К показали, что частично восстановленные масла могут использоваться в трансмиссиях авто-тракторной техники со сроком службы 88...90% от срока службы товарного масла ТМ-3-18.

Экономическая эффективность от использования модульной установки, реализующей многоступенчатый способ очистки и частичное восстановление эксплуатационных свойств отработанных моторных минеральных масел, обеспечивается за счет снижения количества потребного товарного трансмиссионного масла ТМ-3-18 и составляет 77972 руб. в год.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизированные смазочные системы и устройства. – М.: Машиностроение, 1982. – 176с.
2. Алисин, В.В. Трение, изнашивание и смазка / В.В. Алисин, А.Я. Алябьев; в 2-х томах. –М.: Машиностроение, 1978. – 365 с.
3. Арабян, С.Г. Метод испытаний масел групп Б, В, Г на установке УИМ – 6 – НАТИ / С.Г. Арабян [и др.]. // В кн.: Сб. тр. ВНИИ по перераб. Нефти, 1977. №25, С. 44-49.
4. Аронов, Д.М. Влияние эксплуатационных режимов работы автомобиля на изменение физико-химических свойств работавших моторных масел / Д.М. Аронов, Е.М. Максимов. // В кн.: Эксплуатационно-технические свойства и применение автомобильных топлив, смазочных материалов и спецжидкостей, 1968. вып. 5, – С. 194-205.
5. Басов, А.М. Электротехнология / А.М. Басов [и др.]. – М.: Агропромиздат, 1985. – 256 с.
6. Белов, С.В. Пористые металлы в машиностроении / С.В. Белов. – М.: Машиностроение, 1981. – 245с.
7. Белянин, В.Н. Промышленная чистота машин / В.Н. Белянин, В.Н. Данилов.– М.: Машиностроение, 1982. – 144 с.
8. Белянин, П.Н. Авиационные фильтры и очистители гидравлических систем / П.Н. Белянин, Ж.С. Черненко. – М.: Машиностроение, 1964. – 280 с.
9. Белянчиков, Т.П. Исследование эксплуатационных свойств масел для тракторных дизелей с наддувом / Т.П. Белянчиков, И.Ф. Благовидов, Н.Г. Пучков. // В кн.: Присадки к маслам. – М.: Химия, 1966. – 261 с.
10. Бибииков, В.Б. Негодного масла не бывает / В.Б. Бибииков // Изобретатель и рационализатор, 1993. №9 – С. 9-11.

11. Большаков, Г.Ф. Восстановление и контроль качества нефтепродуктов / Г.Ф. Большаков. – Л.: Недра, Ленинградское отделение, 1982. – 350 с.
12. Большаков, Г.Ф. Восстановление и контроль качества нефтепродуктов / Г.Ф. Большаков. – Л.: Недра, 1974. – 316 с.
13. Боренко, М.В. Анализ информативности показателей состояния работавших дизельных масел / М.В. Боренко [и др.]. //Химия и технология топлив и масел. – 1994. - №4. – С. 34-41.
14. Боскаков, А.П. Теплотехника: учебник и учебное пособие для высших учебных заведений / А.П. Боскаков [и др.]. – М.: Энергоиздат, 1991. – 180 с.
15. Брай, И.В. Регенерация трансформаторных масел / И.В. Брай; издание 2-е. – М.: Химия, 1972. – 165 с.
16. Браун, Э.Д. Моделирование трения и изнашивания в машинах / Э.Д. Браун, А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 1982. – 306 с.
17. Браун, Э.Д. Словарь – справочник по трению, износу и смазке деталей машин / Э.Д. Браун. – Киев: Наукова думка, 1990. – 290 с.
18. Буланин, Б.В. Технический анализ нефтепродуктов и газа: учебное пособие для техникумов / Под ред. Б.В. Буланина, В.Н. Эриха, В.Г. Корсакова; изд. 5-е, перераб. – Л.: Химия, 1986. – 184 с.
19. Бутов, Н.П. К вопросу о возможности разделения нефтепродуктов и примесей воды в центробежном поле высокой напряженности / Н.П. Бутов, Е.М. Пироженко //«Термодинамика и гидравлика в сельхозмашиностроении» Сб. научных трудов. – Ростов-на-Дону: РИСХМ, 1974. С. 148-152.
20. Бутов, Н.П. Научные основы проектирования малоотходной технологии переработки и использования отработанных минеральных масел / Н.П. Бутов. – зерноград: ВНИПТИМЭСХ, 2000. – 410 с.
21. Венецкий, И.Г. Основные математико – статистические понятия и формулы в экономическом анализе: справочник / Под ред.И.Г. Венецкого, В.И. Венецкой; изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Статистика, 1979. – 446 с.

22. Венцель, С.В. Применение смазочных масел в двигателях внутреннего сгорания / С.В. Венцель. – М.: Химия, 1979, – 238 с.
23. Вериго, К.Н. Применение гидроциклона в промышленности капиталистических стран / К.Н. Вериго. Бюллетень ЦНИИ цветной металлургии, 1956. – 7 с.
24. Врок, Т. Мембранные фильтрации / Т. Врок. – М.: Мир, 1987. – 462с.
25. Вторичные материальные ресурсы нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности (образование и использование): справочник. – М.: Экономика, 1984. – 143 с.
26. Главати, О.А. Физико – химия диспергирующих присадок к маслам / О.А. Главати. – Киев: Наукова думка, 1989. – 184 с.
27. Глущенко, А.А. Разработка технологии и технического средства для восстановления эксплуатационных свойств отработанного моторного масла: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / А.А. Глущенко. – Ульяновск, 2009. – 20 с.
28. Глыбын, А.И. Автотракторные фильтры: справочник / Под ред. А.И. Глыбына. - Л.: Машиностроение, 1980. – 181с.
29. Гольденфон, А.К. Браковочные показатели масел в судовых дизелях / А.К. Гольденфон, И.В. Евреинов. – М.: Морской флот, 1967. №2. – С. 11-12.
30. Григорьев, М.А. Защита ДВС от абразивного износа – важнейшее условие обеспечения их безотказности и долговечности: практика улучшения очистки воздуха, масла и топлива в двигателях внутреннего сгорания / М.А. Григорьев // Тез. док. – М.: 1987. – С. 3-4.
31. Григорьев, М.А. Очистка масла и топлива в автотракторных двигателях / М.А. Григорьев. – М.: Машиностроение, 1970. – 270 с.
32. Гуревич, А.Ф. Сбор и повторное использование отработанных масел в социалистических странах / А.Ф. Гуревич. – М.: Колос, 1983. – с.40.

33. Гурман, Е.В. Теория вероятности и математическая статистика / Е.В. Гурман. – М.: Высшая школа, 1977. – 360 с.
34. Давыдов, П.И. Влияние обводнения на свойства масел с присадками и работу дизелей. Исследование сгорания масел в дизелях / П.И. Давыдов, И.И. Сибарева.– М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1968. – 82 с.
35. Дерягин, Б.В. Теория устойчивости коллоидов и тонких пленок / Б.В. Дерягин. – М.: Наука, 1986. – 156 с.
36. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов; изд. 5-е, перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
37. Дуркин, В.А. Методика определения браковочных параметров для смены масел в дизелях / В.А. Дуркин [и др.]. // В кн.: Труды ЦНИИ дизельн. ин-та, 1977. – №72, С. 10-18.
38. Евдокимов А.Ю. Очистка отработанных масел у потребителя / А.Ю. Евдокимов, М.И. Фалькович // Химия и технология топлив и масел. 1984. №2. – С. 45-47.
39. Жулдыбин, Е.Н. Способы и средства обезвоживания нефтепродуктов / Е.Н. Жулдыбин. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1984. – 150 с.
40. Жулдыбин, Е.Н. Способы и средства обезвоживания нефтепродуктов / Е.Н. Жулдыбин. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1985. – 230 с.
41. Зазуля, А.Н. Нефтепродукты, оборудование нефтескладов и заправочные комплексы. Каталог-справочник / Под ред. А.Н. Зазули [и др.]. – М.: Информагротех, 1999. – 175 с.
42. Замальдинов, М.М. Математическое описание процесса выпаривания / М.М. Замальдинов, К.У. Сафаров // Молодежь и наука XXI века: материалы III-й Междунар. НПК. Т.4. – Ульяновск: УГСХА, 2010.– С. 37-41.
43. Замальдинов, М.М. Математическое описание процесса гравитационного отстаивания / М.М. Замальдинов, К.У. Сафаров // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их ре-

шения: материалы II-ой Международной НПК. Т. 3. Ч. 1. – Ульяновск: УГСХА, 2010. – С. 37-43.

44. Замальдинов, М.М. Математическое описание процесса фильтрации / М.М. Замальдинов, К.У. Сафаров, А.А. Глущенко // Вестник Саратовского ГАУ им. Н.И. Вавилова. – 2011. – № 5. – С. 46-48.

45. Замальдинов, М.М. Математическое описание процесса центрифугирования / М.М. Замальдинов, К.У. Сафаров // Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России: сборник материалов Всероссийской НПК. – Пенза: РИО ПГСХА, 2010. – С. 138-140.

46. Замальдинов, М.М. Модульная линия очистки отработанных минеральных моторных масел от загрязнений / М.М. Замальдинов, А.А. Глущенко, Е.И. Кубеев // Известия Санкт-Петербургского ГАУ. СПб.: Санкт-Петербургский ГАУ, 2010. – №20. – С. 306-311.

47. Замальдинов, М.М. Очистка масел ступенчатым методом / М.М. Замальдинов, К.У. Сафаров, А.А. Глущенко // Сельский механизатор. – 2011. – № 8. – С. 36-37.

48. Замальдинов, М.М. Очистка отработанных минеральных моторных масел центрифугированием / М.М. Замальдинов // Вестник Ульяновской ГСХА. – 2011. – №1. – С. 93-98.

49. Замальдинов, М.М. Удаление механических примесей и воды из отработанного моторного масла методом гравитационного отстаивания / М.М. Замальдинов // Повышение эффективности использования автотракторной и сельскохозяйственной техники: межвуз. сб. науч. трудов XVI региональной НПК вузов Поволжья и Предуралья. – Пенза: РИО ПГСХА, 2005. – С. 170-173.

50. Заславский, Ю.С. Трибология смазочных материалов / Ю.С. Заславский. – М.: Химия, 1991. – 215 с.

51. Зеленецкая, И.С. Топлива и масла для тепловозных и судовых дизелей / И.С. Зеленецкая. – М.: Транспорт, 1969. – 86 с.

52. Итинская, Н.И. Топлива, масла и технические жидкости: справочник / Под ред. Н.И. Итинской, Н.А. Кузнецова; изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1989. – 303 с.
53. Ишмаков, Р.М. Химмотология применения отработанных масел: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Р.М. Ишмаков. – УФА, 1995. – 16 с.
54. Keeu, R.B. *Drying of loose and Pastisnlate Materials*. – New York: Hemisphere, 1992. – 540 p.
55. Killer, F.C. *Mineraloltechnik*, 1981. №5, – 17 p.
56. Klamann, D. *Lubricants and Related Products*. Weinheim Deerbielch Beach Florida, 1988, – 488 p.
57. Konovalov, V.I. *Solvent Druing in to Air and Super heat Steam*. / Proc. IDS. – Montreal: Mo Gill, 1992. – 28 p.
58. Каблов, В.И Турбоциклоны для осветителей суспензий / В.И. Каблов [и др.]. Автор. свид. №245540, кл. ВО4с, 2. 10. 1969. – 5 с.
59. Кильдишев, Г.С. *Общая теория статистики* / Г.С. Кильдишев [и др.]. – М.: Статистика, 1980. – 423 с.
60. Кламан, Д. *Смазки и родственные продукты: пер. с англ.* / Д. Кламан. – М.: Мир, 1988. – 487с.
61. Коваленко, В.П. *Загрязнение и очистка нефтяных масел* / В.П. Коваленко. – М.: Химия, 1978. –304 с.
62. Коваленко, В.П. *Загрязнение и очистка нефтяных масел* / В.П. Коваленко. – М.: Химия, 1978. – 301 с.
63. Коваленко, В.П. *Основы техники очистки жидкостей от механических загрязнений* / В.П. Коваленко, А.А. Итинский. – М.: Химия, 1982. – 272 с.
64. Коваленко, В.П. *Повышение эффективности использования отработанных масел* / В.П. Коваленко [и др.]. – М.: ЦНИИТЭИМС, 1985. –36 с.
65. Коваленко, В.П. *Повышение эффективности обезвоживания нефтепродуктов* / В.П. Коваленко, Е.Н. Жулдыбин, Л.Е. Любимцев. – // Транс-



порт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья, 1982. – №4 – С. 27-30.

66. Коваленко, В.П. Средства очистки нефтепродуктов от механических загрязнителей / В.П. Коваленко [и др.]. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1984. – 245 с.

67. Колесниченко, В.В. Экономия топлива – смазочных материалов при эксплуатации строительных машин / В.В. Колесниченко. – М.: Строиздат, 1987. – 94 с.

68. Косой, Г.М. Расчет скорости движения жидкости в гидроциклоне по графоаналитическому методу / Г.М. Косой // Обогащение руд, 1965 – №2 – С. 20-24.

69. Крагельский, И.В. Трение, изнашивание, смазка: справочник. Под ред. И.В. Крагельский [и др.]. – М.: Машиностроение, 1978. – 205с.

70. Крипс, М.М. Исследование зависимостей между свойствами дизельных масел и состоянием двигателя / М.М. Крипс // Химия и технология топлив и масел, 1977. №2, – С. 45-48.

71. Куликов, В.А. Очистка отработанных моторных масел с помощью полимерных мембран / В.А. Куликов, Ю.А. Авдонин //Химия и технология топлив и масел, 1986. №3. – С. 38-40.

72. Ле Хонг Тхань. Разработка показателей и технических средств для очистки и восстановления моторного масла: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Ле Хонг Тхань. – Ульяновск, 1988. – 21 с.

73. Левшанов, Г.Г. Исследование эксплуатационной оценки качественного состояния моторного масла для оптимизации срока его использования: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Г.Г. Левшанов. – Кишинев, 1981. – 19 с.

74. Ленивцев, Г.А. Рациональные методы использования масел в сельском хозяйстве: учебное пособие / По ред. Г.А. Ленивцева [и др.]. – Самара, 1991. – 111 с.

75. Ленский А.В. Электромагнитный фильтр для очистки масел / А.В. Ленский, А.П. Быстрицкая, Ю.А. Никанов //Техника в сельском хозяйстве, 1986. №7. – С. 47-48.
76. Липкович, И.Э. Оптимизация структуры, состава и размещение комплексов регенерации отработанных масел: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / И.Э. Липкович. –Зерноград, 1995. – 17 с.
77. Лышко, Г.П. Новое в использовании двигательных масел для тракторов / Г.П. Лышко. – Кишинев, Картя Молдовеняска, 1980, – 159 с.
78. Лышко, Г.П. Рациональное использование топлива и смазочных материалов для сельскохозяйственной техники / Г.П. Лышко. – Кишинев: Карте Молдовяско, 1986. – 280 с.
79. Лышко, Г.П. Топливо и смазочные материалы / Г.П. Лышко.–М.: Агропромиздат, 1985. – 336 с.
80. Лышко, Г.П. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости / Г.П. Лышко. – М.: Колос, 1979. – 256 с.
81. Мадорский, В.Б. Исследование показателей картерных масел и совершенствование режимов их использования: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / В.Б. Мадорский. – Ульяновск, 1969. – 16 с.
82. Матвиевский, Р.М. Противозадирная стойкость смазочных средств при трении в режиме граничной смазки / Р.М. Матвиевский [и др.]. – М.: Наука, 1978. – 195 с.
83. Методические указания по организации сбора, очистки и рациональному использованию отработавших моторных масел в сельскохозяйственном предприятии. – Тамбов: ВИИТиН, 1992. – 55с.
84. Мещерин, Е.М. Исследование эффективности увеличения периодичности замены масла в тракторных двигателях средней напряженности: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Е.М. Мещерин. – М., 1983. – 17 с.
85. Морозов, Г.А. Очистка масла в дизелях / Г.А. Морозов, О.М. Арциомов.– Л.: Машиностроение, 1984. – 154с.

86. Мосихин, Е.П. О параметрах оценки старения масла в двигателях / Е.П. Мосихин, А.Б. Виннер, Ю.А. Микутенко. // В кн.: Применение топлив и масел в дизелях.– Л.: ЦНИДИ, 1966. №52. – С. 5-15.
87. Непогодьеv, А.В. и др. Исследование процесса загрязнения картерных масел с присадками в дизелях / А.В. Непогодьеv [и др.]. // В кн.: Производство и исследование присадок к маслам. – М.: ЦНИТЭ нефтехим, 1965. – С. 24-27.
88. Нефтепродукты для сельскохозяйственной техники: справочное издание / Под ред. В.А. Борзенкова [и др.]. – М.: Химия, 1988. – 288 с.
89. Нефтепродукты. Методы испытаний. Часть 1. – М., 2001. – 406с.
90. Нигородов, В.В. Основные направления снижения расходов масел на предприятиях АПК: Техническое обслуживание и ремонт машинно-тракторного парка и обслуживания. – М.: АгроНИИТЭИИТО, 1986. – 235 с.
91. Орлов, А.А. Гидроциклон / А.А. Орлов. Автор. свид. №401384, кл. В01а, 12.10.1973. – 3 с.
92. Осипов, А.Ф. Объемные гидравлические машины / А.Ф.Осипов. – М.: Машиностроение, 1966. – 261 с.
93. Остриков, В.В. Повышение эффективности использования смазочных материалов путем разработки и совершенствования методов, технологий и технических средств: Автореф. дисс. ... докт. техн. наук: 05.20.03 / В.В. Остриков. – Саратов, 2000. – 38 с.
94. Пальчевский, Б. А. Научное исследование: объект, направление, метод / Б.А. Пальчевский. – Львов: Вища школа, 1979. – 180 с.
95. Пат. на полезную модель 88996 РФ, МПК В04С 3/00, С02F 1/40. Гидроциклон для очистки отработанного моторного масла / заявители: В.И. Курдюмов, А.А. Глущенко, М.М. Замальдинов; патентообладатель ФГОУ ВПО Ульяновская ГСХА. – №2009134309/22; заяв. 11.09.09; опубл. 27.11.09. – Бюл. №33.
96. Пат. на полезную модель 107704 РФ, МПК В01D 29/00, С01М 1/40. Фильтр для очистки отработанного моторного масла / заявители: М.М.

Замальдинов, Е.С. Зыкин, К.У.Сафаров; патентообладатель ФГОУ ВПО Ульяновская ГСХА. – №2011116569/05; заяв. 26.04.11; опубл. 27.08.11. – Бюл. №24.

97. Пироженко, Е.М. Исследование процесса осаждения частиц воды в горюче-смазочных материалов в поле гравитации / Е.М. Пироженко [и др.]. // Сб. научных трудов. – Ростов-на-Дону: РИСХМ, 1978. С. 102-106.

98. Повх, И.Л. Техническая гидродинамика / И.Л. Повх. – Л.: Машиностроение, 1969. – 165 с.

99. Повышение эффективности использования сельскохозяйственной техники // Сборник научных трудов. – Кишинев: КСХИ, 1972. – 175с.

100. Покровский, Р.П. Топливо, смазочные материалы и охлаждающие жидкости / Р.П. Покровский. – М.: Машиностроение, 1985. – 200 с.

101. Полканов, И.П. Методические указания по использованию горюче-смазочных материалов в совхозах и колхозах / И.П. Полканов, В.М. Холманов. – Ульяновск: УСХИ, 1985. – 48 с.

102. Полканов, И.П. Основы использования машин в сельском хозяйстве / И.П. Полканов. – Свердловск, 1973. – 129 с.

103. Полканов, И.П. Применение моторных масел и смазочных материалов в сельском хозяйстве / И.П. Полканов, В.М. Холманов. – Ульяновск, 1985. – 74 с.

104. Полканов, И.П. Расчет показателей работы машинно-тракторного парка / И.П. Полканов. – Ульяновск: УСХИ, 1984. – 62 с.

105. Попов, С.Н. Химия нефти и газа / С.Н. Попов. – Львов: Издательство Львовского университета, 1960. – 310 с.

106. Радчик, В.С. Смазка машин / В.С. Радчик. – Киев, 1973. – 120 с.

107. Разработка и внедрение технологического процесса и оборудования для очистки и использования отработанных нефтепродуктов: отчет о НИР (заключительный) / ВНИПТИМЭСХ. – №ГР...; №0018800632. – Зерноград, 1990. – 51 с.

108. Разработка комплекта мобильных и стационарных технических средств для сбора, очистки, осветления и использования отработанных масел при техническом обслуживании механизированных полевых комплексов в условиях различных организационно-экономических форм и типоразмеров хозяйств: отчет о НИР ( промежуточный ) /ВНИПТИМЭСХ. – зерноград, 1992. – 68 с.

109. Рекомендации по рациональному использованию отработанных нефтепродуктов в условиях АПК административного района. – зерноград: ВНИПТИМЭСХ, 1990. – 54 с.

110. Рыбаков, В.В. Фильтрация авиационных топлив / В.В. Рыбаков. - М.: Транспорт, 1983. – 158с.

111. Рыбаков, К.В. Водоотделяющие элементы, используемые при обезвоживании дизельных топлив / К.В. Рыбаков, Н.Е. Жулдыбин, А.Н. Семеркин // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 1983. №8. – С. 30-32.

112. Рыбаков, К.В. Очистка нефтепродуктов от механических примесей и воды / К.В. Рыбаков [и др.]. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1974. – 80 с.

113. Рыбаков, К.В. Сбор и очистка отработанных масел: обзорная информация. Госагропром СССР / К.В. Рыбаков [и др.]. – М.: АгроНИИТИИ-ТО, 1988. – 13 с.

114. Salvesen Clifford G.U.S. Dep. Commer. Nat. Bar. Stand. Spec. Publ., 1980. №584, – pp.183-186.

115. Сабденов, О.И. Экономико – статистические и сетевые методы в планировании и организации ремонтных работ / О.И. Сабденов. – М.: Машиностроение, 1984. – 96 с.

116. Савченко, В.Г. Исследование изменения качества моторного масла и совершенствование режимов его использования в двигателях тракторов «Беларусь»: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / В.Г. Савченко. – Кишинев, 1969. – 18 с.

117. Сафаров К.У. Исследования повышения качества моторных масел / К.У. Сафаров, В.М. Холманов, М.М. Замальдинов // Вестник Ульяновской ГСХА. – 2000. – №3. – С. 65-67.
118. Сафаров, К.У. Восстановление моторных масел ступенчатым методом / К.У. Сафаров, В.М. Холманов, М.М. Замальдинов // Вестник Ульяновской ГСХА. – 2000. – №3. – С. 84-87.
119. Сафаров, К.У. Исследование повышения качества моторных масел / К.У. Сафаров, В.М. Холманов, М.М. Замальдинов // Вестник Ульяновской ГСХА. – 2000. – №3. – С. 65-67.
120. Сафаров, К.У. Проблемы вторичного использования нефтепродуктов на современном этапе / К.У. Сафаров, М.М. Замальдинов // Современное развитие АПК: региональный опыт, проблемы, перспективы: материалы Всероссийской НПК. Ч.3. – Ульяновск: УГСХА, 2005. – С. 260-261.
121. Сафаров, К.У. Экспресс-метод определения содержания топлива в моторных маслах / К.У. Сафаров, В.М. Холманов, М.М. Замальдинов // Вестник Ульяновской ГСХА. – 2000. – №3. – С. 77-78.
122. Сафонов, А.С. Химмотология горюче-смазочных материалов / А.С. Сафонов, А.И. Ушаков, В.В. Гришин. – С. - Петербург: НПИКЦ, 2007. – 488 с.
123. Сбор и очистка отработанных масел: обзорная информация. Госагропром СССР. – М.: АгроНИИТИИТО, 1990. – 120 с.
124. Сердечный, В.Н. Определение качества смазочных масел двигателей методом «пятна» / В.Н. Сердечный. – Архангельск: ЦНТИ, информ. листок №285, 1971. – 0,5 п.л.
125. Соломкин, А.П. Повторное использование отработанных масел / А.П. Соломкин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1989. – №8. – С. 23-26.
126. Ставицкий, Н.М. Регенерация отработанных масел / Н.П. Ставицкий // Автомобильная промышленность. – 1987. – №9. С.56-59.

127. Сторожев, В.Н. Новые методы и приборы контроля качества циркуляционного масла в судовых дизелях речного флота / В.Н. Сторожев. // В кн.: Труды Новосибирского института инженеров водного транспорта. – Новосибирск, 1973. №90, – С. 70 – 80.
128. Тимашев, В.П. Зарубежный опыт диагностирования технического состояния двигателей внутреннего сгорания по параметрам рабочего масла / В.П. Тимашев. – Автомобильная промышленность, 1981. – №3. – С. 35-36.
129. Товарницкий В.И. и др. Ультрафильтры и ультрафильтрация. – М.: Наука, 1986. – 236 с.
130. Удлер, З.И. Фильтрующие топливно-масленные элементы из бумаги и картона / З.И. Удлер, В.И. Зуев. – Томск: Изд – во Томск. ун-та, 1983. – 140с.
131. Fuhrmann, I.E. Mineraloltechnik, 1981. №8, – 27 p.
132. Фукс, Г.П. Коллоидная химия нефти и нефтепродуктов / Г.П.Фукс. – М.: Знание, 1984. – 190 с.
133. Hengeveld, I., Wajer, T.A. Mineraloltechnik, 1981. №9, – 20 p.
134. Hillard, J.C. Fuel Economy in Road Vehicles Powered by Spark Ignition Engines. Plenum Press New York and London, 1988. – 600 p.
135. Хванг, С.Т. Мембранные процессы разделения / С.Т. Хванг, К.Г. Каммермейр. – М.: Химия, 1981. – 373с.
136. Холманов, В.М. Определение оптимального режима работы гидроциклона / В.М. Холманов, М.М. Замальдинов // Современное развитие АПК: региональный опыт, проблемы, перспективы: материалы Всероссийской НПК. Ч.3. – Ульяновск: УГСХА, 2005. – С. 261-263.
137. Холманов, В.М. Разработка показателей и технических средств для диагностики состояния моторного масла в эксплуатационных условиях: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / В.М. Холманов. – Ульяновск, 1983. – 17 с.

138. Чанкин, В.В. Динамика изменения концентрации примесей в дизельных маслах / В.В. Чанкин, Э.А. Пахомов. // В кн.: Вестник ВНИИ железнодорожного транспорта, 1964. №6, – С. 11-12.
139. Чичинадзе, А.В. Материалы в триботехнике нестационарных процессов / А.В. Чичинадзе [и др.]. – М.: Наука, 1986. – 176 с.
140. Чичинадзе, А.В. Справочник по триботехнике / А.В. Чичинадзе, Хобда; 3т. – М.: Машиностроение, 1989. – 205 с.
141. Чуржуков, Е.С. Современные способы и средства регенерации отработанных масел: обзорная информация. Миннефтехим СССР. / Е.С. Чуржуков [и др.] – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1987. – 17 с.
142. Шаронов, Г.П. Оптимальные режимы центробежной очистки рабочих жидкостей / Г.П. Шаронов, В.А. Бербер, С.В. Хорошев // Техника в сельском хозяйстве, 1988. – №4 – С. 61-63.
143. Шашкин, П.И. Регенерация отработанных нефтяных масел / П.И. Шашкин, И.В. Брай. – М.: Химия, 1970. – 304 с.
144. Шишков, И.Н. Авиационные горюче – смазочные материалы и специальные жидкости / И.Н. Шишков, В.Б. Белов.– М.: Транспорт, 1979. – 247 с.
145. Школьников, В.М. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости. Ассортимент и применение: справочное издание / Под ред. В.М. Школьникова. – М.: Химия, 1989. – 432 с.
146. Шлихтинг, Г. Теория пограничного слоя / Г. Шлихтинг. – М.: Наука, 1974. – 711 с.



## **ПРИЛОЖЕНИЕ**

Технические характеристики многоступенчатой установки очистки  
отработанных моторных минеральных масел

Габаритные размеры, мм:

установки.....	3500x900x1800
емкости для отстоя и выпаривания.....	400x400x600
емкость для сбора отходов гидроциклонирования.....	400x300x500
емкость для сбора очищенного масла после гидроциклонирования.....	400x400x600
емкость для сбора очищенного масла после центрифугирования.....	500x300x600
емкость для сбора очищенного масла после магнитной очистки.....	500x300x600
емкость для сбора очищенного масла после фильтрования.....	500x300x500

Конструктивно-технологические параметры элементов очистки

Нагревательный элемент: тип.....	ТЭН – 08А
мощность, кВт.....	2,33
развернутая длина, м.....	0,685
наружный диаметр, мм.....	13,5
Гидроциклон: высота конической части, мм.....	90
диаметр корпуса гидроциклона, мм.....	90
высота приемной камеры, мм.....	140
угол конуса, град.....	10
диаметр входного патрубка, мм.....	24
диаметр выходного патрубка, мм.....	36
давление на входе, МПа.....	0,4
Центрифуга: высота, мм.....	120
диаметр барабана, мм.....	130
диаметр выходного сопла, мм.....	2
частота вращения, мин <sup>-1</sup> .....	9000

Продолжение приложения А

	давление на входе, МПа.....	0,4
Магнит:	диаметр, мм.....	140
	ширина, мм.....	140
Фильтр:	диаметр, мм.....	300
	высота, мм.....	350
	фильтрующий материал.....	войлок
	толщина фильтрующего слоя, мм.....	7
	количество фильтрующих элементов, шт.....	4
	разрежение, МПа.....	0,01...0,02
	Напряжение питающей сети, В.....	380
Частота, Гц.....	50	
Обслуживающий персонал, чел.....	1	
Масса установки, кг.....	350	

Приложение Б

Результаты исследований режимов отстаивания отработанного  
моторного минерального масла

Наименование показателя	Время отстаивания, ч								
	0	9	18	27	36	45	54	63	72
Содержание воды, %	0,30	0,26	0,23	0,21	0,20	0,20	0,20	0,18	0,18
Содержание нерастворимых примесей, %	0,97	0,94	0,93	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
Кинематическая вязкость, мм <sup>2</sup> /с	12,2	12,2	12,3	12,4	12,5	12,5	12,6	12,6	12,6
Температура вспышки, °С	182	182	183	184	185	186	187	188	188

Приложение В

Результаты исследований режимов выпаривания отработанного  
моторного минерального масла

Наименование показателя	Температура нагрева масла, °С							
	40	50	60	70	80	90	100	105
Содержание воды, %	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,18	0,15
Содержание нерастворимых примесей, %	0,92	0,92	0,90	0,89	0,88	0,86	0,84	0,84
Кинематическая вязкость, мм <sup>2</sup> /с	12,6	12,6	12,7	12,8	12,8	12,9	13,0	13,1
Температура вспышки, °С	188	188	189	189	200	202	204	205

Приложение Г

Результаты исследований степени очистки отработанного моторного минерального масла от давления входного потока в гидроциклон

Наименование показателя	Давление входного потока, МПа			
	0,2	0,4	0,6	0,8
Содержание нерастворимых примесей, г	0,1294	0,0512	0,1360	0,1238
Кинематическая вязкость, мм <sup>2</sup> /с	12,9	12,8	13,0	12,9
Температура вспышки, °С	204	205	203	202

Приложение Д

Результаты исследований зависимости степени очистки отработанных моторных минеральных масел от частоты вращения ротора центрифуги

Наименование показателя	Частота вращения ротора, мин <sup>-1</sup>			
	4000	6000	8000	10000
Содержание нерастворимых примесей, г	0,0228	0,0188	0,0154	0,0141

Приложение Е

Результаты исследований режимов компаундирования очищенного отработанного моторного минерального масла с товарным маслом МС-20п на изменение кинематической вязкости

Наименование показателя	Температура компаундирования, °С							
	30	40	50	60	70	80	90	100
Кинематическая вязкость, мм <sup>2</sup> /с	11,8	12	12,4	13	14,2	15	15	15
	Время компаундирования, ч							
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
Кинематическая вязкость, мм <sup>2</sup> /с	11,8	12	12,4	13	14,2	15	15	15

Результаты исследований режимов фильтрования отработанного моторного минерального масла

Наименование показателя	Давление в системе, МПа									
	0,1	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01
Содержание нерастворимых примесей, мг	0,1589	0,1466	0,1354	0,1282	0,0516	0,0331	0,0262	0,0221	0,0120	0,0120
Объем очищенного масла, %	1	2	4	6	12	28	72	88	98	98

Технологические параметры установки для очистки отработанных моторных минеральных масел

Наименование показателя, режима	Величина показателя, режима		Степень очистки, %	
	расчетная	исследовательская	расчетная	исследовательская
Время отстаивания, ч	26,9	27	6	5
Температура нагрева, °С	100	100...105	9	8,6
Время выпаривания, ч	2	1,5...2		
Давление на входе в гидроциклон, МПа	0,4	0,4		
Выход масла, %: очищенного грязного	90	82...88	42	58,6
	10	12...18		
Частота вращения ротора центрифуги, мин <sup>-1</sup>	9000	9000		
Скорость разделения при центрифугировании, м/с	1,4...1,8	1...1,2	34	29,8
Время осаждения, с	40...48	55...60		
Геометрические параметры магнита, мм	140	140	82	92,2
	140	140		
Толщина фильтрующего материала, мм	7	7		
Количество фильтрующих элементов, шт	4	4	98	94,9
Разрежение, МПа	0,01	0,01...0,02		

Приложение Л

Результаты исследований очищенного моторного минерального масла, частично восстановленного отработанного моторного минерального масла и товарного масла ТМ-3-18 на четырехшариковой машине трения (противоизносные свойства, давление сваривания  $P_{св}$ , давление задира  $P_{кр}$ ).

Время испытания 1 ч при нагрузке в трибоузле  $P = 198$  Н

Наименование показателей	Наименование масла		товарное масло ТМ-3-18
	ОМММ	ОМ+МС-20П	
Диаметр пятна износа $D$ , мм	0,61	0,32	0,30
$P_{кр}$ , МПа	86	126	100
$P_{св}$ , МПа	184	299	211
$I_3$ , усл.ед	42	55	46



Приложение М

Результаты исследований противоизносных и противозадирных свойств очищенного моторного минерального масла, частично восстановленного отработанного моторного минерального масла и товарного масла ТМ-3-18 на машине трения СМТ-1 в парах трения сталь-сталь

Показатели	Нагрузка, Н	Тип масла		
		ОМ	ОМ+МС-20П	товарное масло ТМ-3-18
Износ $a_{и}$ , мм	500	0,15	0,15	0,5
Коэффициент трения		0,25	0,25	0,15
Давление $P$ , МПа		66	65	20
Износ $a_{и}$ , мм	1000	0,22	0,22	0,54
Коэффициент трения		0,17	0,17	0,12
Давление $P$ , МПа		80	80	35
Износ $a_{и}$ , мм	1500	0,37	0,38	0,60
Коэффициент трения		0,14	0,13	0,10
Давление $P$ , МПа		85	86	50
Износ $a_{и}$ , мм	2000	0,5	0,5	0,64
Коэффициент трения		0,15	0,14	0,12
Давление $P$ , МПа		80	78	60
$P_{пред}$ , МПа		80	87,6	71,4

Изменение кинематической вязкости исследуемых масел от пробега автомобилей, мм<sup>2</sup>/с

Наименование масла	Группа автомо-билей	Пробег, км												
		0	3267	6720	10012	13822	16108	19016	22873	26018	29604			
Товарное масло ТМ-3-18	1	14,9	14,91	14,94	14,96	14,97	15,0	15,08	15,09	15,2	15,2	15,2	15,2	
	2	14,9	14,93	14,94	14,96	14,98	15,0	15,09	15,09	15,2	15,2	15,2	15,2	
	3	14,9	14,92	14,94	14,96	14,99	15,0	15,08	15,09	15,2	15,2	15,2	15,2	
	ср. знач.	14,9	14,92	14,94	14,96	14,98	15,0	15,08	15,09	15,2	15,2	15,2	15,2	
OM+MC-20П	1	14,9	14,92	14,95	14,96	14,99	15,1	15,1	15,1	15,2	15,2	15,2	15,2	
	2	14,9	14,93	14,96	14,97	15,0	15,1	15,1	15,1	15,2	15,2	15,2	15,2	
	3	14,9	14,93	14,95	14,97	14,99	15,1	15,1	15,1	15,2	15,2	15,2	15,2	
	ср. знач.	14,9	14,93	14,95	14,97	14,99	15,1	15,1	15,1	15,2	15,2	15,2	15,2	

Приложение П

Изменение кинематической вязкости исследуемых масел от наработки тракторов, мм<sup>2</sup>/с

Масло	Группа тракторов	Наработка, мото-ч																		
		0	70	128	210	246	350	389	490	514	644	700	822	890	934	980				
Товарное масло ТМ-3-18	1	14,9	14,9	14,9	14,92	14,93	15,0	15,0	15,1	15,2	15,2	15,3	15,3	15,4	15,5	15,5	15,6	15,6	15,7	16,2
	2	14,9	14,9	14,92	14,93	14,93	15,0	15,1	15,1	15,1	15,2	15,3	15,3	15,5	15,6	15,6	15,7	15,7	15,9	16,2
	3	14,9	14,9	14,91	14,92	14,93	15,0	15,1	15,1	15,1	15,2	15,3	15,3	15,4	15,5	15,5	15,6	15,6	15,8	16,2
	ср. знач.	14,9	14,9	14,91	14,92	14,93	15,0	15,1	15,1	15,1	15,2	15,3	15,3	15,4	15,5	15,5	15,6	15,6	15,8	16,2
ОМ+ МС-20П	1	14,9	14,9	14,9	15,0	15,0	15,0	15,2	15,2	15,2	15,2	15,3	15,3	15,4	15,6	15,6	15,6	15,7	15,7	15,8
	2	14,9	14,9	14,9	15,0	15,0	15,1	15,2	15,2	15,2	15,4	15,4	15,4	15,5	15,6	15,6	15,6	15,7	15,7	15,8
	3	14,9	14,9	14,9	15,0	15,0	15,2	15,2	15,2	15,2	15,5	15,5	15,5	15,6	15,6	15,6	15,6	15,7	15,7	15,8
	ср. знач.	14,9	14,9	14,9	15,0	15,0	15,1	15,2	15,2	15,2	15,4	15,4	15,4	15,5	15,6	15,6	15,6	15,7	15,7	15,8

Приложение Р

Изменение содержания воды в исследуемых маслах от пробега автомобилей, %

Наименование масла	Группа автосто- билей	Пробег, км										
		0	3267	6720	10012	13822	16108	19016	22873	26018	29604	
Товарное масло ТМ-3-18	1	0,0105	0,10	0,16	0,19	0,7	1,2	1,2	1,4	1,42	1,42	
	2	0,0105	0,10	0,16	0,21	0,9	1,2	1,4	1,4	1,42	1,42	
	3	0,0105	0,10	0,16	0,2	0,8	1,2	1,3	1,4	1,42	1,42	
	ср. знач.	0,0105	0,10	0,16	0,2	0,8	1,2	1,3	1,4	1,42	1,42	
ОМ+ МС-20П	1	0,0154	0,14	0,78	1,35	1,55	1,8	1,85	1,9	1,9	1,9	
	2	0,0154	0,14	0,77	1,36	1,65	1,8	1,85	1,9	1,9	1,9	
	3	0,0154	0,14	0,79	1,34	1,6	1,8	1,85	1,9	1,9	1,9	
	ср. знач.	0,0154	0,14	0,78	1,35	1,6	1,8	1,85	1,9	1,9	1,9	

Изменение содержания воды в исследуемых маслах от наработки тракторов, %

Масло	Группа тракторов	Наработка, мото-ч.														
		0	70	128	210	246	350	389	450	514	644	700	822	890	934	980
Товарное масло ТМ-3-18	1	0,0105	0,061	0,103	0,145	0,180	0,195	0,215	0,486	0,792	0,956	1,135	1,267	1,375	1,401	1,456
	2	0,0105	0,063	0,105	0,145	0,182	0,197	0,216	0,487	0,793	0,954	1,134	1,269	1,370	1,403	1,456
	3	0,0105	0,062	0,104	0,0145	0,181	0,196	0,214	0,448	0,794	0,958	1,133	1,268	1,371	1,402	1,456
	ср. знач.	0,0105	0,062	0,104	0,145	0,181	0,196	0,215	0,487	0,793	0,956	1,134	1,268	1,372	1,402	1,456
ОМ+ МС-20П	1	0,0154	0,125	0,210	0,456	0,695	0,815	0,986	1,102	1,235	1,353	1,469	1,622	1,801	1,831	1,846
	2	0,0154	0,124	0,214	0,458	0,695	0,813	0,986	1,101	1,233	1,357	1,466	1,628	1,800	1,833	1,844
	3	0,0154	0,129	0,212	0,460	0,692	0,817	0,986	1,103	1,234	1,358	1,469	1,625	1,802	1,830	1,848
	ср. знач.	0,0154	0,126	0,212	0,458	0,694	0,815	0,986	1,102	1,234	1,356	1,468	1,625	1,801	1,832	1,846



Приложение Т

Изменение содержания нерастворимых примесей в исследуемых маслах от пробега автомобилей, %

Наименование масла	Группа автосто- билей	Пробег, км											
		0	3267	6720	10012	13822	16108	19016	22873	26018	29604		
Товарное масло ТМ-3-18	1	0,0105	0,49	0,9	0,99	1,0	1,2	1,3	1,4	1,41	1,42		
	2	0,0105	0,5	0,9	1,0	1,1	1,1	1,2	1,3	1,40	1,41		
	3	0,0105	0,51	0,9	1,0	1,1	1,3	1,4	1,5	1,43	1,43		
	ср. знач.	0,0105	0,5	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,42	1,42		
ОМ+МС-20П	1	0,0154	0,59	1,1	1,3	1,5	1,7	1,8	1,85	1,9	1,9		
	2	0,0154	0,6	1,2	1,35	1,6	1,8	1,85	1,9	1,9	1,9		
	3	0,0154	0,61	1,3	1,4	1,7	1,9	1,9	1,95	1,9	1,9		
	ср. знач.	0,0154	0,6	1,2	1,35	1,6	1,8	1,85	1,9	1,9	1,9		

Изменение содержания нерастворимых примесей в исследуемых маслах от наработки тракторов, г

Масло	Группа тракторов	Наработка, мото-ч.														
		0	70	128	210	246	350	389	450	514	644	700	822	890	934	980
Товарное масло ТМ-3-18	1	0,0105	0,0248	0,0516	0,0948	0,3363	0,6248	0,8204	1,2154	1,3746	1,5831	1,6648	1,7755	1,9658	1,9700	1,9740
	2	0,0105	0,0398	0,0939	0,1243	0,4085	0,6834	0,9333	1,2012	1,4056	1,6068	1,7113	1,8069	1,9518	1,9997	2,1605
	3	0,0105	0,0380	0,1605	0,3341	0,4552	0,6862	0,9463	1,2218	1,4198	1,6101	1,7263	1,8176	1,9703	2,0303	2,1655
	ср. знач.	0,0105	0,0342	0,1020	0,1844	0,4	0,6648	0,9	1,2128	1,4	1,6000	1,7008	1,8	1,9688	2,000	2,1
ОМ+МС-20П	1	0,0154	0,0612	0,6204	0,9146	1,2126	1,4988	1,8059	1,8382	1,9031	2,2025	2,3007	2,4016	2,5132	2,6012	2,8028
	2	0,0154	0,0429	0,5713	0,8812	1,1865	1,5144	1,7801	1,8452	1,8886	2,1919	2,2842	2,3899	2,5101	2,6005	2,7803
	3	0,0154	0,0507	0,6083	0,9096	1,2009	1,5666	1,8140	1,8492	1,9083	2,2056	2,3163	2,4085	2,5091	2,5983	2,8075
	ср. знач.	0,0154	0,0516	0,6	0,9018	1,2	1,5266	1,8	1,8442	1,9	2,2	2,3004	2,4	2,5108	2,6	2,8

Изменение щелочного числа в исследуемых маслах от пробега автомобилей, мгКОН/г

Наименование масла	Группа автомо-билей	Пробег, км										
		0	3267	6720	10012	13822	16108	19016	22873	26018	29604	
Товарное масло ТМ-3-18	1	3,2	2,8	2,2	1,6	1,3	0,9	0,6	0,4	0,3	0,3	
	2	3,2	2,7	2,1	1,6	1,3	0,8	0,5	0,3	0,3	0,3	
	3	3,2	2,9	2,3	1,6	1,3	1,0	0,7	0,5	0,3	0,3	
	ср. знач.	3,2	2,8	2,2	1,6	1,3	0,9	0,6	0,4	0,3	0,3	
ОМ+МС-20П	1	3,2	3,0	2,8	2,6	2,4	2,3	2,2	2,1	2,0	2,0	
	2	3,2	3,0	2,9	2,7	2,5	2,3	2,2	2,0	2,0	2,0	
	3	3,2	3,0	2,7	2,5	2,3	2,3	2,2	2,2	2,0	2,0	
	ср. знач.	3,2	3,0	2,8	2,6	2,4	2,3	2,2	2,1	2,0	2,0	



Изменение щелочного числа в исследуемых маслах от наработки тракторов, мгКОН/г

Масло	Группа тракторов	Наработка, мото-ч														
		0	70	128	210	246	350	389	450	514	644	700	822	890	934	980
Товарное масло ТМ-3-18	1	3,2	3,0	2,9	2,7	2,4	2,1	1,7	1,5	1,3	1,0	0,9	0,7	0,6	0,6	0,6
	2	3,2	3,0	2,8	2,6	2,2	1,9	1,6	1,4	1,2	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,4
	3	3,2	3,0	2,7	2,5	2,0	1,6	1,5	1,3	1,1	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5
	ср. знач.	3,2	3,0	2,8	2,6	2,2	1,8	1,6	1,4	1,2	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5
ОМ+МС-20П	1	3,2	3,1	3,0	3,0	2,8	2,8	2,7	2,5	2,1	1,9	1,6	1,4	1,4	1,2	1,1
	2	3,2	3,1	3,0	2,8	2,8	2,6	2,6	2,3	2,1	1,7	1,5	1,4	1,3	1,2	0,9
	3	3,2	3,1	3,0	2,9	2,8	2,7	2,5	2,1	2,1	1,5	1,4	1,4	1,2	1,2	1,0
	ср. знач.	3,2	3,1	3,0	2,9	2,8	2,7	2,6	2,3	2,1	1,7	1,5	1,4	1,3	1,2	1,0

Изменение кислотного числа в исследуемых маслах от пробега автомобилей, мгКОН/г

Наименование масла	Группа автосто- билей	Пробег, км										
		0	3267	6720	10012	13822	16108	19016	22873	26018	29604	
Товарное масло ТМ-3-18	1	0	0	0	0,1	0,7	0,9	1,9	2,4	2,4	2,4	2,4
	2	0	0	0,1	0,1	0,8	1,8	2,4	2,6	2,8	2,8	2,8
	3	0	0	0,1	0,4	0,9	2,1	3,2	3,4	3,5	3,5	3,5
	ср. знач.	0	0	0,1	0,2	0,8	1,6	2,5	2,8	2,9	2,9	2,9
ОМ+ МС-20П	1	0	0	0,1	0,3	0,6	1,8	2,3	2,5	2,5	2,5	2,5
	2	0	0	0,2	0,3	0,8	1,9	2,5	2,6	2,6	2,6	2,6
	3	0	0	0,2	0,3	0,6	1,7	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
	ср. знач.	0	0	0,2	0,3	0,7	1,8	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4

Изменение кислотного числа в исследуемых маслах от наработки тракторов, мгКОН/г

Масло	Группа тракторов	Наработка, мото-ч														
		0	70	128	210	246	350	389	450	514	644	700	822	890	934	980
Товарное масло ТМ-3-18	1	0	0	0,1	0,5	0,7	1,1	1,5	2,1	2,7	2,7	2,9	3,0	3,1	3,1	3,2
	2	0	0	0,1	0,6	0,9	1,3	1,7	2,3	2,9	2,9	3,1	3,0	3,1	3,1	3,2
	3	0	0	0,1	0,4	0,8	1,2	1,6	2,2	2,8	2,8	3,0	3,0	3,1	3,1	3,2
	ср. знач.	0	0	0,1	0,5	0,8	1,2	1,6	2,2	2,8	2,8	3,0	3,0	3,1	3,1	3,2
ОМ+МС-20П	1	0	0	0,2	0,5	0,9	1,1	1,3	2,4	3,1	3,2	3,2	3,2	3,2	3,3	3,4
	2	0	0	0,2	0,7	1,1	1,3	1,5	2,6	3,2	3,2	3,2	3,2	3,3	3,3	3,4
	3	0	0	0,2	0,6	1,0	1,2	1,4	2,2	3,0	3,2	3,2	3,2	3,4	3,3	3,4
	ср. знач.	0	0	0,2	0,6	1,0	1,2	1,4	2,4	3,1	3,1	3,2	3,2	3,3	3,3	3,4

Массовое содержание железа в исследуемых маслах от пробега автомобилей, г

Наименование масла	Группа автомо- билей	Пробег, км											
		0	3267	6720	10012	13822	16108	19016	22873	26018	29604		
Товарное масло ТМ-3-18	1	0,003	0,06	0,142	0,29	0,66	1,01	1,3	1,75	1,905	2,039		
	2	0,003	0,05	0,146	0,33	0,70	1,05	1,5	1,81	1,928	2,045		
	3	0,003	0,07	0,142	0,31	0,68	1,00	1,4	1,78	1,945	2,039		
ОМ+МС-20П	ср. знач.	0,003	0,06	0,144	0,31	0,68	1,02	1,4	1,78	1,926	2,041		
	1	0,003	0,07	0,25	0,40	0,81	0,90	1,2	1,7	1,900	1,996		
	2	0,003	0,08	0,27	0,41	0,84	0,92	1,1	1,8	1,902	1,992		
ОМ+МС-20П	3	0,003	0,09	0,32	0,45	0,87	0,94	1,3	1,9	1,910	2,006		
	ср. знач.	0,003	0,08	0,28	0,42	0,84	0,92	1,2	1,8	1,904	1,998		

Массовое содержание железа в исследуемых маслах от наработки тракторов, г

Масло	Группа тракторов	Наработка, мото-ч														
		0	70	128	210	246	350	389	450	514	644	700	822	890	934	980
Товарное масло ТМ-3-18	1	0,001	0,004	0,008	0,011	0,013	0,350	0,770	0,960	1,292	1,462	1,575	1,711	1,778	1,841	1,996
	2	0,001	0,005	0,008	0,012	0,016	0,345	0,780	0,965	1,290	1,458	1,582	1,730	1,780	1,839	1,999
	3	0,001	0,006	0,008	0,013	0,019	0,358	0,790	0,970	1,300	1,487	1,595	1,753	1,809	1,852	1,999
	ср. знач.	0,001	0,005	0,008	0,012	0,016	0,351	0,780	0,965	1,294	1,469	1,584	1,732	1,789	1,844	1,998
OM+ MS-20П	1	0,003	0,006	0,010	0,160	0,345	0,636	0,911	1,122	1,350	1,608	1,722	1,866	1,884	1,921	1,992
	2	0,003	0,007	0,012	0,164	0,350	0,641	0,910	1,123	1,354	1,612	1,724	1,870	1,899	1,939	1,990
	3	0,003	0,008	0,014	0,168	0,355	0,646	0,915	1,124	1,364	1,616	1,730	1,868	1,890	1,924	1,994
	ср. знач.	0,003	0,007	0,012	0,164	0,350	0,641	0,912	1,123	1,356	1,612	1,726	1,868	1,891	1,928	1,992

Приложение Ю

Изменение показателей исследуемого частично восстановленного моторного минерального масла в трансмиссии автомобилей в эксплуатационных условиях

Показатель	Пробег, км												Индекс корреляции
	0	3267	6720	10012	13822	16108	19016	22873	26018	29604			
Кинематическая вязкость, мм <sup>2</sup> /с	расчетная	14,701	14,684	14,687	14,71	14,763	14,807	14,877	14,995	15,111	15,266	0,977	
	ср. эксп.	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,8	14,9	15,0	15,2	15,2		
Содержание нерастворимых примесей, %	расчетная	0	0,339	0,683	0,964	1,233	1,364	1,499	1,624	1,678	1,69	0,99	
	ср. эксп.	0,013	0,351	0,680	0,775	1,200	1,500	1,575	1,625	1,660	1,660		
Щелочное число, мгКОН/г	расчетная	3,273	2,841	2,439	2,107	1,785	1,625	1,456	1,292	1,21	1,173	0,998	
	ср. эксп.	3,2	2,9	2,5	2,1	1,8	1,6	1,4	1,3	1,2	1,2		
Кислотное число, мгКОН/г	расчетная	0	0	0,361	0,726	1,161	1,429	1,777	2,251	2,648	3,112	0,945	
	ср. эксп.	0	0	0,1	0,2	0,7	1,7	2,4	2,6	2,7	2,7		
Содержание железа, г	расчетная	0	0,077	0,297	0,523	0,805	0,984	1,224	1,561	1,853	2,204	0,987	
	ср. эксп.	0,003	0,07	0,21	0,37	0,76	0,97	1,30	1,79	1,92	2,02		
Содержание <i>Ва</i> , импульсов	расчетная	0,147	0,134	0,119	0,105	0,087	0,075	0,06	0,04	0,022	0,001	0,975	
	ср. эксп.	0,14	0,14	0,12	0,10	0,10	0,09	0,04	0,03	0,02	0,01		



Приложение Я

Изменение показателей исследуемого частично восстановленного моторного минерального масла в конечных передачах тракторов в эксплуатационных условиях

Показатель	Наработка, мото-ч														Индекс корреляции	
	0	70	128	210	246	350	389	450	514	644	700	822	890	934		980
Кинематическая вязкость, мм <sup>2</sup> /с	расч.	14,701	14,741	14,779	14,842	14,873	14,972	15,013	15,082	15,16	15,337	15,42	15,618	15,737	15,818	15,906
	ср. эксп.	14,7	14,7	14,8	14,9	14,9	14,9	15,0	15,1	15,1	15,4	15,5	15,6	15,6	15,8	16,0
Содержание нерастворимых примесей, %	расч.	0	0,152	0,38	0,682	0,807	1,143	1,259	1,43	1,596	1,888	1,996	2,193	2,28	2,327	2,37
	ср. эксп.	0,013	0,0429	0,351	0,5431	0,8	1,0957	1,35	1,5285	1,65	1,9	2,0006	2,1	2,2398	2,3	2,45
Щелочное число, мгКОН/г	расч.	3,336	3,087	2,889	2,62	2,507	2,195	2,084	1,916	1,749	1,436	1,313	1,066	0,942	0,867	0,793
	ср. эксп.	3,2	3,1	2,9	2,8	2,5	2,3	2,1	1,9	1,7	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8
Кислое число, мгКОН/г	расч.	0	0	0,357	0,855	1,06	1,604	1,789	2,059	2,315	2,753	2,907	3,17	3,274	3,325	3,365
	ср. эксп.	0	0	0,1	0,5	0,9	1,2	1,5	2,3	2,9	3,0	3,1	3,1	3,2	3,2	3,3
Содержание железа, г	расч.	0	0	0,105	0,334	0,432	0,705	0,804	0,954	1,107	1,4	1,519	1,765	1,894	1,974	2,055
	ср. эксп.	0,002	0,006	0,01	0,088	0,183	0,495	0,846	1,044	1,325	1,541	1,655	1,8	1,84	1,886	1,995
Содержание Ва, импульсов	расч.	0,15	0,141	0,133	0,123	0,118	0,105	0,099	0,091	0,083	0,063	0,057	0,04	0,031	0,025	0,018
	ср. эксп.	0,14	0,14	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02

Изменение содержания *Va* в исследуемых маслах от пробега автомобилей, %

Наименование масла	Группа автомо- билей	Пробег, км									
		0	3267	6720	10012	13822	16108	19016	22873	26018	29604
Товарное масло ТМ-3-18	1	0,14	0,11	0,10	0,08	0,08	0,08	0,03	0,02	0,02	0,01
	2	0,14	0,14	0,13	0,11	0,11	0,09	0,04	0,03	0,02	0,01
	3	0,14	0,15	0,13	0,11	0,11	0,1	0,05	0,04	0,02	0,01
ОМ+МС-20П	1	0,14	0,15	0,13	0,12	0,12	0,1	0,05	0,04	0,02	0,01
	2	0,14	0,13	0,11	0,09	0,09	0,08	0,03	0,02	0,02	0,01
	3	0,14	0,14	0,12	0,09	0,09	0,09	0,04	0,03	0,02	0,01
Среднее значение		0,14	0,14	0,12	0,10	0,10	0,09	0,04	0,03	0,02	0,01



Изменение содержания *Ba* в исследуемых маслах от наработки тракторов, %

Масло	Группа тракторов	Наработка, мото-ч															
		0	70	128	210	246	350	389	450	514	644	700	822	890	934	980	
Товарное масло ТМ-3-18	1	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,12	0,11	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,05	0,03	0,03	0,02
	2	0,14	0,14	0,14	0,12	0,11	0,10	0,08	0,08	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01
	3	0,14	0,14	0,14	0,13	0,12	0,11	0,11	0,10	0,09	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03
ОМ+ МС-20П	1	0,14	0,14	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,06	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03
	2	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,08	0,07	0,06	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02
	3	0,14	0,14	0,14	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01
Среднее значение		0,14	0,14	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02

Приложение В1

Изменение содержания активных металлов присадок *Va* в исследуемых маслах по количеству импульсов от пробега автомобилей

Пробег, км	Количество импульсов по № автомобилей						среднее значение
	товарное масло ТМ-3-18			ОМ+МС-20П			
	1	2	3	4	5	6	
0	5144	5144	5144	5144	5144	5144	5144
3267	5012	5018	4885	5060	4869	5048	4972
6720	4731	4755	4733	4789	4709	4722	4740
10012	4405	4420	4450	4498	4339	4438	4425
13822	3978	3903	3912	3903	3955	3935	3931
16108	3540	3515	3460	3500	3514	3501	3505
19016	3121	3085	3025	3062	3096	3073	3077
22873	2687	2659	2607	2630	2675	2651	2652
26018	2223	2218	2201	2201	2225	2216	2214
29604	1963	1949	1941	1945	1964	1944	1951

Приложение Г1

Изменение содержания активных металлов присадок *Va* в исследуемых маслах по количеству импульсов от наработки тракторов

Наработка, мото-ч	Количество импульсов по № тракторов						среднее значение
	товарное масло ТМ-3-18			ОМ+МС-20П			
	1	2	3	4	5	6	
0	5144	5144	5144	5144	5144	5144	5144
128	5141	5142	5143	5141	5141	5141	5142
246	4147	4153	4156	4161	4154	4141	4152
389	3918	3926	3928	3934	3927	3911	3924
514	3779	3812	3815	3809	3805	3792	3802
644	3603	3615	3618	3616	3612	3608	3612
822	2849	2863	2868	2866	2862	2852	2860
934	2608	2615	2619	2617	2614	2611	2614
980	2412	2423	2425	2424	2422	2414	2420

Программа для определения индекса корреляции показателей частично  
восстановленного моторного минерального масла в эксплуатационных условиях

```

1 COLOR 15,1,0: CLS: LOCATE 3,7: PRINT: DEFDBL A-H,Q-Z
2 ' Заказчик: зав.учебными мастерскими кафедры "Материаловедения и
3 ' технологии сельхозмашиностроения"
4 ' Ульяновской ГСХА Замальдинов Марат Миндехатович
5 '
7 PRINT"          О п р е д е л е н и е   и   н   д   е   к   с   а   к   о   р   р   е   л   я   ц   и
8 PRINT"          =====
10 PRINT: INPUT" Число членов исходных выборок          N = ";N: PRINT
12 DIM YRAS(N), YOP(N)
14 FOR I=1 TO N: READ YRAS(I): NEXT I
16 FOR I=1 TO N: READ YOP(I): NEXT I
20 FOR I=1 TO N
22 SRAS=SRAS+YRAS(I): SOP=SOP+YOP(I): NEXT I
24 SRAS=SRAS/N: SOP=SOP/N
25 PRINT" Sras=";SRAS;"          Sop=";SOP
30 FOR I=1 TO N
32 T1=T1+(YRAS(I)-SRAS)^2: T2=T2+(YOP(I)-SOP)^2: NEXT I
33 PRINT" t1=";T1;"          t2=";T2
34 ' М а л е н ь к у ю дисперсию делим на б о л ь ш у ю !
36 IF T1 <= T2 THEN T0=T1/T2: GOTO 40
38 T0=T2/T1
40 KOOR=SQR(T0): PRINT
42 PRINT" И н д е к с корреляции          Kr ="; KOOR
43 PRINT" -----": PRINT
44 FOR I=1 TO N
46 EPS=EPS+ABS((YOP(I)-YRAS(I))/YRAS(I)): NEXT I
48 EPS=100*EPS/N
50 PRINT" Относительная ошибка приближения,(%)          Eps =";EPS
52 PRINT" -----"
70 FOR I=1 TO 73: PRINT"*";: NEXT I: PRINT
72 D$=DATE$: A$=LEFT$(D$,3): B$=MID$(D$,4,3): C$=RIGHT$(D$,4)
73 D$=B$+A$+C$: T$=TIME$
75 PRINT" Автор программы: инженер Учебно-информ.центра УГСХА          МИХЛЕЕВ В
И."
76 PRINT" IBM PC/AT-386DX. Copyright (C). Mikhleev Corp,2009. All rights reserv
d."
77 PRINT" Д А Т А расчета -- "D$;".          В Р Е М Я ( Московское ) - "T$;".
78 FOR I=1 TO 73: PRINT"*";: NEXT I: PRINT
90 '          И с х о д н ы е   р я д ы
91 ' -- сначала вводим Y-расчетное, затем -- Y-опытные
92 DATA 14.701,14.684,14.687,14.71,14.763,14.807,14.877,14.995,15.111,15.266
93 DATA 14.7,14.7,14.7,14.7,14.7,14.8,14.9,15.0,15.2,15.2
96 DATA
100 END

```

**Масло МС-20П**

Масло моторное МС-20П (ТУ 38.101265-88) получают добавлением многофункциональной присадки к маслу МС-20.

**Область применения масла МС-20П**

Применяют для смазывания судовых, тепловозных и стационарных дизелей типа 12ЧН 18/20, эксплуатируемых на малосернистом топливе.

**Технические характеристики**

<b>Наименование показателя</b>	<b>Норма по ГОСТ (ТУ)</b>
Вязкость кинематическая при 100°С, мм <sup>2</sup> /с	20±0,5
Индекс вязкости, не менее	80
Коксуемость масла без присадки, %, не более	0,3
Кислотное число масла без присадки, мг КОН/г, не более	0,05
Щелочное число, мг КОН/г, не менее	9,0
Зольность масла, %	
без присадки не более	0,008
с присадкой не более	0,24
Массовая доля механических примесей, %, не более	0,01
Массовая доля воды, %, не более	следы
Температура вспышки в открытом тигле, °С, не ниже	225
Температура застывания, °С, не выше	-18
Коррозионность на пластинках из свинца, г/м <sup>2</sup> , не более	10,0
Массовая доля , %, не менее	
бария	0,14
кальция	0,08
Плотность при 20°С, кг/м <sup>3</sup> , не более	900

**SAE 80W-90 – Славнефть ТМ 3-18**

Стандарты:

Класс вязкости:	<b>SAE 80W-90</b>
Группа качества:	<b>API GL-3</b>
ТУ:	<b>0253-008-00219158-96</b>

**Состав:** Представляет собой остаточное масло с небольшой добавкой дистиллятного и композицией присадок, улучшающих противозадирные, противоизносные, низкотемпературные и антипенные свойства. Работоспособно длительно в интервале температур от -20 °С до +130 °С.

**Область применения:** Трансмиссионное масло, единое для коробки передач и главной передачи (двухступенчатый редуктор с цилиндрическим и спирально-коническими зубчатыми колесами) автомобилей КАМАЗ и других грузовых автомобилей.

**Технические характеристики****Показатели физико-механических свойств**

Вязкость:

кинематическая, мм<sup>2</sup>/с, при температуре:

50 °С	-
100 °С	15,0±1

динамическая, Па с, при -15 (20) °С, не более 75

Индекс вязкости, не менее 90

Температура, °С:

вспышки в открытом тигле, не менее 185

застывания, не выше -25

Массовая доля, %:

механических примесей, не более 0,01

воды следы

фосфора, не менее -

серы -

водорастворимых кислот и щелочей -

Испытание на коррозию пластинок в течении 3 ч:

из стали и меди при 100 °С выдерживает

из меди при 120 °С, баллы, не более 2с

Зольность, % -

Кислотное число, мг КОН/г, не более	-
Стабильность на приборе ДК-НАМИ (140 °С, 20 ч):	
изменение кинематической вязкости при 100 °С, %, не более	7,0
осадок в петролейном эфире, %, не более	0,05
Склонность к преобразованию, см <sup>3</sup> , не более, при температуре:	
24 °С	300
94 °С	50
24 °С после испытания при 94 °С	300
Смазывающие свойства на ЧШМ:	
индекс задира, Н, не менее	539
Нагрузка сваривания, Н, не менее	3479
показатель износа при осевой нагрузке 392 Н, (20±5) °С, 1ч, мм, не более	0,50
Цвет, ед. ЦНТ, не более	-
Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup> , не более	910

## Технические характеристики масла М-10Г2К

Наименование показателя	Норма по ГОСТ (ТУ)
Вязкость кинематическая	
при 100°С, мм <sup>2</sup> /с	11,0±0,5
при 0°С, не более	-
при -12°С, не более	-
Индекс вязкости, не менее	95
Температура,°С	
вспышки в открытом тигле, не ниже	220
застывания, не выше	-18
Коррозионность на пластинках из свинца, г/м <sup>2</sup> , не более	отсутствует
Моющие свойства по ПЗВ, баллы, не более	0,5
Термоокислительная стабильность при 250°С, мин, не менее	65
Щелочное число, мг КОН/г, не менее	6,0
Зольность сульфатная, % (мас. доля), не более	1,15
Стабильность по индукционному периоду осадкообразования (ИПО), выдерживает, ч	50
Цвет с разбавлением 15:85, ед. ЦНТ, не более	3,0
Плотность при 20°С, кг/м <sup>3</sup> , не более	900
Массовая доля активных элементов, %, не менее	
кальция	0,19
бария	-
цинка	0,05
фосфора	0,05
Степень чистоты, мг/100г, не более	500

Продолжение приложения М1

Массовая доля, %, не более	
механических примесей	0,015
воды	следы
Цвет на колориметре ЦНТ, единицы ЦНТ, не более	3,0
Температура вспышки, определяемая в открытом тигле, °С, не ниже	180
Стабильность против окисления	
приращение кислотного числа окисленного масла мг КОН на 1 г масла, не более	0,30
приращение смол, % не более	3,0
Содержание растворителей в маслах селективной очистки	отсутствие



## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ .....	6
1.1 Проблемы вторичного использования отработанных моторных минеральных масел на современном этапе.....	6
1.2 Организация сбора отработанных моторных минеральных масел в условиях сельскохозяйственного производства .....	9
1.3 Оценочные показатели эксплуатационных свойств отработанных моторных минеральных масел.....	12
1.4 Существующие способы очистки и восстановления эксплуатационных свойств отработанных моторных минеральных масел до нормативных значений .....	23
Выводы.....	31
2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ И КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МОДУЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОЧИСТКИ И ЧАСТИЧНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОТРАБОТАННЫХ МОТОРНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ МАСЕЛ ОТ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ (НЕРАСТВОРИМЫХ ПРИМЕСЕЙ, ВОДЫ И ТОПЛИВНЫХ ФРАКЦИЙ).....	32
2.1 Закономерности процессов очистки и частичного восстановления отработанных моторных минеральных масел от нерастворимых примесей, воды и топливных фракций.....	32
2.1.1 Закономерности процесса гравитационного отстаивания.....	32
2.1.2 Закономерности процесса выпаривания.....	37
2.1.3 Закономерности процесса гидроциклонной очистки.....	43
2.1.4 Закономерности процесса центрифугирования.....	47
2.1.5 Закономерности процесса магнитной очистки.....	51
2.1.6 Закономерности процесса фильтрации.....	53
2.2 Обоснование способа компаундирования.....	55
2.3 Критерии оценки эксплуатационных свойств отработанных моторных	

минеральных масел после очистки и частичного восстановления в условиях сельскохозяйственного потребителя.....	56
2.4 Обоснование конструктивных параметров модульной установки для очистки и частичного восстановления отработанных моторных минеральных масел от загрязнителей.....	60
2.4.1 Обоснование конструктивных параметров нагревателя.....	60
2.4.2 Обоснование конструктивных параметров гидроциклона.....	62
2.4.3 Обоснование конструктивных параметров центрифуг.....	64
2.4.4 Обоснование конструктивных параметров магнитной очистки.....	67
2.4.5 Обоснование конструктивных параметров фильтра.....	68
Выводы.....	70
<b>3 МОДУЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ОЧИСТКИ И ЧАСТИЧНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОТРАБОТАННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ ОТ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ (НЕРАСТВОРИМЫХ ПРИМЕСЕЙ, ВОДЫ И ТОПЛИВНЫХ ФРАКЦИЙ).....</b>	<b>71</b>
3.1 Устройство и принцип работы составных частей модульной установки для очистки и частичного восстановления отработанного моторного минерального масла от нерастворимых примесей, воды и топливных фракций.....	71
3.2 Технологический процесс очистки и частичного восстановления отработанных моторных минеральных масел от нерастворимых примесей, воды и топливных фракций.....	76
Выводы.....	79
<b>4 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....</b>	<b>80</b>
4.1 Обоснование и выбор объекта исследований.....	80
4.2 Структура экспериментальных исследований.....	80
4.3 Программа экспериментальных исследований.....	82
4.4 Выбор технических средств для проведения экспериментов.....	83
4.5 Методика лабораторных исследований.....	85

4.5.1 Подготовка модульной установки для очистки и частичного восстановления отработанных моторных минеральных масел .....	85
4.5.2 Технологический процесс очистки и частичного восстановления отработанных моторных минеральных масел.....	86
4.5.3 Технологический процесс компаундирования очищенных отработанных моторных минеральных масел.....	88
4.5.4 Отбор и подготовка проб масла для анализа.....	90
4.5.5 Лабораторный анализ проб масла.....	91
4.5.6 Экспресс-метод определения наличия в отработанном моторном минеральном масле топливных фракций.....	97
4.6 Методика исследований в производственных условиях .....	99
4.7 Выбор условий эксперимента.....	102
4.8 Рекомендации по вторичному использованию отработанных моторных минеральных масел в автотракторных трансмиссиях.....	102
4.9 Методика обработки результатов.....	103
Выводы.....	107
<b>5 РЕЗУЛЬТАТЫ И АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....</b>	<b>109</b>
5.1 Результаты и анализ лабораторных исследований очистки и частичного восстановления отработанных моторных минеральных масел.....	109
5.1.1 Результаты и анализ исследований очистки отработанных моторных минеральных масел в процессе гравитационного отстаивания....	109
5.1.2 Результаты и анализ исследований очистки отработанных моторных минеральных масел в процессе выпаривания.....	111
5.1.3 Результаты и анализ исследований очистки отработанных моторных минеральных масел в процессе гидроциклонной очистки.....	112
5.1.4 Результаты и анализ исследований очистки отработанных моторных минеральных масел в процессе центрифугирования .....	113
5.1.5 Результаты и анализ исследований очистки отработанных моторных	

минеральных масел в процессе магнитной очистки .....	116
5.1.6 Результаты и анализ исследований очистки отработанных моторных минеральных масел в процессе фильтрования .....	117
5.2 Результаты лабораторных исследований.....	119
5.3 Результаты исследований компаундирования очищенных отработанных моторных минеральных масел.....	122
5.4 Результаты исследований в производственных условиях.....	123
5.5 Результаты исследования очищенных и частично восстановленных моторных минеральных масел на лабораторных установках.....	128
5.5.1 Результаты исследований противоизносных свойств.....	128
5.5.2 Результаты исследований на содержание продуктов износа и металлов присадок.....	131
5.6 Результаты эксплуатационных исследований очищенных и частично восстановленных моторных минеральных масел в автотракторных трансмиссиях.....	135
Выводы.....	145
<b>6 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ .....</b>	<b>147</b>
6.1 Общий подход к оценке экономической эффективности.....	147
6.2 Расчет эффективности при использовании частично восстановленного отработанного моторного минерального масла.....	147
6.3 Рекомендации производству по использованию, очистке и частичному восстановлению отработанных моторных минеральных масел.....	153
Выводы.....	154
<b>ОБЩИЕ ВЫВОДЫ.....</b>	<b>155</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>157</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ.....</b>	<b>171</b>

## **МОНОГРАФИЯ**

**М.М. Замальдинов**

**Многоступенчатый способ очистки и частичного восстановления  
эксплуатационных свойств отработанных  
моторных минеральных масел**

**Подписана в печать**

**Формат 60×84/16**

**Усл. печ. лист 12,9 Тираж 100 Заказ \_\_\_\_\_**

---

**432063, Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1**