

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

На правах рукописи



Шихалев Илья Николаевич

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК  
ПРОЦЕССА ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК НА ОСНОВЕ  
ОТРАБОТАННЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ ДЛЯ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКЕ**

Специальность 05.20.03 – Технологии и средства технического  
обслуживания в сельском хозяйстве

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
доктор технических наук  
Остриков Валерий Васильевич

ТАМБОВ 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
<b>1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ .....</b>	<b>13</b>
1.1. Состав и основные характеристики пластичных смазок .....	13
1.2 Анализ процесса смазывания, сроков службы пластичных смазок, и перечень смазок применяемых в сельскохозяйственной технике.....	21
1.3 Анализ способов и технологических схем приготовления пластичных смазок .....	29
1.4 Выводы и задачи исследований .....	42
<b>2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ РАЗРАБОТКИ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК НА ОСНОВЕ ОТРАБОТАННЫХ МАСЕЛ .....</b>	<b>44</b>
2.1 Обоснование выбора разделяющих агентов для укрупнения примесей в отработанных маслах .....	44
2.2 Установление аналитических зависимостей процесса осаждения скоагулировавшихся примесей в поле гравитационных сил под действием разделяющего агента.....	53
2.3 Определение схемы и параметров технологического процесса получения дисперсионной среды смазки и смешивания с дисперсной фазой в одном объекте.....	60
2.4 Обоснование показателя эффективности работы пластичной смазки в узлах трения .....	62
2.5 Выводы .....	66
<b>3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....</b>	<b>68</b>
3.1 Методика проведения экспериментальных исследований по выбору разделяющих агентов.....	68
3.2 Методика определения рациональных составов смазок и параметров процесса перемешивания дисперсионной среды с дисперсной фазой.....	71

3.3 Методика электрохимической оценки противокоррозионных, свойств пластичных смазок .....	73
3.4 Определения адгезионной способности пластичных смазок .....	75
3.5 Методика определения прочностных характеристик пластичных смазок .....	78
3.6 Определение теплоёмкости пластичных смазок методом монотонного разогрева.....	79
3.7 Оценка противоизносных свойств пластичных смазок на четырехшариковой машине трения .....	82
3.8 Методика стендовых испытаний пластичных смазок в подшипниках качения ....	83
3.9 Методика проведения производственных испытаний экспериментальных образцов смазок в узлах трения сельскохозяйственной техники .....	85
<b>4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....</b>	<b>87</b>
4.1 Результаты исследований по оценке эффективности действия разделяющих агентов в отработанном масле и разработке способов их очистки от примесей для получения дисперсионной среды смазок.....	87
4.2 Определение рациональных составов пластичных смазок и моделирование процессов приготовления.....	98
4.3 Сравнительная оценка антикоррозионных и защитных свойств составов смазок .....	104
4.4 Результаты исследований по определению адгезионных свойств экспериментальных смазок .....	109
4.5 Исследование прочностных характеристик экспериментальных составов смазок .....	112
4.6 Результаты исследований по оценке теплоемкости смазок и их окисляемости под действием температур.....	116
4.7 Оценка смазывающих, противоизносных свойств составов смазок и определение параметров эффективности работы в узлах трения.....	122
4.8 Результаты сравнительных стендовых испытаний смазок в подшипниках качения .....	129

4.9 Результаты производственных испытаний экспериментальных пластичных смазок в узлах сельскохозяйственной техники.....	135
4.10 Разработка устройства и технологического процесса получения пластичных смазок на основе отработанных моторных масел.....	143
4.11 Выводы.....	156
<b>5 ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ОТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗРАБОТАННЫХ СОСТАВОВ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК НА ОСНОВЕ ОТРАБОТАННЫХ МАСЕЛ ВЗАМЕН ТОВАРНЫХ .....</b>	<b>156</b>
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>165</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>168</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ.....</b>	<b>182</b>

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** Нефтепродукты являются основной статьёй затрат сельского товаропроизводителя при производстве продукции. В сельскохозяйственной технике используется широкий ассортимент топлив, смазочных масел, пластичных смазок. Общая доля применяемых пластичных смазок не столь велика (5 - 6 %) по сравнению с дизельным топливом и моторными маслами. Однако пластичные смазки могут работать в тех узлах, где масла не способны удерживаться в негерметизированных системах. Смазки более эффективны при воздействии высоких температур, имеют более высокие защитные свойства, выдерживают высокое давление и ударные нагрузки, то есть обладают всеми эксплуатационными свойствами столь необходимыми при использовании их в тяжело нагруженных узлах трения сельскохозяйственной техники.

Существующие на сегодняшний день способы получения и составы пластичных смазок предполагают использование дорогостоящих и ограниченных ресурсов, таких как нефтяные базовые масла и присадки, а технологии их производства энергоёмки и высокочрезвычайно затратны.

Отработанные моторные масла представляют собой продукт, требующий утилизации, при этом они содержат сильно загрязнённую основу масла и остаточный запас присадок, которые при определенных условиях могут быть использованы при производстве вторичных масел и смазок.

Удаление из отработанных моторных масел, смол, асфальтенов, карбенов, карбоидов позволит получить практически масляную основу – дисперсионную среду для пластичных смазок, при этом в отличие от традиционно используемых дорогостоящих товарных масел, очищенные отработанные масла содержат 25 - 30 % антиокислительных, противоизносных, антикоррозионных присадок, которые повышают эксплуатационные свойства дисперсионной среды а следовательно и свойства пластичной смазки.

Разработка простых технологических процессов очистки отработанных масел от примесей и загрязнений, и получения на их основе востребованных в АПК пластичных смазок позволяет решать многогранную актуальную проблему ре-

сурсосбережения, снижения затрат на приобретение смазочных материалов и рациональное решение задач утилизации отработанных масел в местах их потребления.

**Степень разработанности темы.** Вопросами очистки отработанных масел и получения на их основе вторичных масел и технических жидкостей посвящены работы Удлера Э.И., Фукса И.Г., Коваленко В.П., Рыбакова К.В., Григорьева М.А., Осипова М.В., Ленивцева А., Немец В.Л., Стрельцова В.В., Картошкина А.П., Острикова В. В., и др.

Проблемами разработки различных составов пластичных смазок, оценки и изучения их свойств, плодотворно занимались такие ученые как: Сорокин Г.И., Ваиншток В.В., Фехервари А., Бакалейников М.Б., Смиотанко Э.А., Зелькинд И.Е., Шибряев С.Б., Киташов Ю.Н., Boner C.J., Myers E.N., Verdura T.M. и др.

Решением задач эффективного применения смазочных материалов в сельскохозяйственной технике, повышения эксплуатационных свойств смазок, надежности работы узлов трения активно и успешно занимались Ленский А.В., Быстрицкая А.П., Итинская Н.И., Кузнецов Н.А., Балабанов В.И., Лышко Г.П., Холманов В.М., Уханов А.П., Сафонов В.В., Лебедев А.Т., Остриков В.В. и др.

Разработанные известные методы и технологии получения пластичных смазок, повышения их эксплуатационных свойств направлены прежде всего на решение задач повышения надежности работы узлов трения машин, а проблемы получения высококачественных смазок из отработанных масел, снижения затрат на их производство за счет использования отработанных нефтепродуктов, тем самым повышения эффективности использования ресурсов в сельскохозяйственном производстве остаются нерешенными.

Практически отсутствуют научные разработки в области получения высоко востребованных в АПК смазок Солидол Ж и Литол – 24 на основе отработанных масел. Нет информации о результатах исследований свойств и фактов использования в сельскохозяйственной технике пластичных смазок, полученных на основе вторичного сырья.

**Целью работы** является повышение эффективности использования ресурсов в сельскохозяйственном производстве за счет замены товарных пластичных смазок аналогами, получаемыми на основе отработанных моторных масел в условиях предприятий АПК.

В соответствии с целью поставлены следующие **задачи исследований**:

- обосновать выбор разделяющих агентов, обеспечивающих укрупнение примесей и загрязнений в отработанных моторных маслах;
- установить аналитические зависимости процесса осаждения укрупненных примесей и загрязнений с целью разработки способов очистки отработанных масел для их дальнейшего использования в качестве дисперсионной среды пластичных смазок;
- определить рациональный состав смазок, и показатели эффективности их работы в узлах трения;
- разработать технологический процесс и универсальное устройство для приготовления смазок, обеспечивающее и получение дисперсионной среды из отработанных масел, и последующее её загущение, и перемешивание в одном объекте;
- экспериментально подтвердить эффективность применения очищенного отработанного моторного масла в качестве дисперсионной среды, рациональность разработанных составов смазок, их основных свойств, провести экономическую оценку эффективности применения смазок в сельскохозяйственной технике.

**Объект исследования** – технологические процессы приготовления и использования пластичных смазок на основе отработанного моторного масла в узлах трения сельскохозяйственной техники.

**Предмет исследования** – закономерности изменения характеристик и свойств пластичных смазок в процессе их приготовления и использования.

**Научную новизну** работы составляют:

- способы очистки отработанных моторных масел, отличающиеся обоснованным выбором в качестве разделяющих агентов спиртового раствора карбамида и моноэтаноламина, позволяющих нейтрализовать действие моюще-

диспергирующих присадок и укрупнять примеси в минеральных и синтетических отработанных маслах;

– аналитические зависимости для определения эффективности процесса удаления примесей, оцениваемые скоростью и временем осаждения, отличающиеся учетом коэффициента кратности увеличения примесей под действием разделяющих агентов и коэффициента замедления процесса осаждения за счет остаточного действия моюще-диспергирующих присадок, определяемого экспериментально;

– составы пластичных смазок, отличающиеся использованием в качестве дисперсионной среды очищенных от примесей отработанных моторных масел взамен товарных масел на нефтяной и синтетической основе и упрощенной дисперсной фазы в виде мыльных загустителей;

– показатель эффективности работы смазки, характеризуемый ресурсом узла трения, отличающийся учетом особенностей свойств основы отработанного моторного масла, определяемых аналитически с учетом коэффициента природы масла, остаточной концентрации присадок и противоизносных свойств смазки, оцениваемых по диаметру пятна износа;

– схема технологического процесса приготовления пластичных смазок, отличающиеся совместимостью операций получения дисперсионной среды и ее смешивания с дисперсной фазой в реакторе – смесителе.

**Теоретическая и практическая значимость работы:** Результаты теоретических исследований позволяют обосновать способы получения дисперсионной среды пластичных смазок из отработанных масел, установить аналитические зависимости процессов осаждения примесей с учетом известных закономерностей и принятых особенностей, определить рациональный состав смазок, состоящий из дисперсионной среды очищенного отработанного моторного масла и дисперсной фазы в виде загустителей. На основании известных теоретических подходов, знаний науки трибологии, с учетом обоснованных решений предложен и апробирован показатель эффективности работы смазки в узле трения. Применение способов очистки масла и получения дисперсионной среды разработанного состава

смазки, технологического процесса и оборудования для приготовления пластичных смазок в условиях потребителя позволяет снизить затраты на эксплуатацию сельскохозяйственной техники, решить проблемы ресурсосбережения и снижения загрязнений окружающей среды.

**Методология и методы исследований.** Теоретические исследования по выбору разделяющих агентов, обоснованию способов очистки отработанных масел для получения из них дисперсионной среды проводились на основе известных законов физической химии. Оценка процессов осаждения загрязнений проводилась с учетом законов гидромеханики. Обоснование и расчетные выражения для определения процессов, характеристик и параметров смешивания дисперсной среды с дисперсной фазой проводились с использованием известных законов гидродинамики и теплофизики. Определение составов смазок и их характеристик проводилось с учетом основ трибологии, физико-химических свойств смазок на современном исследовательском оборудовании. Стендовые испытания образцов смазок проводились на специально разработанном стенде, имитирующем работу подшипниковых пар трения. Экспериментальные образцы оборудования изготавливались в условиях экспериментального производства ФГБНУ ВНИИТиН.

Производственные испытания смазок проводились в сельскохозяйственной технике в колхозе ПЗ имени Ленина Тамбовского района Тамбовской области, технологический процесс и оборудование приготовления смазок прошли производственную проверку в ООО «МИПП ЭнергоОйл», г. Мурманск, и ООО «Завод смазок ПРОМ-ОИЛ», г. Иваново.

Обработка данных результатов исследований проводилась с использованием методов математического анализа и статической обработки, с применением современных компьютерных программ обработки данных экспериментов.

**На защиту выносятся следующие основные положения:**

– способы очистки отработанных масел под действием разделяющих агентов, позволяющих временно нейтрализовать действие присадок в отработанных минеральных и синтетических маслах и укрупнять мелкодиспергированные продукты окисления, что повышает эффективность их последующего удаления;

– аналитические зависимости процесса осаждения примесей и загрязнений, позволяющие определить скорость и время осаждения скоагулировавших (укрупнившихся) частиц примесей в поле гравитационных сил с учетом коэффициентов кратности увеличения примесей и коэффициента замедления, определяемого аналитически;

– составы пластичных смазок, позволяющие использовать в качестве дисперсионной среды очищенные отработанные масла, а в качестве дисперсной фазы простейшие мыльные загустители;

– показатель эффективности работы пластичных смазок, характеризующий ресурс работы узла трения в зависимости от остаточного содержания присадок в дисперсионной среде, природы масла (минеральное или синтетическое), и позволяющий по диаметру пятна износа смазки, номинальной динамической грузоподъемности и нагрузке, определяющий в целом ресурс работы подшипника и смазки;

– схема технологического процесса для приготовления смазок, позволяющая, исходя из объемов масел, их свойств и характеристик процессов перемешивания, использовать один объект и для очистки масел от примесей и для эффективного перемешивания дисперсной фазы с дисперсионной средой;

– экспериментальные данные исследований по оценке эффективности действия разделяющих агентов в отработанном масле для удаления примесей и получения дисперсионной среды, результаты исследований составов и свойств смазок на основе отработанных масел, результаты оценки трибологических свойств смазок в узлах трения.

**Личный вклад автора.** Автору принадлежит постановка цели и задач исследования, разработка программы и методик экспериментальных исследований. Непосредственное участие в разработке способов очистки, составов смазок в проведении лабораторных, стендовых и производственных испытаний смазок. С его участием разработаны и изготовлены опытные образцы стенда для оценки свойств смазки и оборудования для приготовления аналогов пластичных смазок. Принято непосредственное участие в организации и внедрении технологического

процесса производства смазок на предприятиях, относящихся к производителям – поставщикам нефтепродуктов в АПК.

При его участии подготовлены и опубликованы материалы исследований в журналах, рекомендованных ВАК РФ, подготовлены и получены патенты на изобретения.

**Реализация результатов исследований.** На основании результатов теоретических и экспериментальных исследований разработаны составы аналогов смазок Солидол Ж и Литол – 24, апробированных в узлах трения опорных подшипников мотовила жатки ПН – 35 и узлах ведомого привода левого торсиона жатки, правого подшипника привода жатки, привода барабана жатки, подшипников режущего механизма, ускорителя выгрузки, привода жатки (ведомый шкив питающего аппарата) комбайна Дон 680 М при уборке трав и кукурузы на силос в июле – августе 2015 году в колхозе ПЗ имени Ленина Тамбовского района Тамбовской области. Разработанные реактор-смеситель и технология приготовления смазок внедрены в ООО «МИПП ЭнергоОйл» г. Мурманска. За период 2014 – 2015 на предприятии произведено и реализовано 50148 кг пластичных смазок аналогов Литол – 24. Состав и технологический процесс приготовления смазок на основе отработанных моторных масел внедрен в серийное производство ООО «Завод смазок ПРОМ-ОИЛ» г. Иваново, что подтверждено актами и протоколами испытаний, справками о внедрении.

**Степень достоверности и апробации работы.** Достоверность работы подтверждена высокой сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований и испытаний в лабораторных, стендовых и производственных условиях.

Основные положения и результаты работы доложены и обсуждены на XVII Международной научно - практической конференции «Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства» 23-25 сент. 2013 г., Тамбов, Международной научно – практической конференции «Актуальные направления научных исследований 21 века: теория и практика.» ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая акаде-

мия». Воронеж 2014 г, Международном научно - техническом семинаре имени В.В. Михайлова «Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники» г. Саратов, 2014, XI Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы научно – технического прогресса в АПК», посвященной 65 – летию факультета механизации сельского хозяйства, 25-27 марта 2015 г, г. Ставрополь. – «Агрус», СГАУ., XVIII Международной научно - практической конференции «Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства» 23-24 сентября 2015 года, г. Тамбов, научно-практической конференции «Инженерное обеспечение инновационных технологий в АПК» 15-17 октября 2015 года, – Мичуринск - наукоград РФ.

#### **Публикации по теме диссертации:**

По результатам исследований опубликовано 24 печатные работы, в том числе 4 статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ, получено 3 патента на изобретения №2554357 «Способ очистки отработанного масла» 27.06.2015 г., №2556221 «Способ регенерации отработанных синтетических моторных масел» 10.07.2015 г., №2529857 «Пластичная смазка для тяжело нагруженных узлов трения» 10.10.2014 г.

Общий объем публикаций составляет 3,1 п.л., из них лично соискателю принадлежит 1,95 п.л.

#### **Структура и объем диссертации:**

Диссертация состоит из введения, пяти разделов, включающих 91 рисунок и 16 таблиц, заключения, списка используемой литературы, включающего 152 наименования, 10 приложений. Объем диссертации 220 страниц.

# 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

## 1.1. Состав и основные характеристики пластичных смазок

Как известно пластичная смазка состоит из жидкой основы (дисперсионной среды), твердого загустителя (дисперсной фазы), присадок и добавок [1,2,3].

В качестве основы в большинстве случаев применяют нефтяное масло. В некоторых случаях применяют растительные масла (рапсовые, касторовые). Смазки, работающие в тяжёлых условиях, готовят на основе синтетических масел (сложных эфиров, кремнийорганической жидкости и др.), однако широкое применение таких масел в условиях АПК ограничено из-за их высокой стоимости.

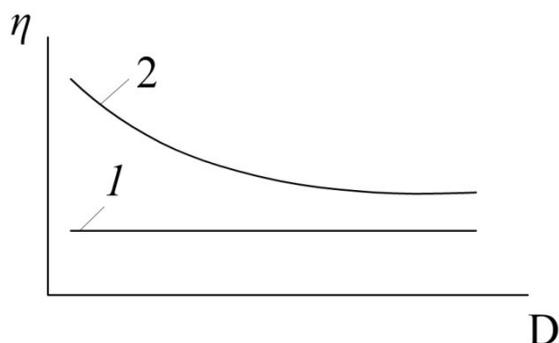
Характеристики смазок во многом зависят от свойств исходного масла (дисперсионной среды). Характеристики и фракционный состав дисперсионной среды существенно влияют на структурообразование и загущающий эффект дисперсной фазы, а следовательно на эксплуатационные свойства смазок [1,4,5,6]. От свойств используемого, масла, применяемого в качестве дисперсионной среды зависит работоспособность смазок в определенных интервалах температур, их окисляемость, защитные свойства, устойчивость к агрессивным средам, набухаемость изделий из резины и полимеров (используемых в качестве уплотнений), а также противоизносные свойства получаемых пластичных смазок. Вязкость пластичной смазки при отрицательных температурах зависит в первую очередь, от вязкости дисперсионной среды, а её испаряемость во многом зависит от фракционного состава и температуры вспышки масла используемого в качестве дисперсионной среды [1,2,7,8,9].

Зависимость вязкости смазки от вязкости используемого масла - дисперсионной среды носит линейный характер и описывается известным уравнением приведенным в работе Ю.Л. Ищюка, Н.В. Лендьела [10]:

$$\mu_{см} = a + b\mu_{дс} \quad (1.1)$$

где  $\mu_{см}$  - вязкость смазки, кг/(м·с);  $a, b$  - коэффициенты;  $\mu_{дс}$  - вязкость дисперсионной среды, кг/(м·с).

Вязкостные свойства, по заявлениям профессора И.Г. Фукса [2,11] характеризующиеся способностью пластичной смазки сопротивляться перемещению взаимодействующих тел обеспечивают жидкостную смазку. Вязкость пластичных смазок напрямую зависит от градиенты скорости сдвига в отличие от масла (рисунок 1.1 [12]).



1 - масло; 2 - пластичная смазка

Рисунок 1.1 – Зависимость вязкости  $\eta$  от градиенты скорости сдвига  $D$

Зависимость вязкости пластичной смазки от температуры вызвана тем фактом, что большая часть энергии расходуется на разрушение структурного каркаса. Стоит отметить, что механическая стабильность обуславливается типом и концентрацией загустителя, составом и свойствами дисперсионной среды и другими показателями [2,13].

К важным характеристикам пластичной смазки относится её смазывающая способность, под которой понимается способность снижать износ деталей узлов трения [13,14,15].

В последнее десятилетие в плане решения вопросов ресурсосбережения (нефти) все больший научный интерес вызывает использование в качестве дисперсионной среды отработанных масел. В работе [16] отмечается, что отработанные моторные масла отличаются избыточной кислотностью, что может отрицательно сказываться на загущающей способности мыл и химической стабильности смазок [2,16].

Так, автором [16] проведены исследования по приготовлению смазки на базе отработанного моторного масла (ММО) с загустителем LiSt.

Как видно из рисунка 1.2 состав литевой смазки с дисперсионной средой ММО + МГ-22А имеет достаточно высокие триботехнические свойства. Далее автор в работе делает вывод, что исключением являются смазки, приготовленные собственно на ММО [16].

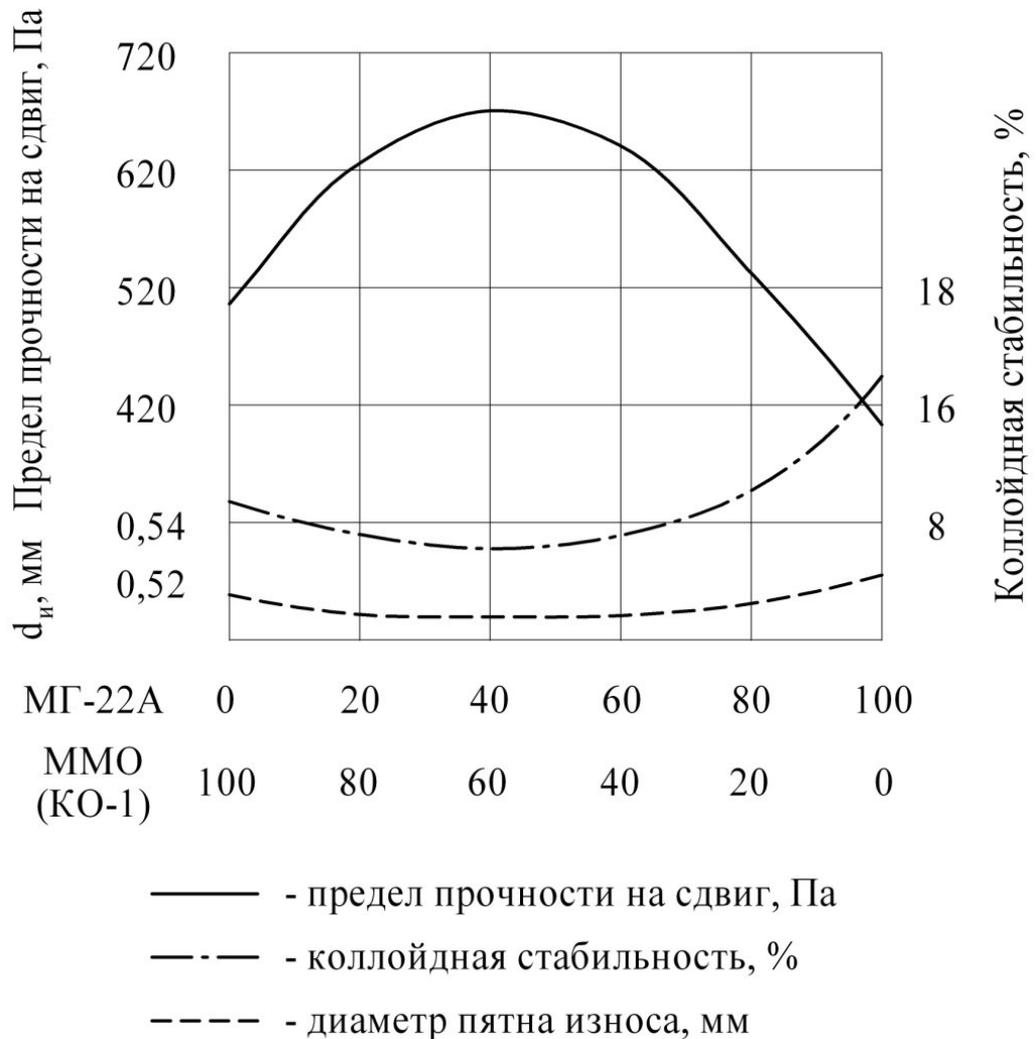


Рисунок 1.2 – Реологические и триботехнические свойства литевых смазок, состоящих из загустителя – LiSt (12 %) и дисперсионной среды ММО(КО-1) + МГ-22А [16]

В работе не рассматривается влияние характеристик ММО таких как кислотное число, содержание противоизносных и антиокислительных присадок, глубина процессов удаления смол, асфальтенов, карбенов из ММО на свойства дисперсионной среды и в целом характеристики получаемых пластичных смазок.

Рассматривая отработанное моторное масло в качестве дисперсионной среды для приготовления пластичных смазок нельзя не учитывать его важнейшие остаточные положительные свойства:

- отработанное моторное масло имеет высокую вязкость, достаточную для рассмотрения масла в качестве основы;

- в отработанном моторном масле после его слива содержится до 30 %, несработавших антиокислительных, противоизносных, антикоррозионных присадок;

- отработанное моторное масло имеет положительные высокотемпературные характеристики;

- отработанное моторное масло как минеральное, так и синтетическое является гораздо более дешевым сырьём для получения пластичных смазок аналогов Солидола и Литола-24.

Одним из важнейших факторов при рассмотрении отработанных масел в качестве дисперсионной среды является отсутствие на сегодняшний день простых и доступных способов очистки отработанных масел от продуктов старения: смол, асфальтенов, карбенов, карбоидов. Так как практически все виды загрязнений присутствующие в отработанных маслах в конечном результате оказывают отрицательное влияние на свойства смазки, её работоспособность и увеличение износа поверхностей трения.

Смазки для тяжелых условий производят на синтетической основе с рабочим диапазоном температур менее – 60 и более 150 °С. На синтетической основе можно получить смазки с рабочими температурами от - 100 до 350 °С. Например углеводородные масла на основе алкилбензолов, полиолефинов, применяются при температурах от – 60 до 200 °С.

Использование полифениловых эфиров позволяет получать смазки в широком диапазоне от – 60 до 350 °С, с отличной стабильностью к воздействию кислорода [1,2,7,17].

Применение в смазках в качестве дисперсионной среды сложных эфиров, позволяет использовать их только от – 60 до 150 °С. Недостатком можно считать падение эффективности при попадании в нее воды из-за гидролиза эфиров. Однако при этом положительной стороной является высокая смазывающая способность [7,18].

Основа из кремнийорганических жидкостей, отличаемых которыми являются повышенные противозадирные и противоизносные свойства, позволяет применять смазки в температурном диапазоне от – 100 до 300 °С [1,7].

Иным случаем является применение фторуглеродных масел, отличающиеся, высокой термостабильностью (до 500 °С). Положительной стороной является устойчивость к кислотам, щелочам, высокая смазывающая способность [7,19,20].

От типа дисперсной фазы зависят температурные пределы разложения загустителя применяемых смазок. Несмотря на относительно низкую концентрацию (от 5 до 25 %) загуститель во многом определяет основные характеристики смазки. Известны смазки, основанные на следующих загустителях: натриевые, литиевые, магниевые, кальциевые, цинковые, алюминиевые, стронциевые, бариевые и другие мыла [7]. Имеется опыт в использовании пластичных смазок на смешанных мылах, таких как натриево-кальциевые, литиево-кальциевые и другие [2,7,21].

Так же в пластичных смазках в качестве мыл используют жиры растительного, животного происхождения, технические жирные кислоты и другие. В состав природных жиров входят глицериды, эфиры, нормальные жирные кислоты C4 – C30 [2,5].

При производстве некоторых видов смазок применяют органические нафтеневые кислоты [7,10].

Для получения углеводородных смазок, работающих в температурных пределах до 70 °С, обладающих защитными свойствами, используют твердые загустители: парафины, петролатумы, природные воски (озокериты и продукты переработки нефти). Состав которых напрямую зависит от технологии переработки нефти [2,7].

В зависимости от типа загустителей изменяются свойства смазок: антифрикционные, водостойкость, защитные, антиокислительные [2,12]. Как уже упоминалось, мыла подразделяются на органические и неорганические. Используются неорганические твердые материалы, характеризующиеся большой гидрофобностью, дисперсностью, способностью к образованию первичного каркаса пластичных смазок и восстановления его после разрушения или деформирования (диоксид кремния - силикагель, лиофильный графит, асбест и другие материалы, обладающие вышеуказанными свойствами.) Допускается смешивать загустители, причем каждый из них будет выполнять свои функции [2,7,21].

Помимо вышеперечисленного в качестве загустителей органического происхождения в промышленном производстве смазок используется сажа, мочеви́на (карбамид), амилин, которые обладают способностью образовывать первичный каркас в неводных растворах и имеют хорошие восстанавливающие характеристики после разрушения. Амилин при этом отличается хорошей загущающей способностью, к тому же он является ингибитором окисления, также улучшает смазывающую способность [7,17,22].

Для улучшения физических свойств пластичных композиций служит введение в смазку различных наполнителей и присадок. Присадки - это поверхностно активные вещества, усиливающие свойства базовых масел (основы) и придающие смазкам необходимые свойства. За счет введения композиции присадок можно добиться коллоидной стабильности и улучшить технические характеристики смазки [23,24,25,26].

В основном для улучшения свойств пластичных смазок применяются те же присадки, что и для легированных масел (противоизносные, противозадирные, защитные, вязкостные, противокоррозионные). Влияние на трибологические характеристики (нагрузки сваривания и критические нагрузки) пластичной смазки на основе гидроксостеората лития, противоизносных и противозадирных присадок, показано в таблице 1.1 [21,27,28].

Таблица 1.1 – Трибологические характеристики смазок в присутствии присадок

Тип присадки	Критическая нагрузка	Нагрузка сваривания
Без присадки	560	1580
Хлорированный парафин	630	1580
Хлорэтанол	790	2000
ДФ-11	1000	1780
Хлорэф - 40	1000	2000
КИНХ-2	1100	2820

Присадки делятся обычно по типу их применения [1,9], основные приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Типы присадок [1,9,29]

Тип присадки	Названия
Консервационные	АКОР-1,КП
Антиэлектростатические	Сигбол
Антиокислительные	ДФ-11, ДФБ, ДФ-1, ВНИИНП-354, ИХП-21, МНИИП-22К, Борин, КАСП-13, п-Оксидифениламин, ФЧ-16, Ионол
Загущающие	КП-5, КП-10, КП-20, ПМА-В-1, ПМА-В-2, ВИНПОЛ ВБ-2, Атапол, ИХП-234
Депрессорные	АзНИИ, АзНИИ-Циатим-1, АФК, ПМА Д
Диспергирующие	С-54, Днепрол
Моющие	АСК, МАСК, АСБ, ПМС, КНД, С- 150, С-300, ПМСя, СБ-3, СБ-3у, ИСК, Циатим-339, ВДИИНП-360, ВНИИНП-370, ВНИИНП-371, БФКу
Противоизносные	ЭФО, АДТФ, ЛЗ-309/2, ВиР-1
Противозадирные	ОТП, АБЭС, ЛЗ-23К, ИХП-14А, КИНХ-2, БМА-5

Пластичные смазки широко используются в современной технике, в том числе и сельскохозяйственного назначения. Как указывалось выше, они состоят из жидкой основы (дисперсионной среды), твердого загустителя (дисперсной фазы), различных присадок и добавок. В общем виде состав пластичных смазок можно представить в виде компонентной схемы рисунок 1.3.

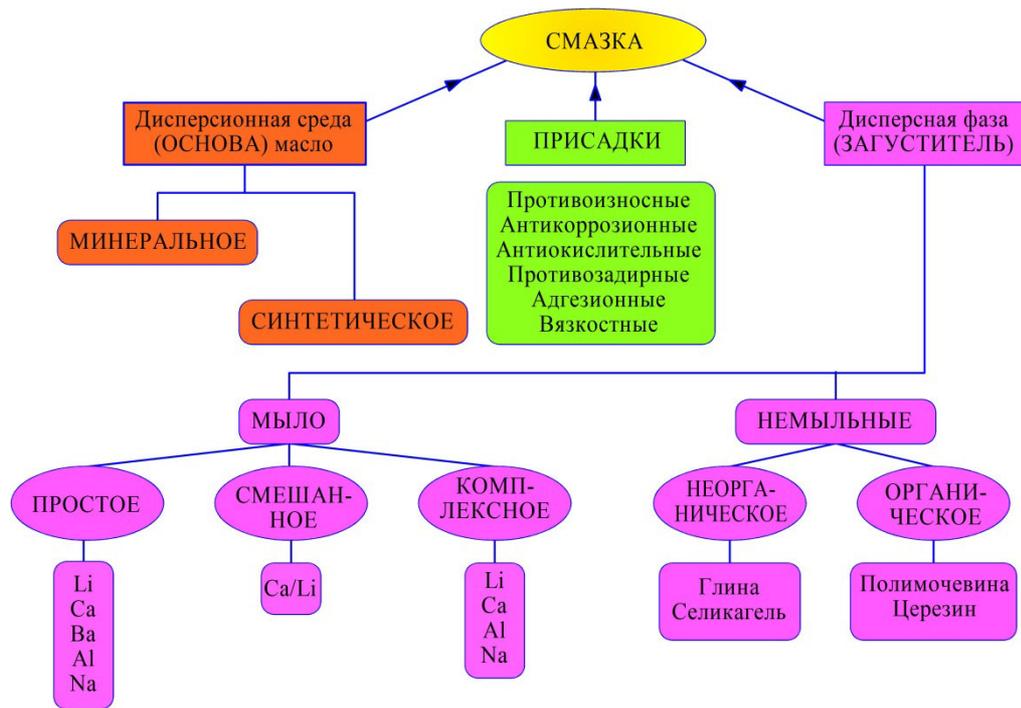


Рисунок 1.3 – Общая компонентная схема состава пластичной смазки

Помимо присадок в составах смазок используются наполнители, позволяющие улучшить эксплуатационные свойства. Наиболее распространенными являются графит, дисульфид молибдена, сульфиды некоторых металлов, оксиды и комплексные соединения металлов, металлические порошки и пудры и др. [1,12,30,31].

Влияние некоторых наполнителей на трибологические характеристики литевых смазок показана в таблице 1.3 [1].

Таблица 1.3 – Трибологическая характеристика литевых смазок, с наполнителями

Наполнители	Критическая нагрузка, Н
без наполнителя	380
дисульфид молибдена	840
графит	650
диселенид молибдена	880

Широкое применение также получили оксид цинка, порошки меди, алюминия, бронзы, латуни которые добавляются в количестве от 1 до 3 % в го-

товую смазку. Они в основном применяются для уплотнительных, резьбовых и антифрикционных смазок [1,32,33,34].

Основные показатели смазок, по которым судят об эксплуатационных показателях при выборе для конкретных условий или узлов, устанавливаются ГОСТом 4.23-71. Выделяют следующие основные характеристики смазок: предел прочности, коррозионная стойкость, температура каплепадения, коллоидная стабильность, адгезия, теплоемкость, сдвиг, испаряемость, противоизносные и противозадирные показатели, внешний вид [1,32,33,34].

## **1.2 Анализ процесса смазывания, сроков службы пластичных смазок, и перечень смазок применяемых в сельскохозяйственной технике**

Исследования контактного взаимодействия тех или иных поверхностей трения всегда связаны с выбором определенной модели. Наиболее распространенное моделирование в виде тел правильной геометрической формы. Распределение может быть подобрано с помощью детерминированных или эмпирических функций, или на основе законов теории вероятности [35,36,13].

Внешнее трение И. В. Краельский объясняет несколькими причинами [37]:

- сила сопротивления движущихся контактирующих тел обусловлена межатомным и межмолекулярным взаимодействием в зоне касания тел;
- при контакте двух тел за счет неоднородности свойств происходит внедрение более жестких элементов в менее жесткие тела.

В основе этой теории лежит принцип дискретности поверхностей контакта, обусловленный микро шероховатостью поверхности, т. е. трение осуществляется на отдельных площадках (пятнах контакта) размером от 0,1 – 30 мкм [13].

Кроме механического сопротивления в процессе трения необходимо преодолеть молекулярное взаимодействие между участками поверхностей. То есть, фрикционная связь имеет молекулярно-механическую природу [13].

При статическом контакте двух твердых тел адгезия обычно невелика, а на поверхностях практически всегда имеется адсорбированная пленка, уменьшающая адгезию.

В работе С.В. Венцеля [38,39] показано, что отличие этих слоев от основного металла определяется наличием свободной энергии, высокой адсорбционной активностью, а так же результатом воздействия технологических и эксплуатационных факторов в процессе износа. Решающая роль принадлежит взаимодействию поверхности со смазочным материалом.

Работоспособность сельскохозяйственной техники во многом зависит от обеспеченности и качества используемых топлив и смазочных материалов. Пластичные смазки как смазочный материал используются в тракторах и сельхозмашинах в меньших объёмах чем, например моторные, гидравлические и трансмиссионные масла. Однако их роль в решении проблем снижения трения и износа, продления сроков службы машин и их эффективного функционирования является не менее важной.

Недостатком пластичных смазок являются их ограниченный срок службы и невысокая охлаждающая способность. При определенных условиях работы возникает риск смазочного «голодания».

Смазывание пластичной смазкой представляет собой динамический процесс, который состоит из нескольких этапов, рисунок 1.4 [40].

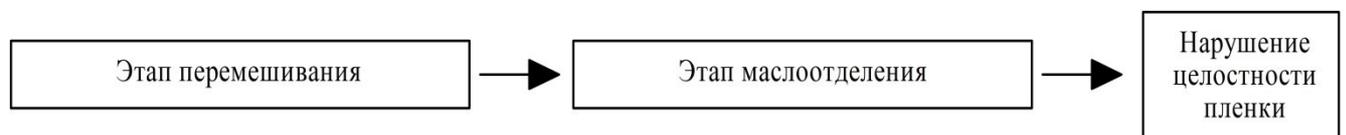


Рисунок 1.4 – Этапы смазывания пластичной смазки [40].

После заполнения смазкой подшипника она располагается между шариками или сепараторами, что приводит к большим потерям на перемешивание при запуске [13,41]. На этом этапе смазка выдавливается в свободный объём под-

шипника. С этих участков смазка постепенно попадает на дорожки качения за счет сдвига, где формируется смазочная пленка.

На втором этапе смазочная пленка, образованная между шариками, рамками и поверхностью качения корпуса подшипника будет формироваться в ходе процесса наполнения. В этих процессах важной особенностью является эффективность наполнения, т.к. в случае её снижения возможно масляное голодание и окисление в тонкой пленке смазки.

Через определенное время работы подшипника под действием тепловых процессов, окислительной полимеризации, изменения структуры смазки её затвердевания, наступает момент, когда смазка не поступает на дорожки качения, нарушается слой смазочной пленки.

Как указано в работе [40] вязкость смазки на очень низких скоростях сдвига настолько высока, что происходит в основном деформации ползучести, а сама смазка находится в твердом состоянии, т.е. уменьшается вязкость с увеличением усилия сдвига рисунок 1.5 [40].

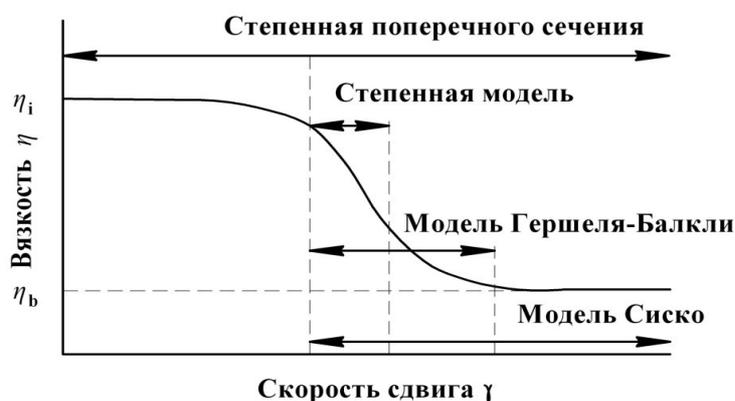


Рисунок 1.5 – Реологические свойства пластичных смазок [40]

Толщина смазочной пленки в подшипниках определяется пограничными слоями, которые формируют дисперсная фаза  $t_\phi$  и гидродинамическое действие дисперсионной среды  $t_c$ . Следовательно, толщина смазочной пленки определяется как сумма слоёв [40]:

$$t_n = t_\phi + t_c \quad (1.2)$$

При высоких температурах смазка и соответственно толщина смазочной пленки будет изменяться за счет окислительных процессов дисперсионной среды и ее испарения, что влияет на вязкость и смазывающие свойства пластичной смазки, работающей в подшипнике. Высокая температура на поверхностях трения приведет к снижению вязкости. На рисунке 1.6 представлен пример температурного профиля подшипника [40].

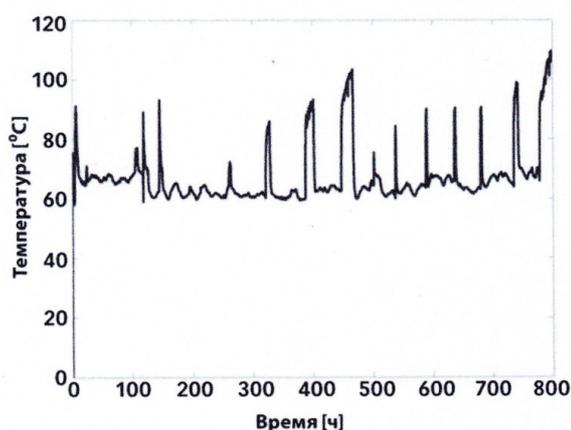
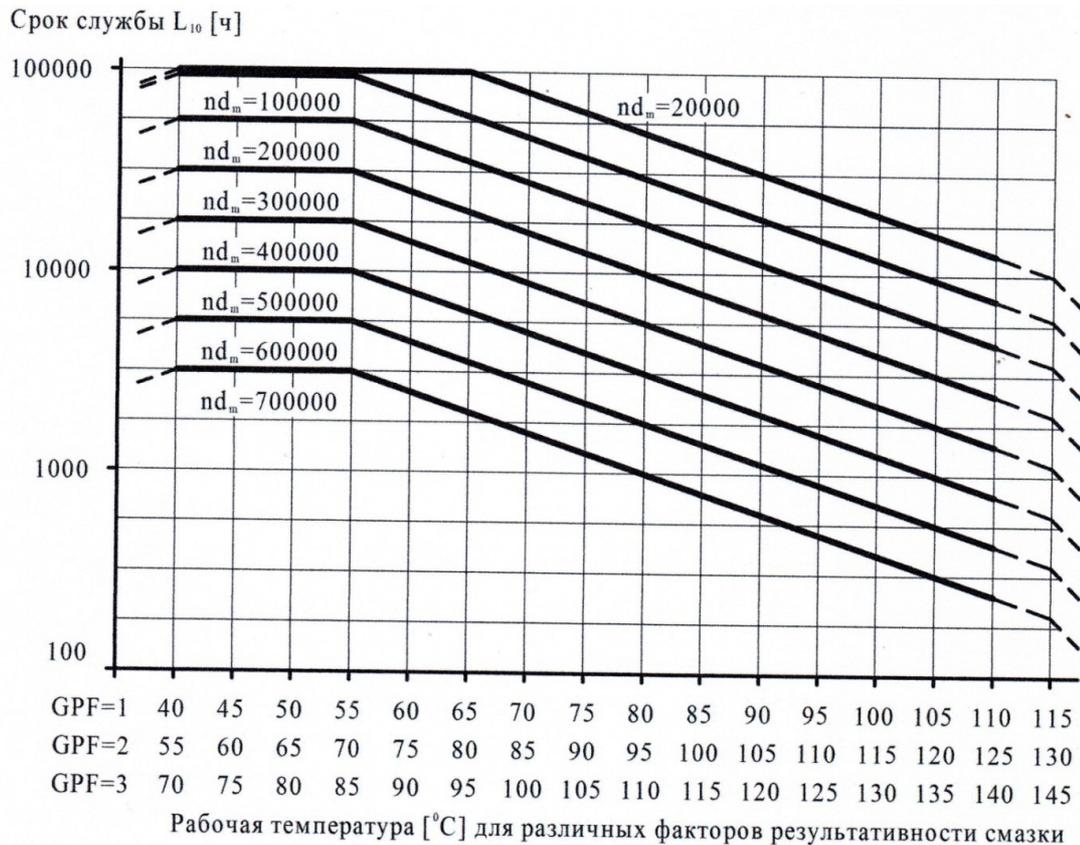


Рисунок 1.6 – Температурный профиль цилиндрического роликоподшипника [40]

В процессе трения и окисления физико-химические характеристики пластичной смазки изменяются в 2 раза, т.е. смазка стареет. Физическое старение приводит к изменению реологических свойств смазки, что влечет ухудшение маслоотделения и способности наполнения смазки в зоне контакта. Химическое старение, являющееся следствием окисления смазки, приводит к образованию твердых лаковых отложений на рабочих поверхностях подшипника [40,41,42].

Существует ряд моделей, которые используют для расчетов сроков службы пластичных смазок, основанных на эмпирических данных, полученных в результате экспериментальных исследований. Так в работе [40] срок службы смазки определяется как срок  $L_{10}$  - время, за которое 10 % большей выборки подшипников стали неисправными. На рисунке 1.7 показана зависимость срока службы

смазки для закрытых подшипников в условиях малой нагрузки от частоты вращения, диаметра подшипника, рабочей температуры и типа смазки [40].



$n$  – частота вращения [ $\text{мин}^{-1}$ ];  $d_m$  – средний диаметр подшипника [ $\text{мм}$ ]= $0,5(d+D)$

Рисунок 1.7 – Зависимость срока службы смазки от её характеристик и условий работы подшипника [40].

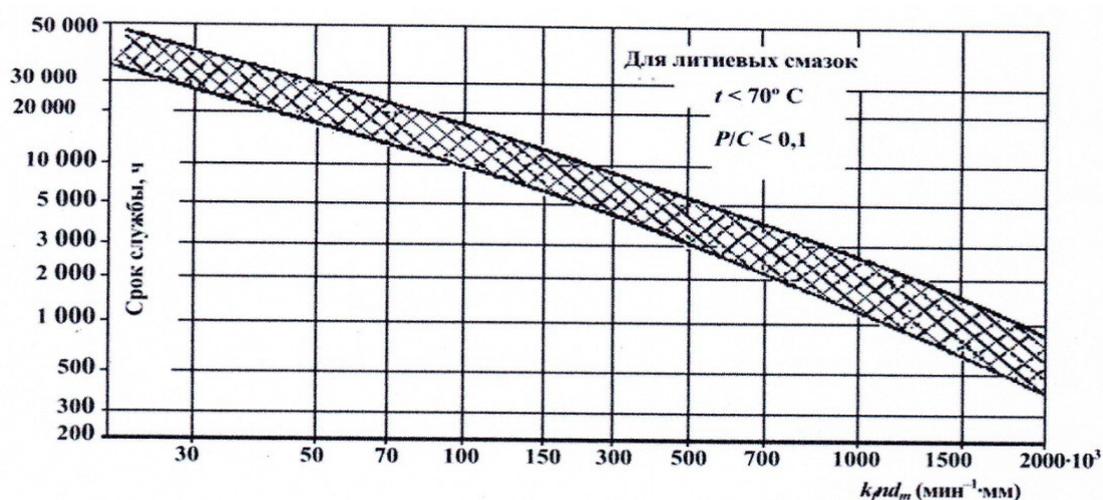
Данный метод определения сроков службы смазки является информативным и достаточно точным, однако различные условия эксплуатации делают его ограниченным в его использовании.

В работе [43] авторы излагают, что механизм распределения пластичной смазки по подшипниковому узлу состоит в том, что к концу приработки заканчивается перераспределение смазки внутри полости подшипника, наступает динамическое равновесие и циркуляция происходит с меньшей скоростью. Внутри полости подшипника 80 % смазки распределяется на сепараторе. Коли-

чество смазки удерживаемой на сепараторе является линейной функцией её предела прочности [44].

Исследуемые в настоящее время в отечественной промышленности методы расчетной оценки ресурса подшипников качения основаны на теории Лундберга - Пальмгрена [44].

Влияние загрязнения смазки учитывается через размер частиц, диаметр подшипника и параметр смазки. НПП ВНИИЭМ предложено для особых условий использования литиевых смазок, срок службы оценивать по графику, рисунок 1.8



$d_m$  - средний диаметр подшипника

Рисунок 1.8 – Срок службы литиевых смазок [43]

Для синтетических смазок с температурным диапазоном от  $-40$  до  $+130$  °С однорядных подшипников качения среднюю долговечность предлагается оценивать с помощью формулы [43,44]:

$$\log t = \frac{6,12 - 1,4n}{n_{np} \left( 0,018 - \frac{0,006n}{n_{np}} \right) T}, \quad (1.4)$$

где  $t$  – средняя долговечность пластичной смазки, ч;  $n$  – частота вращения ротора,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $n_{np}$  – предельная частота вращения с пластичной смазкой,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $T$  – рабочая температура, °С.

Подшипники качения, как правило, полностью заполняются смазкой. Для случаев необходимости заполнения подшипников ограниченного количества смазки, весовое количество рассчитывается по формуле [44]:

$$G = \frac{DB}{200}, \quad (1.5)$$

где  $G$  – весовое количество смазки, г;  $D$  – наружный диаметр, мм;  $B$  – ширина подшипника, мм.

Рассматривая сельскохозяйственную отрасль и применяемую в ней технику, следует отметить, что пластичные смазки используются здесь достаточно широко – в узлах и агрегатах тракторов, комбайнов, самоходных машин, различных вспомогательных механизмах [45,46,47,48]. Например, отечественные комбайны и тракторы могут иметь от 15 до 40 и более точек смазки, где рекомендуется применять обычно жировой или синтетический солидолы, либо Литол - 24 (рисунок 1.9–1.10).

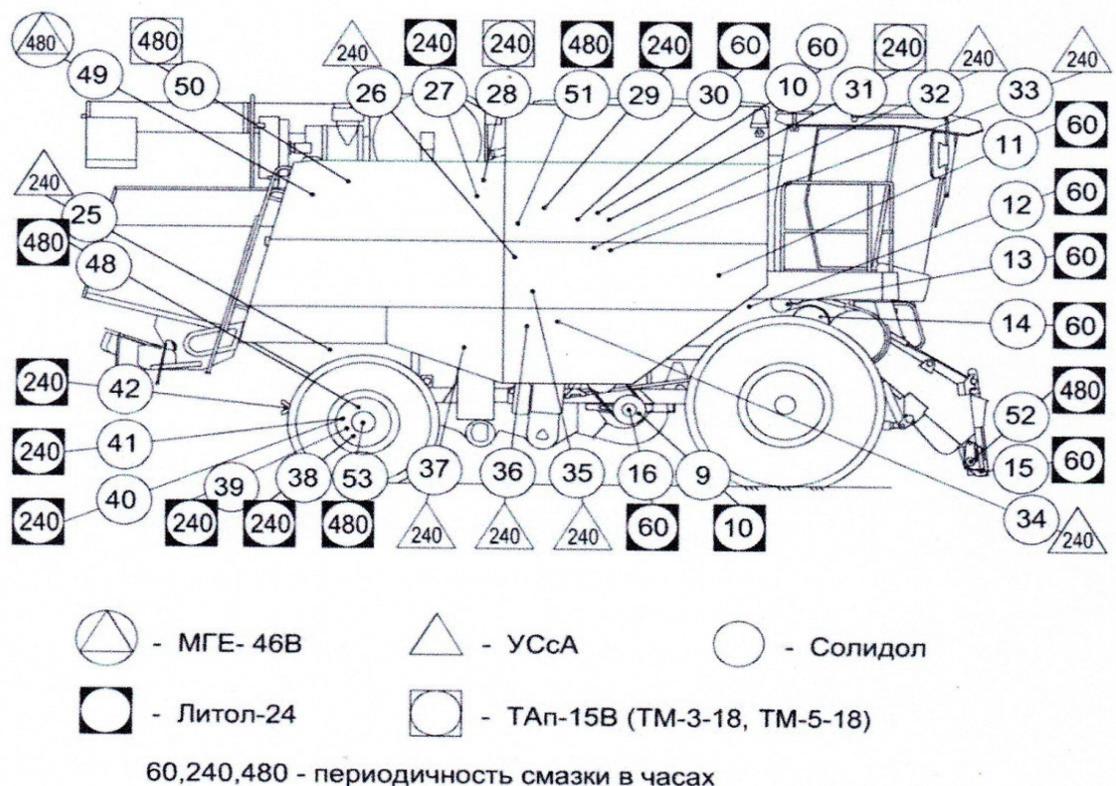


Рисунок 1.9 – Схема смазки комбайна

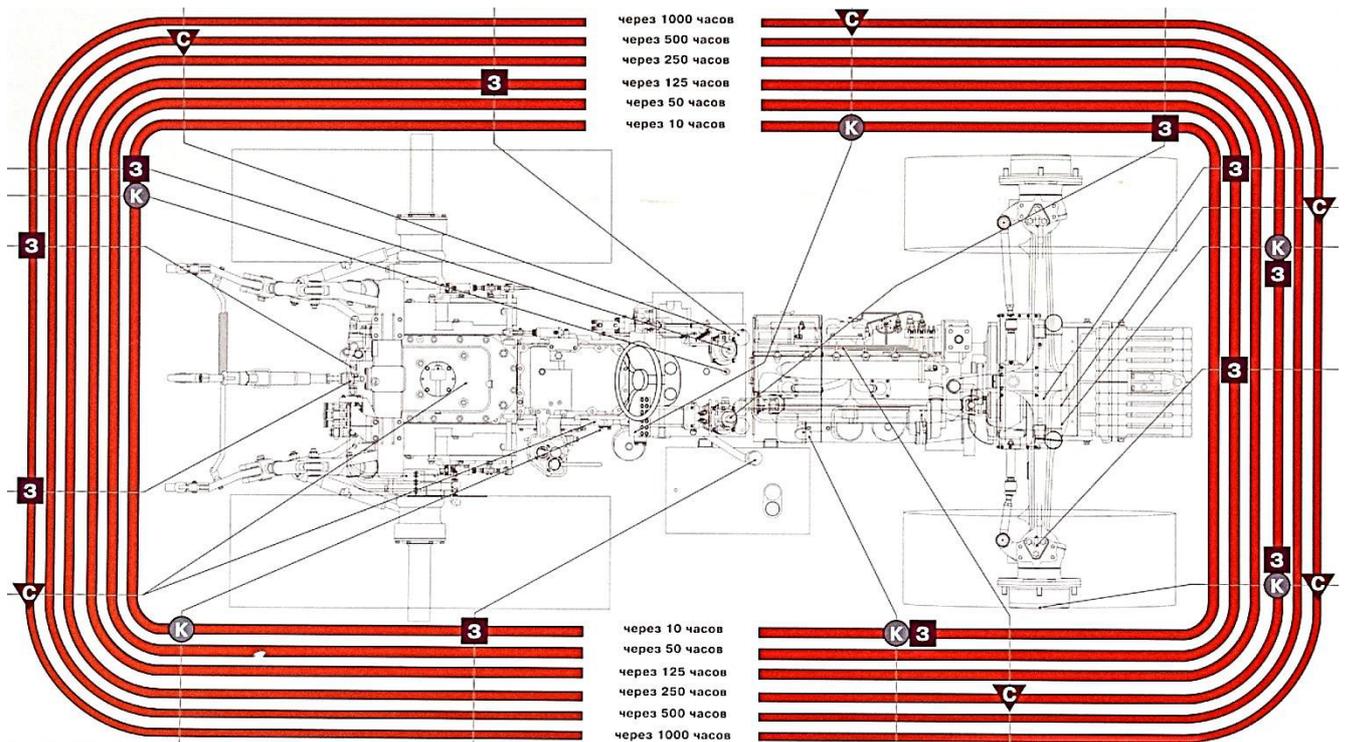


Рисунок 1.10 – Схема смазки трактора [48]

В таблице 1.4 – приведены некоторые марки пластичных смазок, применяемые в зерноуборочных комбайнах.

Таблица 1.4 – Пластичные смазки, применяемые в зерноуборочных комбайнах [45,46,49,50]

№ п/п	Марки зерноуборочных комбайнов и тракторов	Пластичная смазка
1	Комбайн зерноуборочный (Ростсельмаш)	Литол-24, №158М, GREASETCL435
2	Дон, Енисей	Литол – 24, Солидол С – Ж, №158, Циатим - 201
3	LEXION	Marson EPL 2, Aralub HLP 2, Rendit TEP 2, Retinax EP 2, Alvania G3, Glisando EP2, Arcanol L 135 V, LGEP2
4	Полесье	Литол-24, №158 – 158М, К – 2, К – 30, Li DIN 51825, графитная СКa 2/6-г3, УССa, Солидол С
5	John Deere	Grease-Gard Premium, Grease-Gard Premium Plus

Анализируя рассмотренные системы смазки отметим, что в большинстве машин используются пластичные смазки Солидол Ж и Литол -24 или их зарубежные аналоги, получаемые на масляной основе, с разными пакетами присадок, наполнителями, загустителями.

### **1.3 Анализ способов и технологических схем приготовления пластичных смазок**

Как показал анализ (1.1, 1.2), пластичные смазки имеют достаточно сложный состав, а их свойства во многом зависят от состава и свойств дисперсионной среды и дисперсной фазы. Приготовление смазок предусматривает несколько основных этапов:

- выбор дисперсионной среды;
- смешивание дисперсионной среды и дисперсной фазы;
- термообработка;
- внесение присадок с последующим охлаждением.

В качестве дисперсионной среды при приготовлении Солидола Ж, Литола -24 и ряда других смазок чаще всего используются товарные промышленные масла [1,2].

Как уже упоминалось в связи с решением проблем ресурсосбережения, снижения затрат на производство пластичных смазок возникает все больший научный и практический интерес использования в качестве основы пластичных смазок отработанных моторных масел.

В данном направлении следует отметить работы РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, выполняемые под руководством профессора И.Г. Фукса [22,23,51], где в качестве дисперсионной среды используются отработанные масла, очищенные от механических примесей и воды. Задачи удаления из отработанных масел продуктов окисления, смол не ставятся.

Основная же масса из известных пластичных смазок в своей основе содержит минеральные нефтяные масла, а технологический процесс приготовления можно считать практически одинаковым с незначительными особенностями.

Так в патенте №2076141 предлагается пластичная смазка, состоящая из следующих компонентов: нефтяное товарное масло И-12А, загуститель - гидратированное кальциевое мыло и мелкодисперсный графит в качестве антифрикционной присадки. Процесс приготовления осуществляется следующим способом. Нефтя-

ное масло смешивают с гидратированным кальциевым мылом СЖК, затем производится нагрев смеси до 70 – 80 °С и выдерживается при этой температуре в течение 5 - 10 минут. В смесь небольшими порциями вносится графит. Далее при постоянном перемешивании температуру смеси понижают до 25 - 20 °С. Полное время приготовления смазки составляет 1 час. Полученную композицию выдерживают в течении 24 часов, затем её протирают через сетку. Полученная смазочная композиция обладает низкотемпературной стойкостью до 15 °С, не оказывает коррозионного воздействия на металл. В тоже время имеет довольно посредственные показатели по пятну износа 0,68 мм. на ЧШМТ [52].

Авторами патента № 2163627 предложена смазочная композиция, на основе экстракта нефтяного масла селективной очистки, шлам сульфатных стоков производства СЖК как загуститель, гидроокись кальция. Данная смазка готовилась по следующей технологии. В реактор загружался шлам производства СЖК, который нагревался до температуры полного плавления, после чего в него вносилось масло селективной очистки. Смесь при постоянном перемешивании нагревается до температуры 75 – 80 °С. Затем в реактор вносится суспензия гидроксида кальция (в соотношении 1:3), и полученную смесь перемешивают в течение 1,5 – 2 часов при постоянной температуре 95 – 100 °С. Далее смесь охлаждалась. Полученная смазочная композиция относится к солидолам типа «С» [53].

Основной задачей по патенту № 2391386, является улучшение коррозионной стойкости смазки ШРБ-4. Предложенная композиция состоит из: 12 – оксистеориновой кислоты 14 – 20 % (загуститель), уксусной кислоты 4 – 5,8 %, СЖК 1,5 – 2,5 %, гидроксида бария восьмиводного, бензотриазола 0,01 – 0,3 %, масла синтетического полиальфаолефинового, присадки бетол-1. Смазочная композиция, согласно патенту, готовится омылением гидроксидом бария указанных выше кислот в синтетическом масле при температуре 100 °С до нейтральной реакции среды. После чего проводится процесс выпаривания свободной воды при температуре 180 °С. Затем смесь охлаждают до комнатной температуры и

гомогенизируют. В гомогенизированную смазку при перемешивании добавляют присадку бетол-1 [54].

В патенте № 2177982 решается задача улучшения экологии за счет утилизации отходов, удешевления смазки и способа ее получения. Смазочная композиция состоит из следующих компонентов СЖК и/или ОПМ (отработанное пальмовое масло) – 3,4 – 18,5 %, ОММ (отработанное минеральное масло) – 30 – 35 %, ОРМ (отработанное растительное масло) – 2,1 – 7,5 %, Известь – 6,6 – 13,9 %, Уксусная кислота – 3,4 – 4,8%, Присадка – 0,02 – 5%, ММ (минеральное масло) – остальное.

Известен способ производства смазки УНИОЛ-1. Заключающийся в следующем. В варочный аппарат загружают минеральное масло (ММ), при температуре 50 – 60 °С в масло добавляют СЖК, далее повышают температуру до 85 °С и вносят уксусную кислоту. Затем при температуре 85 – 95 °С загружают известковое молоко. Омыление ведут при 100 – 110 °С, после чего смазку подвергают термообработке. После термообработки смазку охлаждают и при 100 °С вводят антиокислительную присадку, затем смазку гомогенизируют при температуре не выше 40 °С и затаривают [55].

Еситашвили В.А., Перекрестова В.В., Елисеев Л.С., Нестеров А.В., Серебрякова В.И., Школьников Е.Н., и др. в патенте № 2052495 ставят перед содой следующую задачу: повышение противоизносных свойств и расширение рабочих температур от – 60 до + 50 °С смазки ЖТ – 79 Л. Эта смазка содержит: литиевое мыло высшей жирной кислоты 12 %; дифениламин 0,5 %; дибутилфталат 11 %; смесь изопарафинового масла и полиэтилсилоксановой жидкости 132 – 24 % в соотношении 1,5 1 до 100.

Предлагаемая композиция, используемая при отрицательных температурах, предотвращает влияние образующегося льда на процесс торможения. Согласно изобретению предполагается использовать следующие компоненты: литиевое мыло высшей жирной кислоты 10-17 %; дибутилфталат 4-7 %; глицерин 3-5 %; смесь депарафинированной и полиэтилсилоксановой жидкости в массовом соотношении 1: (0,9-1,6) до 100.

Процесс приготовления смазки осуществляется в следующей последовательности. В реактор с внешним обогревом загружают раствор оксида лития, жирных кислот и 1/3 масляной основы. Температуру поднимают до расплавления омыляемого сырья, проводят омыление, повышают температуру до 200 – 210 °С, подают оставшуюся масляную основу, охлаждают продукты до 120 °С, вводят глицерин, охлаждают до комнатной температуры, вводят дибутилфталат и гомогенизируют полученную смазку [56].

В соответствии с патентом № 2214449 авторы ставили перед собой следующие технические задачи: повышение герметизирующих и смазочных свойств пластичной смазки, расширение температурного интервала работоспособности от – 60 до +120 °С, обеспечение экологической безопасности. Близким техническим решением является смазка Циатим – 201. Согласно патенту авторами разработана смазка, состоящая из следующих компонентов: стеариновая кислота – 12,0 – 18,0 %, гидроокись лития – 2,0 – 3,0 %, полимер – 0,4 – 8,0 %, графит – 0,05 – 3,0 %, многофункциональная присадка 0,5 – 5,0 %, минеральное масло – остальное. В реактор с мешалкой загружают 30 – 50 % масла, нагревают до 65 – 70 °С и загружают стеариновую кислоту. После расплавления стеариновой кислоты загружают водный раствор гидроокиси лития. При температуре от 85 до 95 °С осуществляется нейтрализация стеариновой кислоты гидроокисью лития. Далее полученную смесь обезвоживают, затем загружают оставшееся количество масла и полимера. Термообработку и охлаждение основы смазки осуществляют путем прокачивания смеси через электронагреватель (нагрев до 240 °С). Охлажденная до температуры 40-80 °С масса поступает в мешалку-накопитель. Охлажденная основа смазки по мере накопления перекачивается в другую мешалку-смеситель. Затем в мешалку-смеситель загружаются присадки и наполнители - частицы целлюлозы и графита.

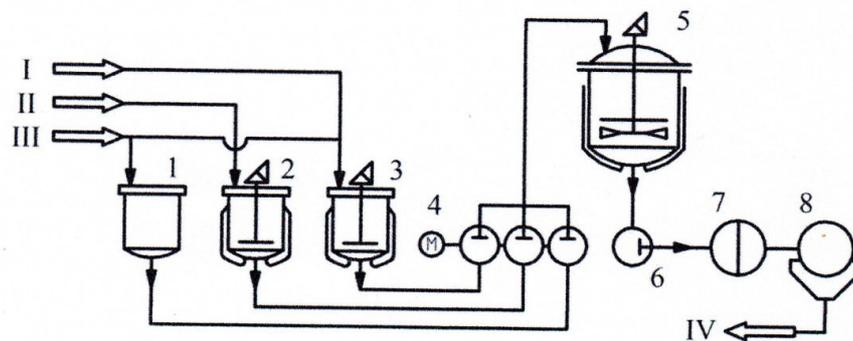
Исследования Скобельцина А. С. [57] показывают возможность использования отработанных масел, и в процессе получения гидратированной пластичной смазки по типу «Солидол». Недостатком предлагаемых решений является, тот факт, что использовалось масло, имеющее в своём составе продукты старения и

износа, что отрицательным образом сказывается на качестве получаемого продукта [57].

Таким образом, как показывает анализ, большинство промышленных смазок изготавливаются на основе товарных масел, однако имеется начальный опыт применения отработанных масел в качестве дисперсионной среды для пластичных смазок. Вместе с тем, большинство авторов [16,57,58] предлагают применение отработанного моторного масла как компонента дисперсионной среды, и лишь в некоторых работах ОММ используется как базовое масло для приготовления пластичных смазок.

Далее рассмотрим некоторые схемы технологических процессов приготовления смазок и оборудования для их реализации.

Приготовление углеводородных смазок представляет собой наиболее простую схему производства (рисунок 1.11) [7,59]



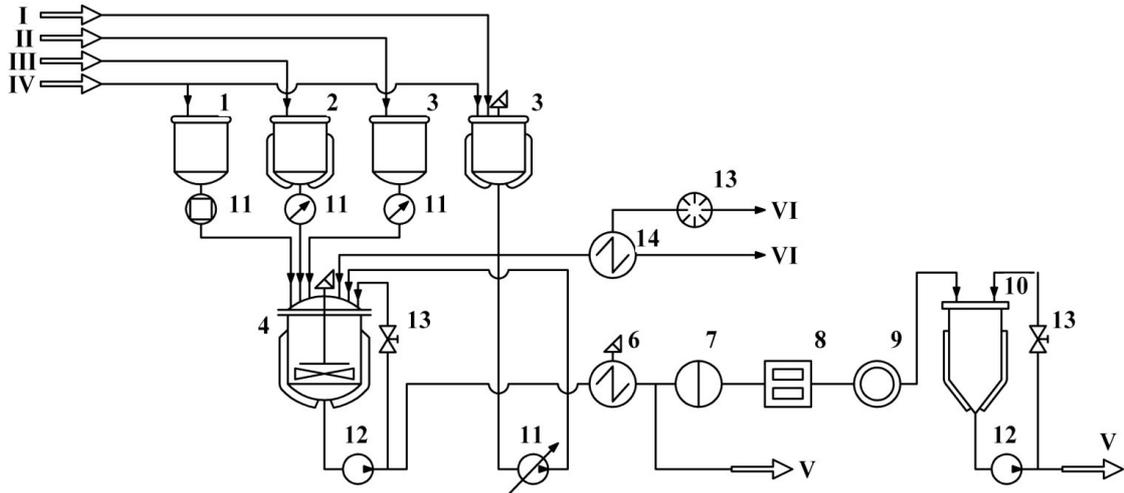
1-3 - сырьевые емкости, 4 - дозирующий насос, 5 – скребково - лопастной аппарат,  
6 -насос, 7 - фильтр, 8 - охлаждающий барабан, I - присадки, II - твердые углеводороды,  
III - масло, IV - готовая продукция для расфасовки

Рисунок 1.11 – Принципиальная схема установки для производства углеводородных смазок [7,59]

Процесс приготовления заключается в следующем. В емкость 5, оснащенную мешалкой, дозаторами подается 1/3 часть масла и твердых углеводородов, сюда же из емкости 3 подаются присадки. Температура повышается до 120 – 145 °С и од-

новременно подается оставшаяся часть масла. Полученный расплав насосами подают на фильтр, холодильное устройство, и затем на расфасовку [7,59].

Принципиальная схема для приготовления мыльных смазок периодическим методом в одну операцию приведена на рисунке 1.12.



1-3 - емкости для сырья, 4 - скребково-лопастная мешалка, 5 - аппарат для приготовления присадок, 6 - скребковый холодильник, 7 - фильтр, 8 - гомогенизатор, 9 - деаэрактор, 10 - накопитель, 11 - дозировочная установка, 12 - насос, 13 - гомогенизирующие клапаны, 14 - конденсатор, 15 - насос вакуумный, I - присадки, II - омыляемый компонент, III – раствор гидроксида металла, IV - масло, V - готовая продукция, VI - конденсат, VII - несконденсированные газы

Рисунок 1.12 – Принципиальная технологическая схема установки для производства смазок периодическим методом в одну ступень [59].

В данном случае мыла получают во время приготовления смазочной композиции, омыляя жиры в половине дисперсионной среды. Реактор служит основным аппаратом, в котором при помощи скребковой мешалки, происходит перемешивание компонентов, омыление жиров, обезвоживание и последующее охлаждение в реактор оставшегося масла и хладагента в рубашку реактора [59,60].

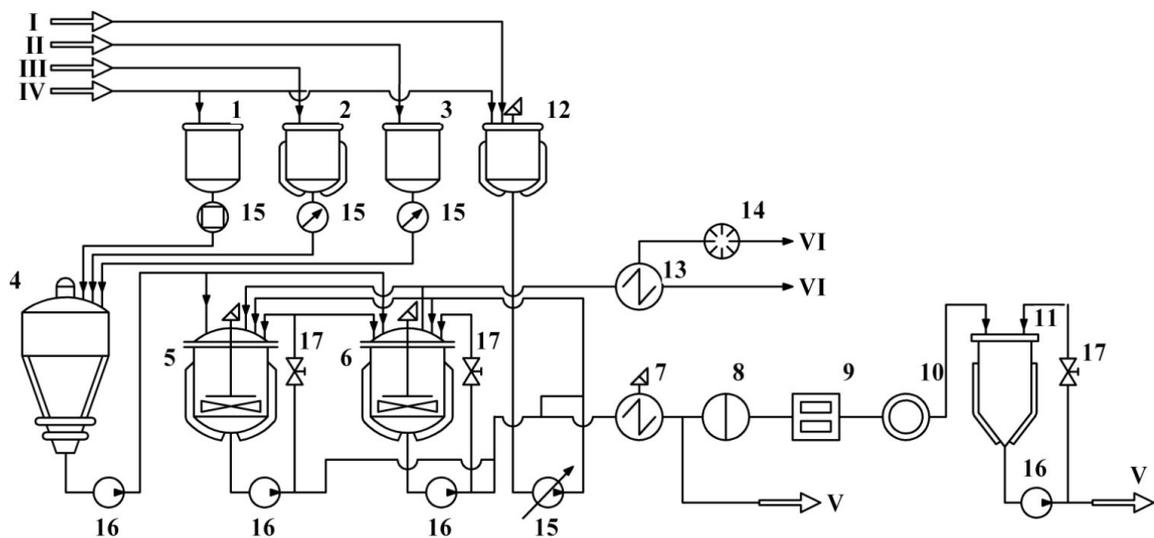
Процесс приготовления осуществляется следующим образом, в реактор дозаторами подается 0,3 – 0,6 дисперсной среды в пересчете на объем используемого масла. Смесь нагревают до 90 – 100°С, одновременно перемешивая мешалкой и насосом. Происходит омыление жиров. После полного омыления

продуктов производится удаление свободной воды. В зависимости от типа смазки определяется полнота удаления влаги. После термообработки и выпаривания, мыльно - масляную смесь охлаждают, добавляя остальное масло, а так же подавая в рубашку хладагент [59].

В случае приготовления высокотемпературных смазок типа «Литол» после процесса термообработки смесь нагревают до необходимой температуры 220 – 230 °С, в течении времени определенного тех регламентом. Затем смесь охлаждают до 170 – 180 °С вышеуказанным способом, а в реактор загружают присадки [59,61].

В случае если полученную смесь не подвергают гомогенизации, её откачивают в емкости для дальнейшей расфасовки.

Схема более перспективного способа приготовления пластичных композиции на мыльных загустителях периодическим методом представлен на рисунке 1.13.



- 1-3 - емкости для сырья, 4 - автоклав контактор, 5-6 - скребково-лопастная мешалка, 7 - скребковый холодильник, 8 - фильтр, 9 - гомогенизатор, 10 - деаэратор, 11 - накопитель, 12 - аппарат для приготовления концентрата присадок, 13 - конденсатор, 14 - насос вакуумный, 15 - дозирующие устройства, 16 - насос, 17 - гомогенизирующие клапаны, I - присадки, II - раствор гидроксида металла, III - омыляемый компонент, IV - масло, V - готовая продукция, VI - конденсат, VII - несконденсированные газы

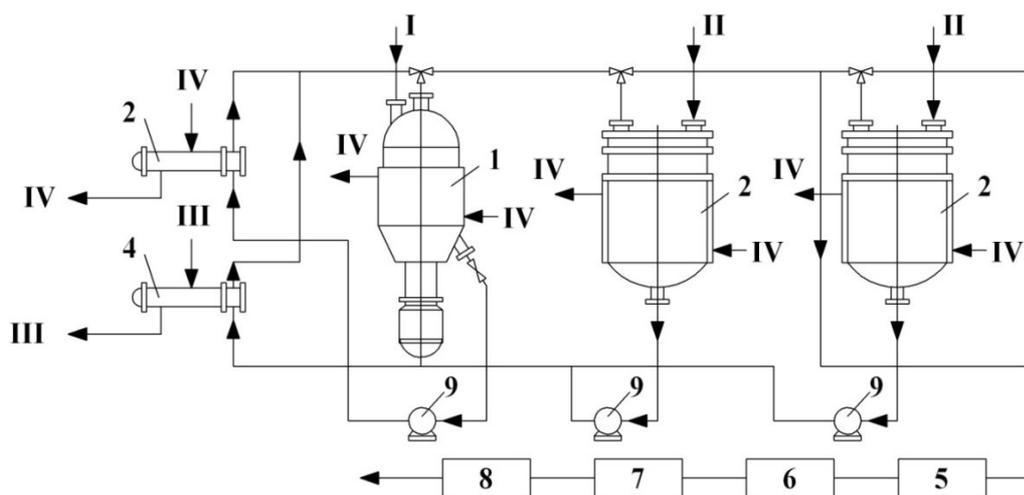
Рисунок 1.13 – Технологическая схема приготовления пластичных смазок периодическим методом с применением автоклава [59].

Основным отличием является введение контактора – автоклава для омыления дисперсионной среды. Такие процессы приготовления называются двух и трех ступенчатыми.

Мыльную основу в таком случае приготавливают в одном аппарате, а последующие стадии производят в другом. Омыление может протекать в течение нескольких суток. Для сокращения времени омыления применяется обработка под давлением при высоких температурах, что позволяет достигнуть более полного омыления продукта, уменьшить объем загустителя до 50 % и продолжительность цикла обработки до 30 %. На первой ступени проводится омыление продукта под давлением, на второй выпаривание свободной воды при сбросе давления, а как же последующее диспергирование и охлаждение [7,59].

Присадки вносятся специальными дозаторами в реактор или непосредственно в скребковый холодильник. Полученная смазка обрабатывается в гомогенизаторе и деаэраторе в соответствии с техническими условиями получения. Далее производят расфасовку смазки [7,59].

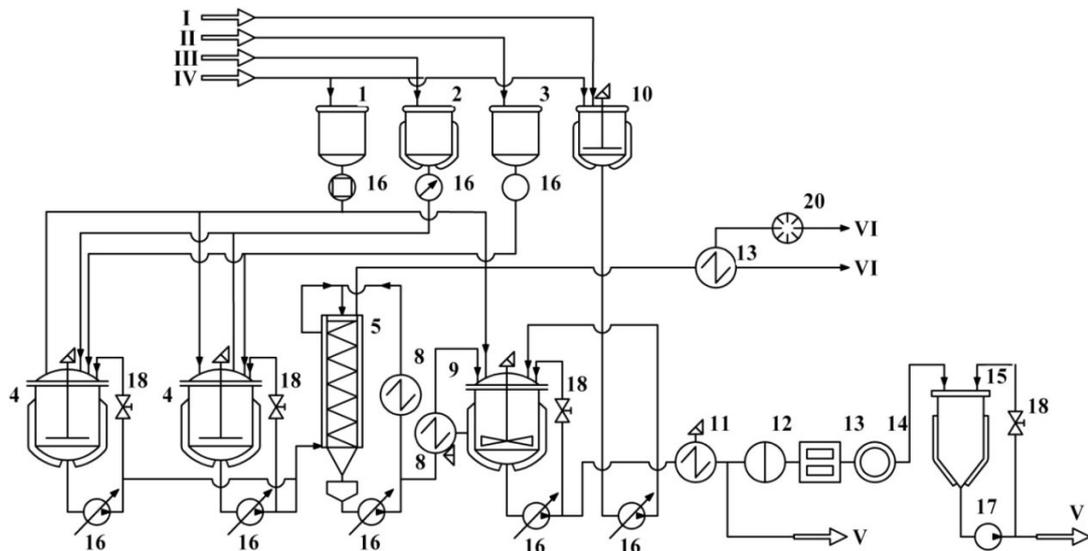
Известна схема, применяемая в США, с автоклавом «Старко», приведенная на рисунке 1.14, работа которого осуществляется аналогично выше описанной схеме.



1 - автоклав, 2 - смеситель, 3 - теплообменник, 4 - холодильник, 5 - гомогенизатор, 6 - деаэратор, 7 - расфасовочный аппарат, 8 - склад, 9 - насос, I - сырье, II - масло, III - хладагент, IV - теплоноситель

Рисунок 1.14 – Технологическая схема приготовления пластичных смазок периодическим способом, используемая в США [7,59]

Известна технология приготовления пластичных смазок, обладающая гибкостью, высоким качеством продукта и высокой производительностью, рисунок 1.15 [7,59].



1-3 - емкости для сырья, 4 - реактор смеситель, 5 - выпарной аппарат, 6 - буфер, 7 - теплообменник, 8 - скребковый теплообменник, 9 – скребково - лопастной аппарат, 10 – аппарат для приготовления присадок, 11 - скребковый холодильник, 12 - фильтр, 13 - гомогенизатор, 14 - деаэра-тор, 15 - накопитель, 16 - дозир. устройство, 17 - насос, 18 – гомогенизирующий клапан, 19 - конденсатор, 20 - вакуумный насос, I - присадки, II - раствор гидроксида металла, III - омы-ляемый компонент, IV - масло, V - готовая продукция, VI - конденсат, VII - несконденсирован-ные газы

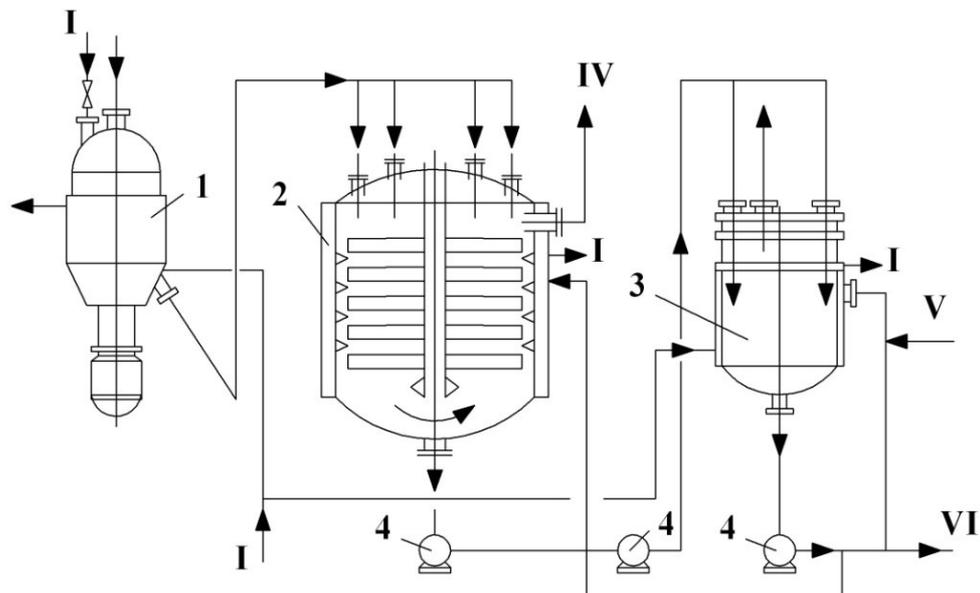
Рисунок 1.15 – Схема технологического процесса производства смазок полунепрерывным способом [7,59].

Такую схему применяют при приготовлении мыльных смазок на окси-стеориновой, стеариновой и олеиновой кислотах. Для приготовления могут использоваться масла, как на нефтяной, так и на синтетической основах, а также их смеси. Процесс осуществляется в следующей последовательности. Основное сырье из емкости дозаторами передается в реактор, оснащенный быстродействующей мешалкой. Омыленная смесь, приготавливаемая попеременно в параллельно соединенных реакторах, дозаторами подается в выпарной аппарат, для извлечения свободной влаги. Далее смесь дозаторами через скребковый теп-

лообменник отправляется в реактор 9 для термообработки. Затем смазку охлаждают до 145 – 165 °С для внесения присадок, после чего дозирующими насосами перемешанную смесь переводят в скребковый холодильник, гомогенизатор и деаэратор и в заключение в накопитель для дальнейшей расфасовки [7,59].

Число действующих реакторов подбирают так чтобы при заданной производительности осуществлялась непрерывная работа всех узлов. Рекомендуемая производительность 27 тон/сутки [7,59].

Также известна схема для получения высококачественных смазок на смешанных мылах (трехступенчатая, схема) (рис. 1.16).

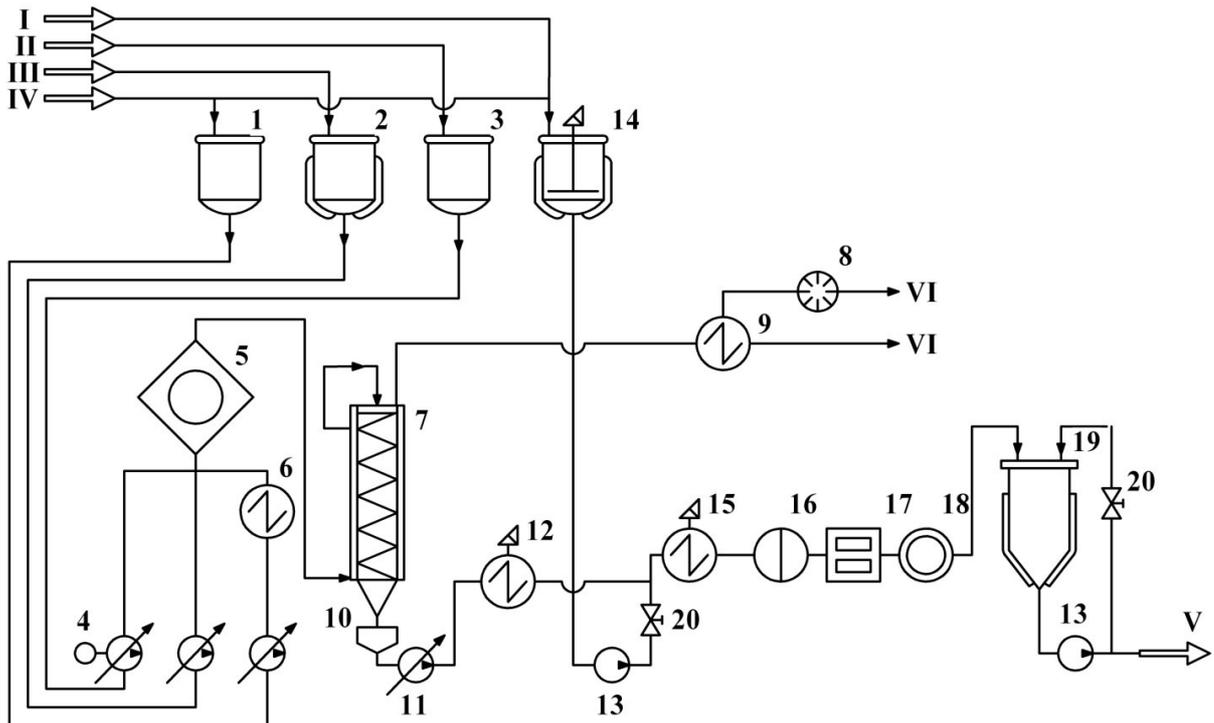


1 - автоклав, 2 - испаритель, 3 - испаритель с форсунками, 4 - насос, I - нагретое масло, II - сырье, III - инертный газ, IV - пары воды, V - присадки, VI - деаэрация

Рисунок 1.16 – Трехступенчатая схема производства смазок на смешанных мылах [7,59]

Полученное мыло переводится для обезвоживания и смешения с основным сырьем. Затем через форсунки под давлением распыляется в аппарат третьей ступени. Впрыск под давлением улучшает перемешивание, обезвоживание и процесс загущения мыла [7,59].

В тоже время, при увеличении производительности установок свыше 30 тонн в сутки сталкиваются с негативной стороной полунепрерывных процессов производства. Значительно возрастают энергозатраты, увеличивается количество громоздких металлоемких узлов и т. д. Эти проблемы решают непрерывные технологические схемы производства (рисунок 1.17) [7,59].



1 - 3 - сырьевые емкости; 4 - дозирующий насосный агрегат; 5 - смеситель; 6 - теплообменник; 7 - выпарной аппарат; 8 - насос воздушный; 9 - конденсатор; 10 - емкость буферная; 11 - дозировочные насосы; 12 - скребковый теплообменник; 13 - насосы; 14 - аппарат для приготовления концентрата присадок; 15 - скребковый холодильник; 16 - фильтр; 17 - гомогенизатор; 18 - деаэрактор; 19 - накопитель; 20 - гомогенизирующий клапан; I - присадки, II - раствор гидроксида лития, III - техническая стеариновая кислота, IV - масло, V - готовая продукция, VI - несконденсированные газы

Рисунок 1.17 – Схема установки производства смазок непрерывным способом [7,59]

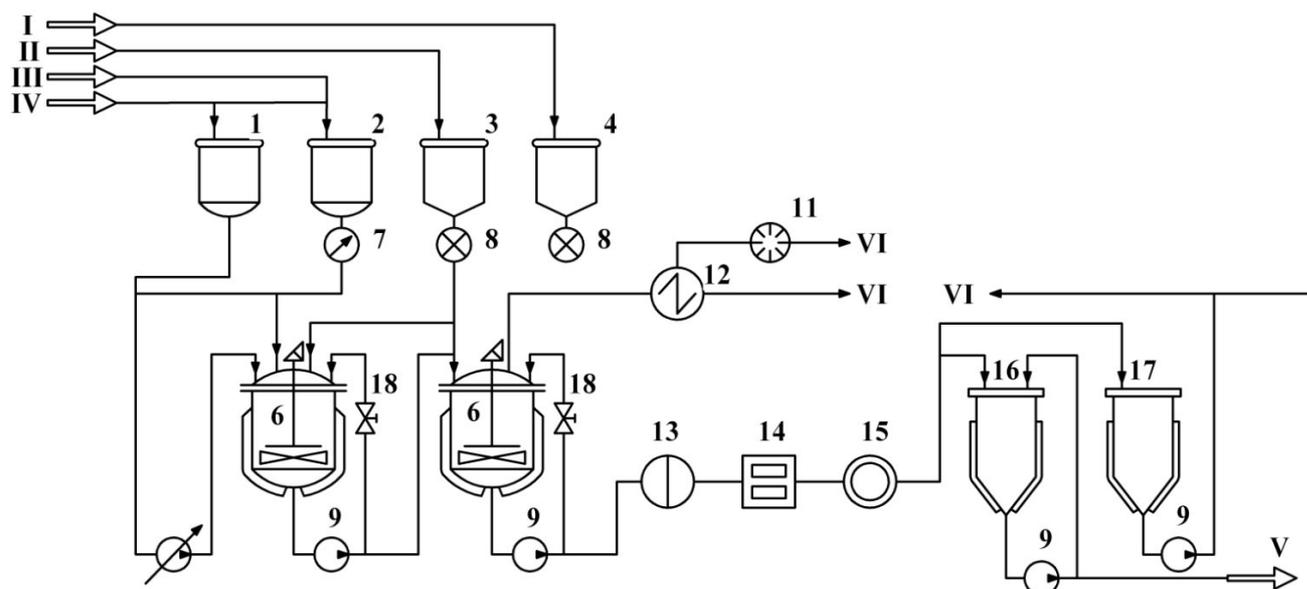
Процесс производства осуществляется по следующему принципу. Дозирующими насосами масло, омыляемые компоненты и суспензия гидроксида

лития поступают в поточный смеситель, для полного перемешивания. При этом масло до попадания в поточную линию нагревают до заданной температуры. Затем эта смесь поступает в змеевик выпарного аппарата, где происходит окончательное омыление продукта. Далее омыленный продукт поступает в выпарной аппарат, где окончательно обезвоживается. Температура обезвоживания находится в пределах 170-200 °С. Обезвоженная масляная смесь подается на термообработку в теплообменник с мешалкой, затем переводится в скребковый холодильник. Заключительным этапом приготовления является подача полученного продукта на фильтрацию, гомогенизацию, деаэрацию и окончательно в емкость накопитель [7,59].

Качество смазки определяется встроенными контролерами. В случае несоответствия основным требованиям смесь дозирующими насосами перенаправляют на переработку [7,59].

Приготовление пластичных смазок на неорганических основах заключается в диспергировании загустителя в масле. Производство смазок на неорганических и органических основах проводится в следующей последовательности по технологической схеме рисунок 1.18 [7,59].

Дозаторами подается заданное количество дисперсной среды в аппарат с мешалкой скребкового типа 6, следом дозаторами подаются присадки. Затем через порционный дозатор подается первая часть аэросила. Чтобы не допустить комкования загустителя, его подают небольшими порциями в течении 7 - 8 часов. После равномерного распределения аэросила в масле смесь перекачивают в скребковый аппарат 10 в котором добавляют графит. Следом температуру повышают до 100 °С для выпаривания излишков влаги. Затем в обезвоженную смесь добавляют оставшуюся часть загустителя. Далее смесь прокачивают через гомогенизатор, фильтруют и деаэрируют. Затем перекачивают в накопитель для последующей расфасовки [7,59].



1 - 4- сырьевые емкости; 5 - дозировочный насос; 6. 10 - скребково-лопастные аппараты; 7, 8 - дозаторы; 9 - насосы; 11 - насос вакуумный; 12 - конденсатор; 13 - фильтр; 14 - гомогенизатор; 15 - деаэратор; 16. 17 - накопители; 18 –гомогенизирующие клапаны. I - графит, дисульфид молибдена; II - аэросил, бентонит; III - присадки; IV - масло; V - готовая продукция (смазка) на расфасовку; VI - некондиционный продукт; VII - конденсат; VIII - воздух - несконденсированные газы

Рисунок 1.18 – Принципиальная схема производства смазок на неорганических и органических загустителях [7,59].

Все вышерассмотренные способы и технологические схемы приготовления пластичных смазок предусматривают применение сложного технологического оборудования и дорогостоящих компонентов, не приспособленные к использованию в АПК при производстве малотоннажных объёмов.

Отсутствуют доступные способы получения основы - дисперсионной среды на базе отработанных минеральных и синтетических моторных масел.

Недостаточно изучены вопросы получения и использования в сельскохозяйственной технике наиболее востребованных пластичных смазок аналогов Солидол Ж и Литол 24, производимых в условиях сельскохозяйственного производства по простым доступным технологическим с высоким конечным качеством получаемой смазки и минимальными затратами.

## 1.4 Выводы и задачи исследований

1. В результате анализа составов и основных характеристик пластичных смазок установлено, что практически все пластичные смазки состоят из 70 – 80 % дисперсионной среды, и 20 – 30 % дисперсной фазы, присадок и добавок. Отработанные моторные масла практически не используются в качестве дисперсионной среды так как сильно загрязнены смолами, асфальтенами и продуктами окисления. В качестве дисперсной среды при производстве смазок используются дорогостоящие ресурсы: нефтяные, растительные и синтетические масла. Характер и фракционный состав дисперсионной среды существенно влияет на структурообразование и загущающий эффект дисперсной фазы, а следовательно на эксплуатационные свойства смазок. К важнейшим свойствам смазок влияющим на износ узлов трения следует отнести вязкость, температуру каплепадения, антикоррозионные и адгезионные свойства, противоизносные, антифрикционные, сдвиговые характеристики.

2. Анализ механизмов смазывания показал, что смазывание пластичной смазкой представляет собой динамический процесс, состоящий из этапов перемешивания, маслоотделения и нарушения целостности пленки. В процессе трения и окисления свойства смазок изменяются более чем в 2 раза. Существующие ряд моделей, которые используют для расчетов сроков службы пластичных смазок основываются в основном на эмпирических данных. Единые подходы и упрощенные методы определения ресурсов, сроков службы смазок отсутствуют. Наиболее востребованными смазками в сельскохозяйственной технике является Солидол Ж и Литол-24.

3. Определено, что большинство способов приготовления смазок включает 4 этапа: выбор дисперсионной среды; смешивание дисперсионной среды с дисперсной фазой; термообработка; внесение присадок с последующим охлаждением. Основная масса способов приготовления смазок предполагает использование сложных схем и сложного технологического оборудования. Использование в качестве дисперсионной среды отработанных масел пока не нашло широкого применения из-за их сильной загрязненности примесями и продуктами окисления.

Отсутствуют простые и эффективные способы очистки масла от примесей и загрязнений позволяющие удалять мелкодиспергированные смолы и продукты окисления из отработанных масел для их дальнейшего использования в качестве дисперсионной среды, а оборудования для производства малотоннажных объёмов смазок адаптированных к условиям АПК практически не существует.

На основании сделанных выводов целью исследования является повышение эффективности использования ресурсов в сельскохозяйственном производстве за счет замены товарных пластичных смазок аналогами, получаемыми на основе отработанных моторных масел в условиях предприятий АПК.

В соответствии с выдвинутой целью поставлены следующие задачи исследования:

1. Обосновать выбор разделяющих агентов, обеспечивающих укрупнение примесей и загрязнений в отработанных моторных маслах.
2. Установить аналитические зависимости процесса осаждения укрупненных примесей и загрязнений с целью разработки способов очистки отработанных масел для их дальнейшего использования в качестве дисперсионной среды пластичных смазок.
3. Определить рациональный состав смазок, и показатели эффективности их работы в узлах трения.
4. Разработать технологический процесс и универсальное устройство для приготовления смазок, обеспечивающее и получение дисперсионной среды из отработанных масел, и последующее её загущение, и перемешивание в одном объекте;
5. Экспериментально подтвердить эффективность применения очищенного отработанного моторного масла в качестве дисперсионной среды, рациональность разработанных составов смазок, их основных свойств, провести экономическую оценку эффективности применения смазок в сельскохозяйственной технике.

## **2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ РАЗРАБОТКИ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК НА ОСНОВЕ ОТРАБОТАННЫХ МАСЕЛ**

### **2.1 Обоснование выбора разделяющих агентов для укрупнения примесей в отработанных маслах**

Как известно из теории и практики процессов приготовления пластичных смазок в качестве дисперсионной среды могут рассматриваться различные масла минерального и синтетического происхождения [1,62,63,64]. Чаще всего выбор масла или дисперсионной среды пластичной смазки основывается на минимуме затрат на получение или приобретение данной основы и его важнейших характеристик вязкости и степени частоты.

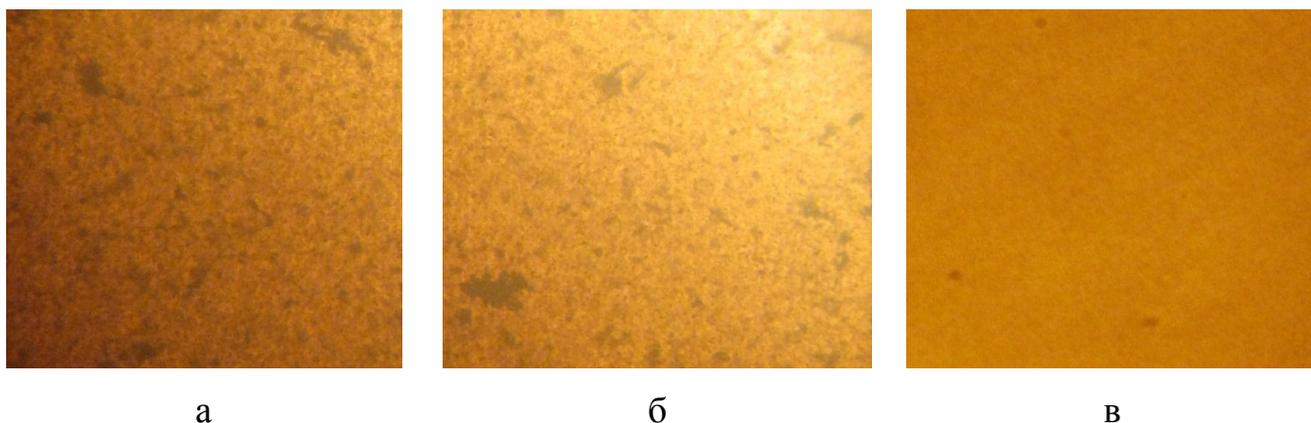
В литературе недостаточно информации об использовании в качестве дисперсионной среды отработанных моторных минеральных и синтетических масел. Данные причины можно объяснить двумя важнейшими факторами препятствующими использованию отработанных моторных масел в качестве дисперсионной среды:

1. Высокая загрязненность отработанных моторных масел не только механическими примесями, но и смолами, продуктами окисления, что не позволяет их использовать в качестве дисперсионной среды.

2. Отсутствие простых, доступных, мало затратных, но эффективных способов удаления из отработанных масел продуктов старения, особенно синтетических отработанных масел и их смесей с минеральными.

На этапе теоретических исследований ставится задача разработки способа получения дисперсионной среды на основе отработанных масел предопределяющая выбор разделяющих агентов способных скоагулировать практически растворенные в отработанных маслах смолы, асфальтены, карбены, карбоиды для их последующего удаления известными физическими методами.

Учитывая опыт известных разработок по глубокой очистке отработанных масел от продуктов старения [65,66,67] выдвигается гипотеза, что для получения дисперсионной среды смазки требуется полностью удалить из масел примеси, смолы, асфальтены, карбены, карбоиды, продукты разложения углеводородной и синтетической основы находящейся в мелкодиспергированном (1мкм) и взвешенном состоянии (менее 0,5 мкм) в масле (рисунок 2.1).



а) масло М10Г2 после наработки 250 часов; б) масло М-10ДМ после наработки 250 часов; в) масло синтетическое после наработки 300 часов

Рисунок 2.1 – Микрофотографии проб отработанных моторных масел

Подобного рода задачи решаются коагуляцией примесей с целью их последующего удаления простыми физическими методами.

Однако отработанные моторные масла имеют свои особенности в их составе присутствуют не только загрязнения, но и некоторое остаточное количество моющее – диспергирующих присадок препятствующих агрегации примесей [68,69].

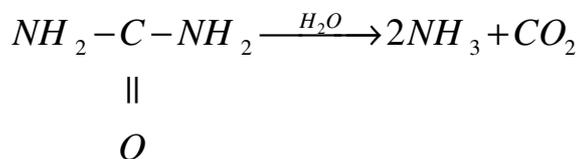
Рассмотрим основные свойства некоторых разделяющих агентов, чтобы представить все многообразие физико-химических превращений в масле и создать предпосылки для разработки способа очистки отработанного масла от загрязнений с целью его дальнейшего использования в качестве дисперсионной среды.

Одними из перспективных коагулянтов для очистки моторных масел можно считать ряд разновидностей аминов [68].

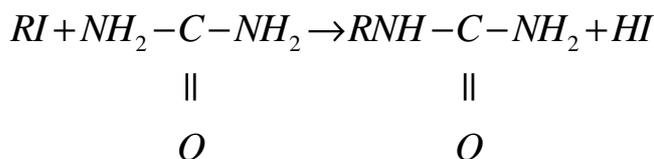
Молекулы мочевины способны при определенных условиях взаимодействия с органическими веществами перегруппировываться, образуя пространственные структуры. Полагают [68], что этому способствуют действие Ван-дер-Вальсовых либо дисперсионных сил, или сил, обусловленных индуцированным электростатическим напряжением. Применительно к нашим задачам очень важно создать именно такие условия для мочевины, чтобы эта перегруппировка произошла [68].

Так как частицы загрязнений имеют на своей поверхности присадку и вовлечены в процесс перегруппировки с образованием прочных связей (агент - присадка – частицы загрязнений), то столкновения частиц с веществом агента и между собой при перемешивании могут привести к укрупнению частиц [68].

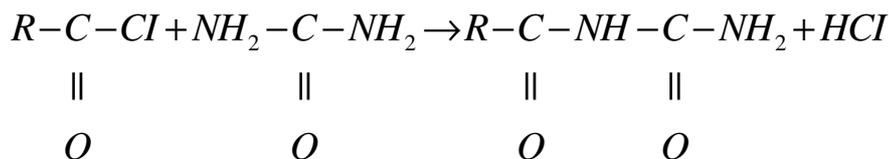
Карбамид (мочевина) как амид гидролизуется в щелочной и кислой среде, которой будем считать отработанное моторное масло до  $NH_3$  и  $CO_2$  [70,71]:



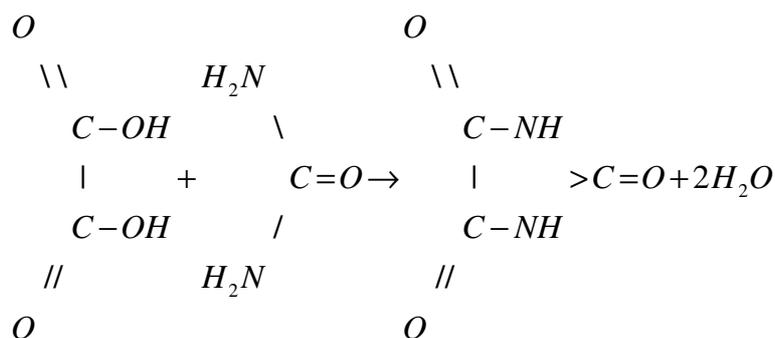
Мочевина алкилируется, образуя алкилмочевину:



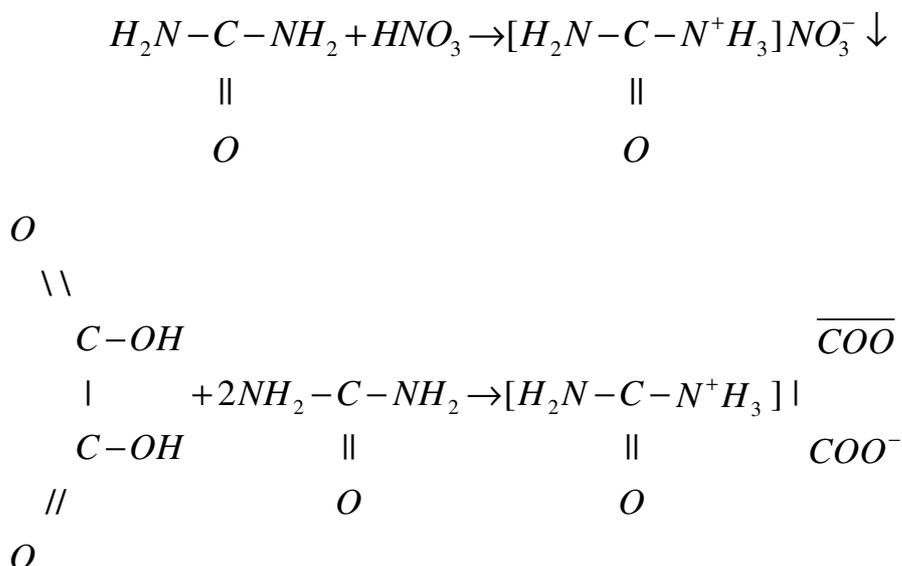
и ацелируется, образуя так называемые уреиды:



Циклические уреиды образуются из двухосновных органических кислот (оксалилмочевина):

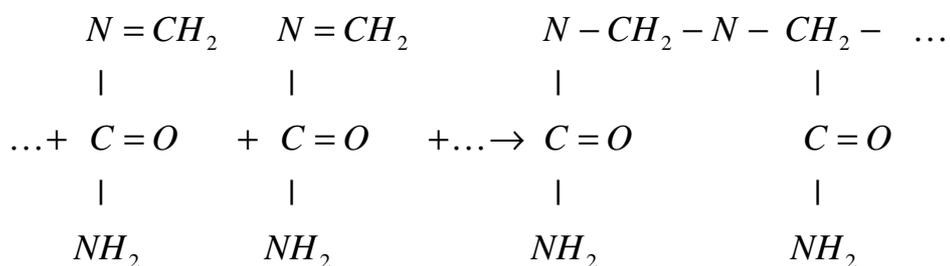


Мочевина взаимодействует с некоторыми кислотами с образованием плохо растворимых солей:



Мочевина образует соли с одним эквивалентом кислоты, т. е. за счет только одной аминогруппы.

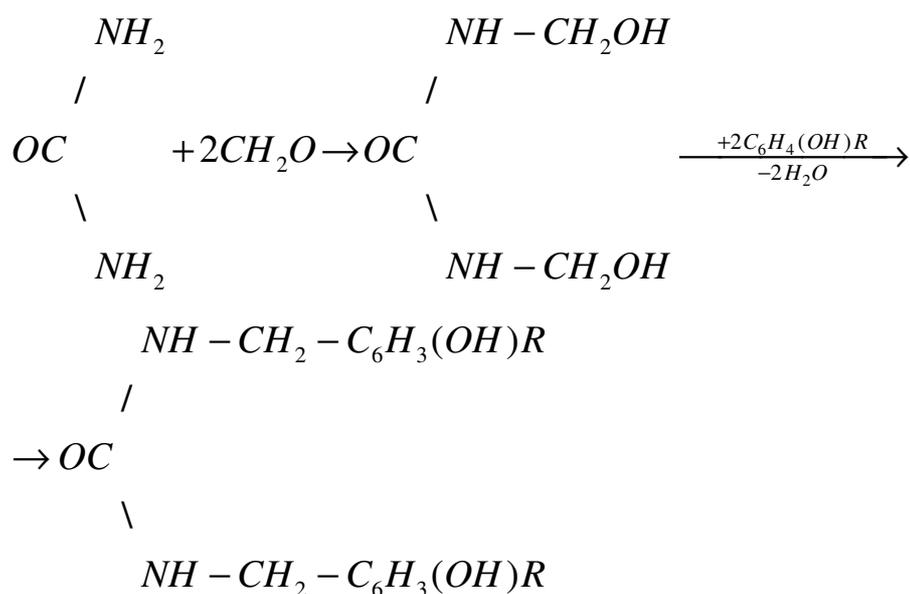
Монометиленмочевина (как и диметиленмочевина) полимеризуется:



Реакция конденсации мочевины может протекать в присутствии различных конденсирующих элементов в нейтральной, кислой и щелочной среде. Состав продуктов зависит от условий конденсации: типа катализатора, концентрации реагентов и продолжительности реакции, но первичными продуктами во всех слу-

чаях являются моно- и диметилпроизводные мочевины. Так, в щелочной среде при мольном соотношении формальдегида и мочевины 1:1 получается моноэтилкарбамид, а при избытке формальдегида – диметилкарбамид; в слабокислой среде при избытке формальдегида получается только диметилкарбамид, а в сильнокислой – высокомолекулярные продукты конденсации [70].

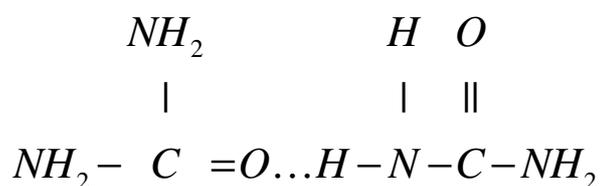
Диметилкарбамид в слабокислой среде конденсируется с алкилфенолами:



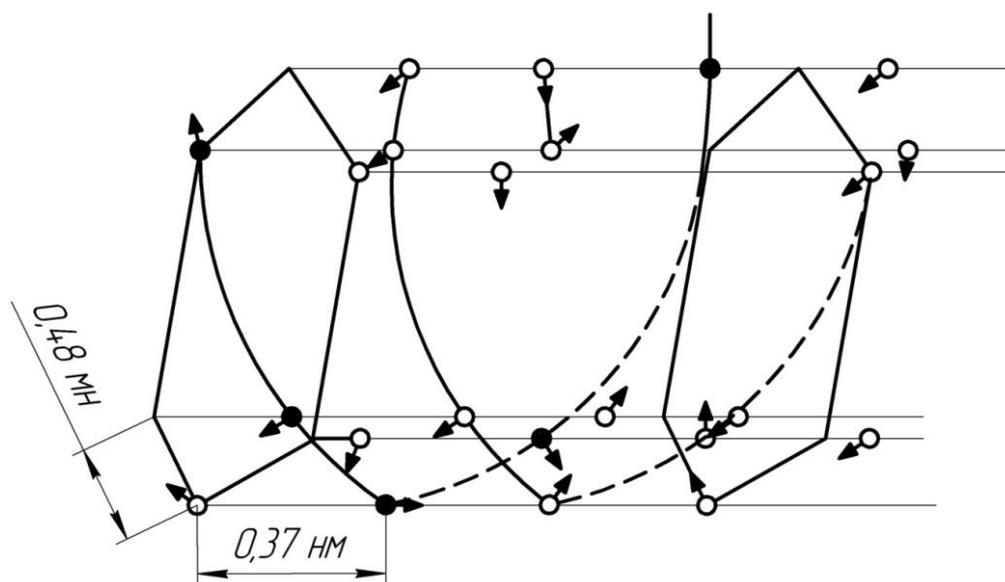
Где R – алкил C<sub>3</sub> – C<sub>6</sub>.

Производные мочевины применяют в качестве антиокислительных присадок к синтетическим маслам [70]. Кроме этого, карбамид обладает способностью образовывать кристаллические комплексы с линейными n-алканами, содержащими в молекуле шесть и более шести углеродных атомов, что используется для отделения их от изоалканов и циклоалканов [72,73]

Карбамид – сложно ассоциированное соединение из-за образования межмолекулярных водородных связей:



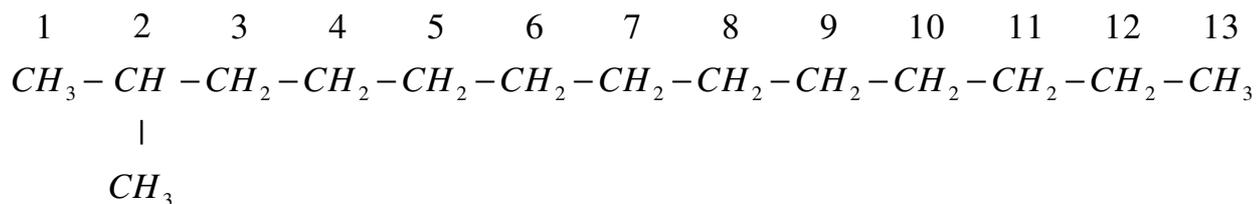
Как показывают исследования [72] карбамид имеет тетрагональную кристаллическую решетку, которая при образовании комплекса изменяется на гексагональную. Структура комплекса характеризуется расположением ассоциированных молекул карбамида по спирали на гранях правильных шестигранных призм (рис. 2.2).



- - атомы кислорода молекул карбамида:  
 ● - атомы кислорода одной элементарной ячейки

Рисунок 2.2 – Схема кристаллической решетки комплекса карбамида

Аддукты с карбамидами способны образовывать не только *n*-алканы, но и углеводы других классов, молекулы которых имеют достаточно длинный алкильный неразветвленный заместитель. Так, если метильная группа находится в положении 2, 3, 4 или 5:



то для возможности образования аддукта в линейном участке цепи должно содержаться не менее 11, 14, 15 или 16 атомов углерода. Циклические углеводороды

также способны к образованию комплексов, если боковая цепь линейного строения содержит не менее 18 атомов углерода.

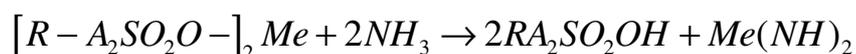
Как показывает практика известных исследований по очистке отработанных моторных масел от растворимых примесей, процесс не всегда протекает с ожидаемой эффективностью и масло после очистки даже современными физическими средствами очистки (центрифугами, фильтрами) содержит значительное количество смол.

В данном случае исходя из поставленной задачи теоретических исследований и выбора эффективных разделяющих агентов сделаем предположение, связанное с необходимостью введения в смесь коагулянта дополнительно активаторов, в качестве которых следует рассматривать различные спирты и растворители. Активаторы должны препятствовать адсорбции присадок масла способствуя ускорению процесса коагуляции.

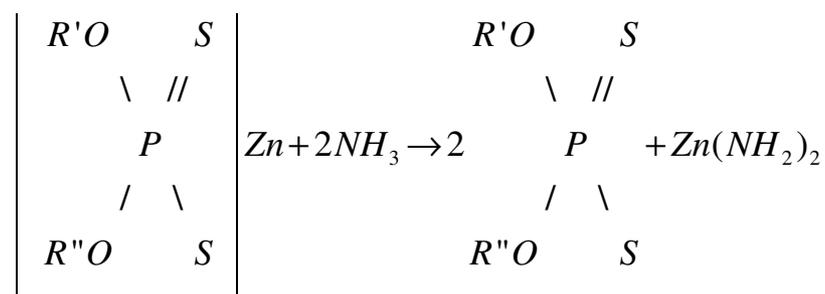
Возвращаясь к начальной стадии теоретического анализа, следует отметить, что присутствующие в отработанном масле моюще-диспергирующие и антиокислительные присадки могут замедлять или при определенных условиях ускорять процесс коагуляции. При этом одним из важнейших параметров процесса коагуляции является температура, характеризующая разложение коагулянта.

Возможные схемы взаимодействия продуктов температурного разложения с основными присадками моторного масла представлены ниже:

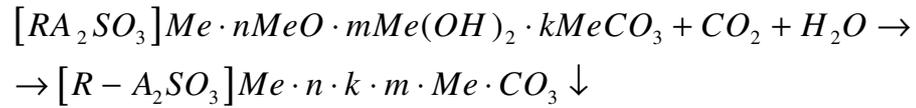
1. Взаимодействие выделяющегося аммиака с моюще-диспергирующими присадками:



2. Взаимодействие выделяющегося аммиака с антиокислительной присадкой:

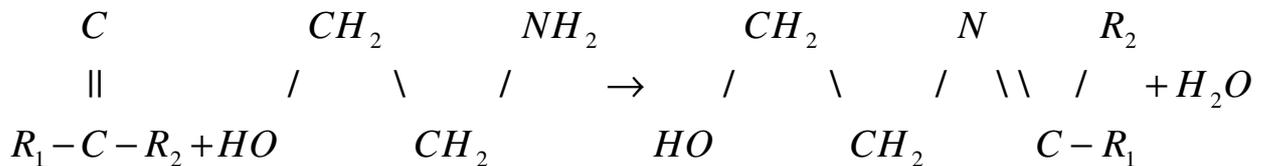


3. Взаимодействие выделяющегося углекислого газа с моюще-диспергирующими присадками:



Для выбора эффективных агентов необходимо создать условия, когда за счет химических взаимодействий разрушается молекулярно – адсорбционный слой присадок вокруг частиц загрязнений, а остаточное количество присадок должно изменяться незначительно, что является дополнительным преимуществом дисперсионной среды, получаемой на основе отработанного моторного масла.

Если рассматривать процесс химического взаимодействия смол, асфальтенов, карбенов, карбоидов, имеющих в своем составе  $> O_1$ , то при их взаимодействии, например с моноэтаноламином возможна реакция:



Аммиак как летучее вещество возможно удалить выпариванием, а примеси при этом должны выпадать в осадок.

Физико-химическое представление действия ряда аминов в отработанных моторных маслах является основой для разработки способов очистки отработанных масел от примесей и загрязнения с целью получения дисперсионной среды пластичных смазок.

На предварительном этапе теоретических исследований по выбору разделяющих агентов можно предложить следующую схему процесса получения дисперсионной среды из отработанных моторных масел (рисунок 2.3).



Рисунок 2.3 –Схема процесса получения дисперсионной среды на основе отработанных масел

В качестве разделяющих агентов для коагуляции и удаления примесей из отработанных минеральных моторных масел следует использовать карбамид.

В случае высокой насыщенности отработанных масел диспергирующими присадками карбамид целесообразно активировать растворителями, спиртами.

Для отработанных моторных масел на синтетической основе в качестве разделяющего агента предлагается использовать моноэтаноламин, способный в синтетической среде «организовать» перегруппировку связей, коагуляцию загрязнений, а для ослабления действия моюще – диспергирующих присадок, использовать спирты, растворители. Предварительное рассмотрение процесса коагуляции разделяющих агентов показало способность увеличения примесей в 20 – 30 раз, что должно быть подтверждено результатом экспериментальных исследований.

## 2.2 Установление аналитических зависимостей процесса осаждения скоагулировавшихся примесей в поле гравитационных сил под действием разделяющего агента

При рассмотрении теоретических аспектов разделяемости системы масло-примеси под действием разделяющих агентов в поле гравитационных сил сделаем допущение, что осаждающие частицы примесей находятся в шарообразном состоянии рис 2.4.

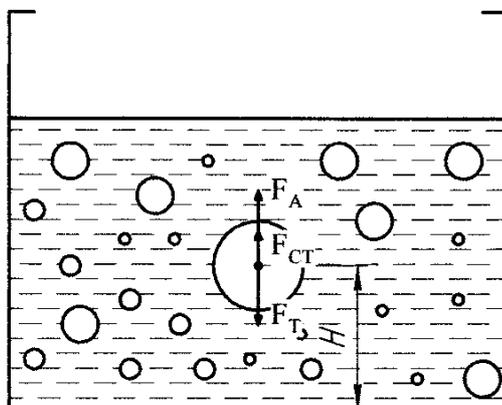


Рисунок 2.4 – Силы действующие на частицы примесей в масле

На осаждающиеся примеси действуют  $F_A$  Архимедова сила, выталкивающая частицы из объёма масла, сила тяжести  $F_T$  и сила сопротивления масляной среды  $F_{СТ}$  (сила Стокса).

Рассматривая известные закономерности процесса гравитационного осаждения частиц примесей применительно к ламинарному режиму движения жидкости скорость осаждения частиц примесей в отработанном масле определяется хорошо известным выражением [68,74,75,76,77]:

$$v_0 = \frac{F_{СТ}}{r_{ч.п.} \cdot \mu} \quad (2.1)$$

где  $F_{СТ}$  - сила сопротивления осаждению частиц примесей, Н;  $r_{ч.п.}$  - радиус частиц примесей (загрязнений), м;  $\mu$  - коэффициент динамической вязкости, кг/(м·с).

С учетом параметров дисперсионной среды:

$$v_0 = \frac{F_{CT}}{6 \cdot \pi \cdot r_{ч.п.} \cdot \mu} \quad (2.2)$$

$6 \cdot \pi \cdot r_{ч.п.} \cdot \mu$  - молекулярный коэффициент трения.

Сила сопротивления осаждения частиц примесей определяется как разность двух сил:

$$F_{CT} = F_T - F_A \quad (2.3)$$

Подставляя значения сил и сделав определенные преобразования получим:

$$\frac{v_0 \cdot d_{ч.п.} \cdot \rho_{с.п.}}{\mu} = \frac{1}{18} \cdot \frac{g \cdot d_{ч.п.}^3 \cdot (\rho_{с.п.} - \rho_M)}{v^2 \cdot \rho_M} \quad (2.4)$$

Так как  $v = \frac{\mu}{\rho}$  получим:

$$v_0 = \frac{1}{18} \cdot \frac{g \cdot d_{ч.п.}^2 \cdot (\rho_{с.п.} - \rho_M)}{v^2 \cdot \rho_M} = \frac{g \cdot d_{ч.п.}^2 \cdot (\rho_{с.п.} - \rho_M)}{18 \cdot \mu} \quad (2.5)$$

где  $d_{ч.п.}$  - диаметр частиц примесей, м;  $v$  - кинематическая вязкость, м<sup>2</sup>/с;  $\rho_{с.п.}$  - плотность смол, примесей, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_M$  - плотность отработанного масла, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Очевидно, что скорость осадений во многом зависит от объёмной доли количества примесей  $V_{(п)}$  присутствующих в отработанном моторном масле, тогда выражение для определения скорости отстаивания или осаждения примет вид:

$$v_0 = \frac{\Delta d_{ч.п.}^2 \cdot g \cdot V_{(п)}}{18 \cdot \mu} \quad (2.6)$$

где  $\Delta$  - разность плотностей масла и присутствующих в нем примесей.

Скорость разделения в большой степени зависит от размеров частиц примесей.

Процесс разделения масел отстаиванием в поле гравитационных сил возможно ускорить введением различного рода разделяющих агентов, способных увеличить размеры примесей, особенно смол, асфальтенов имеющих параметры 1 мкм и менее не поддающихся отстаиванию в поле гравитационных сил.

Рассмотрение процессов разделения или очистки масел в поле гравитационных сил во многом зависит от знаний дисперсионного состава примесей и их содержания в очищаемом моторном масле.

Исследованиями Лышко Г.П., Дехтерева В.А., Резникова В.А., Рыбакова К.В, Коваленко В.П., и др. установлено, что размеры частиц загрязнений находятся в достаточно широком диапазоне и удовлетворительно аппроксимируются логарифмически - нормальным законом распределения, который определяется средним логарифмом размера  $\lg X_0$  и среднеквадратичным отклонением логарифма размера частиц [68,78,79].

Графически представления содержания частиц в зависимости от их размера в натуральных величинах по аппроксимированной кривой исходя из работ Бутова Н.П. [80] имеет вид (рисунок 2.5).

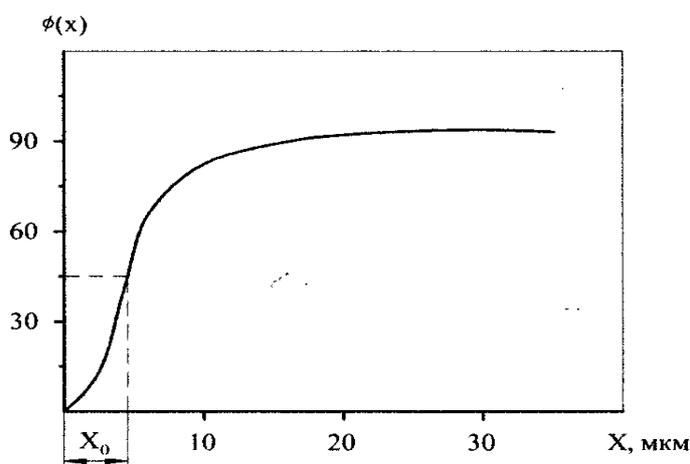


Рисунок 2.5 – Зависимость содержания количества частиц загрязнений от их размера

В работах Острикова В.В. дисперсный состав частиц загрязнений моторного масла М-10Г<sub>2</sub>К имеет схожий характер. При детальном рассмотрении большого количества проб, работавших в двигателях моторных масел, им установлено, что основная масса загрязнений имеет размеры от 0,1 до 5 мкм и далее с увеличением дисперсного размера их количество уменьшается [68] рисунок 2.6.

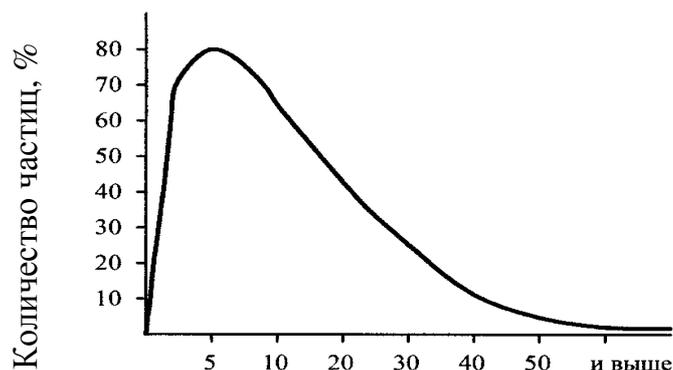


Рисунок 2.6 – Изменение процентного соотношения частиц в моторном масле в зависимости от дисперсного состава загрязнения

Обобщая результаты известных исследований, интегральное теоретическое распределение частиц в узком рассматриваемом дисперсном диапазоне в первом приближении может иметь вид (рисунок 2.7) [68-80].

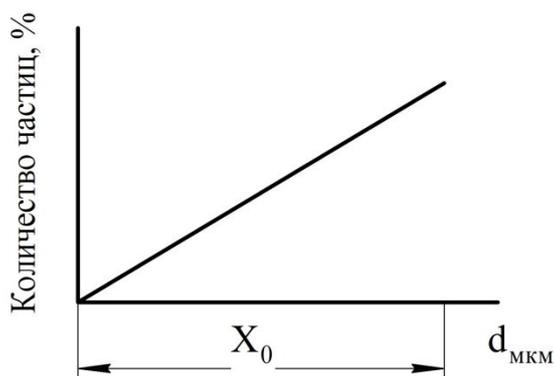


Рисунок 2.7 – Зависимость содержания относительного числа частиц примесей (загрязнения) от размеров

Для нами принятых условий скорость осаждения будет иметь вид:

$$v_0 = \frac{2 \cdot r_{\text{ч.п.}}^2 \cdot g}{9 \cdot \mu} (\rho_{\text{ч.п.}} - \rho_{\text{м}}) \cdot V_{(\Pi)} \quad (2.7)$$

При этом вязкость среды зависит от температуры масла:

$$\mu_{\text{к}} = \mu_{\text{и}} \cdot \left( \frac{t_{\text{к}}}{t_{\text{и}}} \right)^{\text{к}} \quad (2.8)$$

где  $\mu_{\text{к}}$  – динамическая вязкость масла при его нагреве (при температуре  $100^{\circ}\text{C}$   $t_{\text{к}}$ ),  $\text{мм}^2/\text{с}$ ;  $\mu_{\text{и}}$  – вязкость исходная (при  $t_{\text{и}}=20^{\circ}\text{C}$ ),  $\text{мм}^2/\text{с}$ ;  $\text{к}$  – коэффициент,

определяемый экспериментально  $2,5 < k < 3,2$ .

Плотность частиц примесей смол также может зависеть от температуры масляной среды:

$$\rho_{\text{ч.п.к.}} = \frac{\rho_{\text{ч.п.}}^0}{1 - \alpha \cdot t} \quad (2.9)$$

$\rho_{\text{ч.п.к.}}$  – плотность частиц примесей при конечной температуре,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\rho_{\text{ч.п.}}^0$  – плотность частиц примесей исходная,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\alpha$  – коэффициент объёмного расширения частиц примесей (смола, асфальтенов), ;  $t$  – температура масла относительно начального состояния  $t_u$ ,  $^{\circ}\text{C}$ .

Тогда скорость осаждения примесей в зависимости от температуры нагрева масла примет вид:

$$v_0 = \frac{2 \cdot r_{\text{ч.п.}}^2 \cdot \left( \frac{\rho_{\text{ч.п.}}^0}{1 - \alpha \cdot t} - \rho(t) \right) \cdot g}{9 \cdot \mu \cdot \left( \frac{t_k}{t_u} \right)^k} \quad (2.10)$$

С учетом того, что частицы примесей в процессе кавитационных потоков при нагреве масла могут частично слипаться, увеличиваться и являются функцией некоторой постоянной величины  $D_k$  и дисперсного размера частиц, обобщенный коэффициент  $d(k)$  будет иметь вид:

$$d(k) = D_k + d_{\text{ч.п.}} \quad (2.11)$$

где  $d_{\text{ч.п.}}$  – диаметр частиц примесей, м.

Скорость осаждения частиц примесей смол в поле гравитационных сил с учетом приведенных факторов, объёмного содержания частиц в масле  $V_{(II)}$  и некоторого коэффициента кратности увеличения примесей под действием разделяющих агентов описывается полученным выражением:

$$v_0 = \frac{2 \cdot r_{\text{ч.п.}}^2 \cdot \left( \frac{\rho_{\text{ч.п.}}^0}{1 - \alpha \cdot t} - \rho(t) \right) V_{(II)} \cdot g}{9 \cdot \mu \cdot \left( \frac{t_k}{t_u} \right)^k \cdot d(k)} \cdot Y_k \quad (2.12)$$

$Y_k$  – коэффициент кратности увеличения частиц примесей (смола) под действием разделяющих агентов  $Y_k = 20 \dots 30$  (определяемый экспериментально).

Анализируя полученное выражение с учетом теоретического представления и известных аналитических данных, скорость осаждения в зависимости от изменения диаметров частиц примесей носит степенной характер (рисунок 2.8).

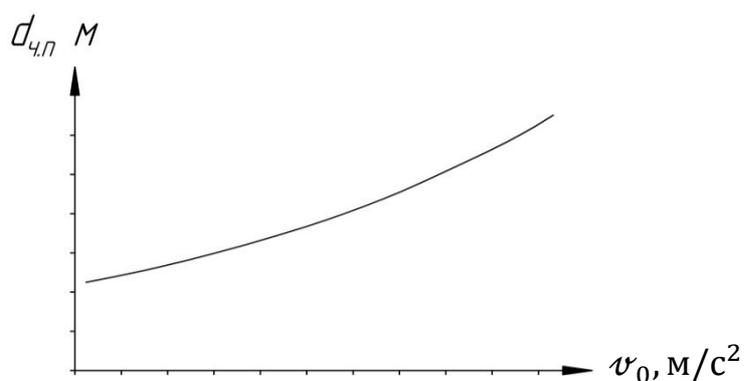


Рисунок 2.8 – Зависимость изменения скорости осаждения от диаметра частиц примесей

Сходимость теоретической зависимости с экспериментальными данными должна быть проверена в результате исследований процесса осаждения под действием разделяющих агентов. При этом следует иметь в виду, что укрупнение частиц примесей под действием РА может ограничиваться спецификой процесса агрегации, когда увеличение частиц больше определенных размеров не происходит в силу физических законов коагуляции.

Исходя из вышеизложенного упрощенная формула для определения времени очистки масла, будет иметь вид:

$$T_{\text{оч}} = \frac{H}{v_0} \quad (2.13)$$

где  $H$  – высота столба масла в ёмкости, м.

При этом высота столба масла принимается от верхней точки уровня масла до нижней, так как время осаждения частиц из верхнего слоя будет максимальным.

Рассматривая составы отработанных моторных масел [68,80] следует обратить внимание, что остаточное содержание моюще-диспергирующих присадок в них различна, и они, в силу их назначения снижают эффективность процесса

укрупнения примесей, что влияет на время отстаивания примесей. На этапе теоретических исследований примем допущение, характеризуемое коэффициентом замедления времени отстаивания  $h'$ , определяемое как соотношение:

$$h' = \frac{\Pi_0}{\Pi_0 - \Pi_k} \quad (2.14)$$

где  $h'$  - коэффициент замедления;  $\Pi_0$  - исходное содержание присадок в свежем масле определяемое, по щелочному числу, мгКОН/г;  $\Pi_k$  - остаточное содержание моюще-диспергирующих присадок, мгКОН/г. (принимая 3, 2, 1 мгКОН/г).

Тогда выражение 2.13 с учетом 2.14 будет иметь вид:

$$T_{оч} = \frac{H}{v_0} h' \quad (2.15)$$

Подставляя в полученную формулу (2.15) значение скорости осаждения примесей, высоту «столба» осаждающихся примесей или расстояния от верхней точки до нижней с учетом замедления процесса под действием моюще-диспергирующих присадок, зависимость времени очистки  $T_{оч}$  от расстояния  $H$  представляется как (рисунок 2.9).

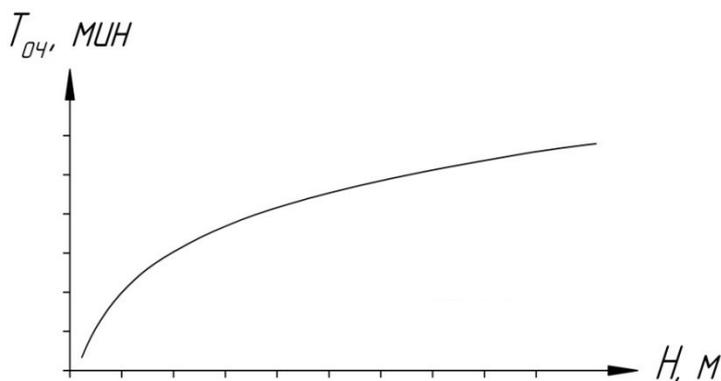


Рисунок 2.9 – Зависимость изменения времени осаждения  $T_{оч}$  примесей от расстояния  $H$  с учетом укрупнения частиц и действия моюще-диспергирующих присадок

Сходимость полученных в ходе экспериментальных исследований данных с теоретическим представлением процесса во многом зависит от остаточного содержания присадок в отработанных маслах, которые будут использовать при проведении экспериментов по очистке масел от примесей.

Использование эффективных разделяющих агентов для укрупнения примесей позволяет исключить из схемы очистки применение дорогостоящего оборудования (центрифуг, фильтров и т.д.), что должно быть подтверждено результатами экспериментальных исследований по оценке процессов изменения дисперсного состава примесей, анализа процесса осаждения загрязнений в объёме масла.

### 2.3 Определение схемы и параметров технологического процесса получения дисперсионной среды смазки и смешивания с дисперсной фазы в одном объекте

В процессе приготовления пластичных смазок используется целый ряд технологического оборудования, включающего баки-реакторы, мешалки, гомогенизаторы, диспергаторы и т.д.

В условиях сельскохозяйственного производства, где объёмы используемых пластичных смазок относительно не велики применение сложного дорогостоящего, высокопроизводительного оборудования нецелесообразно.

На этапе теоретических исследований рассмотрим схему, когда в процессе получения дисперсионной среды, её загущения дисперсной фазой, нагрев, перемешивания и т. д. проводятся в одном объекте – реакторе - смесителе.

Теоретически схема процесса приготовления смазки может иметь следующие составляющие (рисунок 2.10).

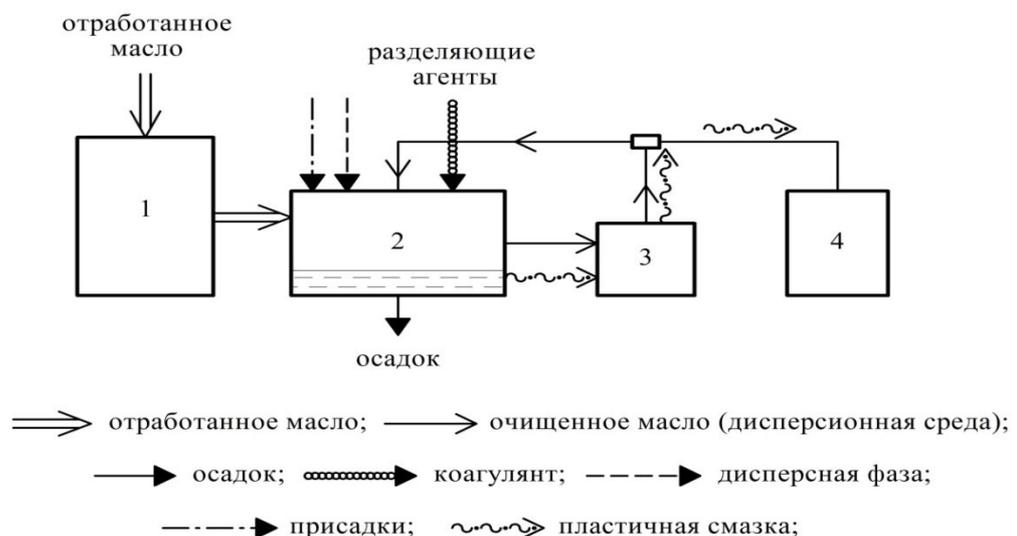


Рисунок 2.10 – Схема процесса приготовления смазки

В первом приближении процесс заключается в следующем: отработанное масло 1 подается в ёмкость 2 реактор - смеситель, где производится очистка масла под действием разделяющего агента (коагулянта) с целью получения дисперсионной среды (раздел 2.2). Далее после удаления осадка, туда же вносится дисперсионная фаза и присадки, перемешиваемые при определенной температуре. Гомогенизация 3 проводится по циклу из емкости 2, далее смесь отправляют на созревание в специальные ёмкости 4 (бидоны, бухты, пластиковую тару).

В соответствии с рассматриваемой схемой основные процессы приготовления смазки происходит в объекте 2 где производится очистка отработанного масла и его перемешивание с дисперсной фазой.

Уравнение материального баланса для процесса получения дисперсионной среды имеет вид [81]:

$$G_1 = G_2 + G_n \quad (2.16)$$

где  $G_1$  - количество исходных компонентов (количество ОММ с разделяющими агентами), кг/час;  $G_2$  - количество получаемой дисперсионной среды (очищенного масла), кг;  $G_n$  - количество осадка (потерь) на стадии очистки, кг.

$$\begin{aligned} G_n &= 0,01 \cdot G_1 \\ G_1 &= G_2 + 0,01 \cdot G_1 \\ 0,99G_1 &= G_2 \\ G_1 &= \frac{G_2}{0,99} \end{aligned} \quad (2.17)$$

Определяя геометрические параметры аппарата 2 (реактор-смеситель), установим необходимый объём реактора – смесителя для условий обеспечения парка машин (40 тракторов, 20 комбайнов, и 40 автомобилей) необходимым количеством смазки:

$$V_2 = \frac{V_{\text{раб}}}{\varphi} \quad (2.18)$$

где  $V_{\text{раб}}$  - рабочий объём аппарата, м<sup>3</sup>;  $\varphi$  - коэффициент заполнения (принимается  $\varphi = 0,72$  для условия исключения непредвиденных потерь выкипания, вспенивания, переливов).

В соответствии с принятым уравнением материального баланса:

$$V_{\text{раб}} = \frac{G_1}{i} \quad (2.19)$$

где  $i$  - число операций в смену.

Так как рациональна конфигурация аппарата цилиндрическая, то:

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot H \quad (2.20)$$

где  $r$  - радиус, м<sup>2</sup>;  $H$  - высота, м.

Процесс перемешивания дисперсионной среды с дисперсной фазой является основополагающим для разработки оборудования.

Примем, что перемешивание осуществляется механической мешалкой рамного типа, как наиболее рациональный и малозатратный вариант устройства.

Далее на базе теоретических представлений разрабатывается реактор – смеситель для приготовления пластичных смазок.

## **2.4 Обоснование показателя эффективности работы пластичной смазки в узлах трения**

Рассмотрению вопроса трения и износа посвящено большое количество работ [82,83,84,85]. В большинстве из них акцентируют внимание на рассмотрении процессов, происходящих на поверхностях металлов (внешнее трение).

Внешнее трение сопровождается деформациями вызванными внедрением микронеровностей жесткого в менее жесткое тело. Такое взаимодействие тел описывается молекулярно-механической теорией трения, предложенной Краельским И.В. [86]. Данная теория объясняет такое взаимодействие в контактном слое различием в механических свойствах, неоднородностью их на отдельных участках и различием в геометрических очертаниях контактирующих тел [86]. Необходимо отметить, что наряду с деформированием слоев имеет место присутствие межмолекулярного взаимодействия тел. При этом нельзя характери-

зовать износ в контактном слое, опираясь на одну характеристику, из-за многообразия процессов износа, протекающих при контакте тел, вызванном различными факторами, такими как нагрузка, прочностные свойства материала, температурно-скоростные характеристики, шероховатость и т. д. [86].

Характеризуя процессы трения установлено, что смазочный материал является одним из основных компонентов. Эффективность работы узла трения во многом зависит от свойств смазочного материала, состава и количества противоизносных, противозадирных присадок, способности отводить тепло от поверхности трения, противостоять окислительным процессам под действием температур и т.д. [12,13,36].

Об эффективности работы пластичной смазки в узлах трения судят по целому ряду единичных и комплексных показателей.

Например, в работе [86] об уровне противоизносных свойств смазочного материала судят по величине весового износа пары трения. Интенсивность весового изнашивания предлагается рассчитывать по уравнению:

$$J = \frac{q}{L \cdot S}, \quad (2.21)$$

где  $q$  – весовой износ пары, кг;  $S$  – площадь трения,  $\text{м}^2$ ;  $L$  – путь трения, м.

Данный подход достаточно эффективный, однако оценить роль и действие самого смазочного материала не представляется возможным, и полученные результаты весьма косвенно характеризуют эффективность работы смазки, а именно, ее свойства, условия и т. д.

В работе [86,71] противозадирные свойства смазок предлагается определить по диаметру пятна упругого контакта  $D_{\Gamma}$  по формуле Герца:

$$D_{\Gamma} = \sqrt[3]{\frac{3F'_{oc} \cdot R'}{4E'}}, \quad (2.22)$$

где  $F'_{oc}$  – сила действия в точке контакта;  $R'$  – радиус шара;  $E'$  – модуль упругости материалов.

Данная формула сложна для расчетов и не учитывает особенности смазочного материала, которые могут, зависит как от состояния основы, так и содержа-

щихся в ней присадок.

Пластичные смазки в сельскохозяйственной технике работают в основном в подшипниках скольжения и качения.

В соответствии с теорией Харисона ресурс подшипника может быть оценен и увеличен путем создания благоприятных условий смазывания и чистоты смазки:

$$L = a_{rus} \left( \frac{C}{P} \right)^P, \quad (2.23)$$

где  $L$  – ресурс, млн. об.;  $C$  – номинальная динамическая грузоподъемность, Н;  $P$  – эквивалентная динамическая нагрузка на подшипник Н;  $a_{rus}$  – поправочный коэффициент.

Благоприятные условия смазывания создаются, прежде всего, за счет ряда технических и технологических условий работы подшипника и присутствия в смазке противоизносных присадок.

В смазках Солидол Ж и Литол-24 противоизносные свойства обеспечиваются чаще всего присутствием присадки.

Для наших условий приготовления смазок на основе отработанных моторных масел противоизносная присадка в той или иной концентрации уже присутствует в дисперсионной среде (очищенном масле).

От концентрации остаточного содержания присадки в дисперсионной среде зависят противоизносные свойства масла, оцениваемые по диаметру пятна износа:

$$D = at^2 - \beta t \quad (2.24)$$

где  $a$  – коэффициент, связанный с природой масла, минеральное или синтетическое, (для минеральных масел можно принять 0,8; для синтетических 0,9);  $\beta$  – остаточная концентрация присадки в очищенном моторном масле;  $t$  – температура, °С.

Исходя из известных экспериментальных данных по оценке противоизносных свойств масел в зависимости от содержания противоизносной присадки [87] получим:

$$y = cx^2 + bx + a, \quad (2.25)$$

где  $x$  – процент присадки;  $y$  – диаметр пятна износа, мм.

Для нахождения коэффициента  $a$ ,  $b$ ,  $c$  решим систему линейных уравнений:

$$\begin{cases} na + b \sum_{i=1}^n x_i + c \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n y_i \\ a \sum_{i=1}^n x_i + b \sum_{i=1}^n x_i^2 + c \sum_{i=1}^n x_i^3 = \sum_{i=1}^n x_i y_i \\ a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i^3 + c \sum_{i=1}^n x_i^4 = \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i \end{cases} \quad (2.26)$$

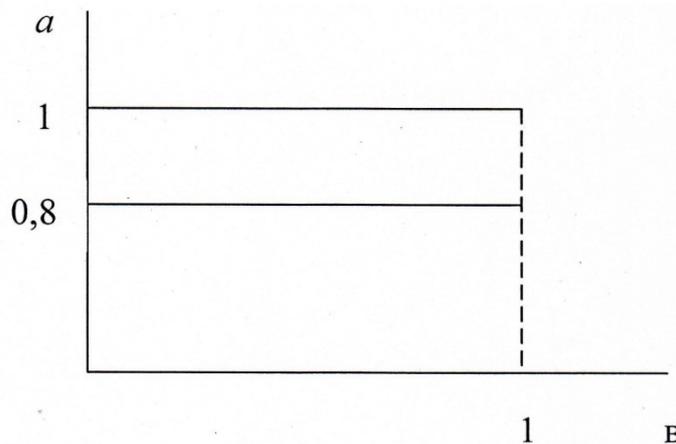
Теоретически рассматривая ресурс работы подшипника в зависимости от свойств масла и остаточного содержания присадок выражение 2.23 можно записать как:

$$L = \frac{1}{D} \left( \frac{C}{P} \right)^P. \quad (2.27)$$

Максимальное значение функции  $D$  находится на границе области определения.

Область определения функции  $D$  является декартовым произведением множества, состоящего из двух точек 0,8; 1 и множества 0,1.

Графически это можно представить как:



Соответственно из теоретического представления максимальный ресурс будет у смазки на синтетической основе ( $a = 0,8$ ) с наибольшей остаточной концентрацией присадки.

Далее рассмотрим зависимость изменения ресурса от температуры:

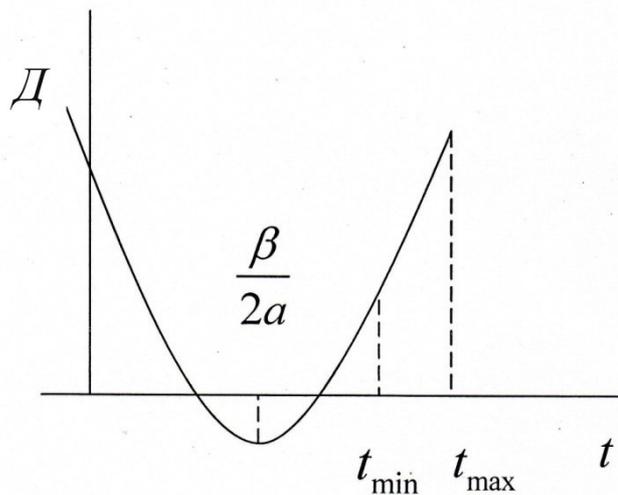
$$D(t) = at^2 - \beta t, \quad (2.28)$$

$$\frac{dD}{dt} = 2at - \beta, \quad (2.29)$$

Приравняв производную к нулю:

$$t = \frac{\beta}{2a}, \quad (2.30)$$

Тогда функция будет иметь вид



Учитывая физический смысл переменной  $t$  можно сделать вывод, что при увеличении температуры ресурс работы смазки уменьшается, что не противоречит общим принципам работы смазки в узле трения и должно быть подтверждено экспериментально.

## 2.5 Выводы

1. В результате теоретических исследований обоснован выбор разделяющих агентов для коагуляции примесей. Определено, что для удаления смол, асфальтенов в качестве агентов целесообразно использовать карбамид, растворители, моноэтаноламин. Установлено, что реакция конденсации может протекать в присутствии различных элементов в нейтральной, кислой и щелочной среде. Рас-

смотрено взаимодействие аммиака с моюще–диспергирующими присадками, позволяющие предполагать определенную коагуляционную активность смол, асфальтенов, карбенов, карбоидов в отработанном масле для их последующего удаления.

2. Получены аналитические зависимости процесса осаждения примесей в отработанном масле в зависимости от размеров частиц примесей (эффективности коагуляции) в поле гравитационных сил. Установлено, что скорость осаждения частиц смол загрязненного масла зависит от объёмного содержания частиц и коэффициента кратности увеличения примесей под действием коагулянтов. Получено выражение для оценки времени очистки масла с учетом коэффициента замедления процессов коагуляции в зависимости от остаточного содержания моюще–диспергирующих присадок в отработанном масле.

3. Получено уравнение материального баланса очистки отработанного масла. Определены основные характеристики аппарата для получения смазок исходя из требуемых объёмов производства.

4. Предложен показатель эффективности работы пластичной смазки, характеризующий ресурс работы узла трения в зависимости от содержания присадок в дисперсионной среде, природы масла (минеральное или синтетическое) и позволяющий по диаметру пятна износа смазки, номинальной динамической грузоподъёмности и нагрузке на подшипник, определять ресурс работы подшипника и смазки.

### **3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

#### **3.1 Методика проведения экспериментальных исследований по выбору разделяющих агентов**

В качестве дисперсионной среды в проводимых исследованиях рассматривалось отработанное моторное масло, слитое из картера двигателей тракторов.

Исследования проводились на отработанном минеральном масле марки М-10Г<sub>2</sub> и отработанном синтетическом масле 5W-30.

Отработанные масла анализировались по вязкости кинематической, температуре вспышки, щелочному и кислотному числу, содержанию механических примесей и нерастворимого осадка, содержанию воды, и цвету. Анализ проводился по ГОСТовским методикам в аттестованной лаборатории ФГБНУ ВНИИТиН.

Под микроскопом оценивался дисперсный состав загрязнений.

Как известно [68,80,88] отработанные масла содержат в своём составе механические примеси, воду продукты окисления, смолы,

Для целей получения дисперсионной среды аналогичной маслу, используемому при производстве товарных Солидолов Ж и Литол - 24, отработанное масло подвергалось очистке под действием разделяющих агентов.

В соответствии с теоретическим обоснованием выбора разделяющих агентов для рассмотрения процессов коагуляции загрязнений рассматривались агенты: карбамид, растворитель - изопропанол, моноэтаноламин и их композиции.

Отработанное минеральное масло М-10Г<sub>2</sub> (0,5 л) нагревалось до температуры 90 - 130 °С, далее в него вносился карбамид в процентном соотношении 0,5 – 2 % масс. Смесь перемешивалась в течение 5 - 10 минут. Часть (0,25 л) масла отстаивалась в лабораторном стакане, часть масла (0,25 л) помещалась в лабораторную центрифугу для удаления примесей. В процессе отстоя через каждые 60 минут проводился анализ капельной пробы масла под микроскопом на предмет оценки коагуляционных эффектов. Если эффективность являлась ослабленной, то дополнительно вносился изопропанол.

Очистка центрифугированием предусматривала рассмотрение вопросов необходимости ускорения процесса удаления скоагулировавших примесей в поле

центробежных сил с частотой вращения барабана центрифуги  $8000 \text{ мин}^{-1}$  и времени очистки 15 - 30 минут. Моделирование процессов очистки проводилось на лабораторной центрифуге СТР-50 (рис. 3.1 б).

После проведения операции отстаивания, очистки проводился физико-химический анализ проб масел на содержание нерастворимого осадка, щелочного числа, кислотного числа, температуры вспышки, содержания воды, вязкости по гостированным методикам: метод определения температуры вспышки ГОСТ 4333-48; метод определения щелочных и кислотных чисел потенциометрическим титрованием ГОСТ 11362-76; метод определения содержания нерастворимого осадка ГОСТ 6370-59; метод количественного определения содержания воды ГОСТ 2477-65; метод определения кинематической вязкости ГОСТ 33-66.

На рисунке 3.1 (а, б, в, г) показаны некоторые фрагменты лабораторного оборудования, используемого при проведении физико-химического анализа масел и оценки коагулирующей способности загрязнений масел под действием разделяющих агентов.

а) Определение щелочного и кислотного числа масла

б) Лабораторная центрифуга для моделирования процессов осаждения



в) Определение температуры вспышки

г) Определение дисперсного состава примесей в процессе коагуляции

Рисунок 3.1 – Фрагменты оборудование для проведения анализа масел и оценки действия разделяющих агентов

Как установлено в результате анализа состояния вопроса механические примеси и продукты окисления масел не должны находиться в дисперсионной среде для приготовления пластичных смазок [64,89].

В тех случаях, когда масло после отстаивания в своем составе содержало значительное количество примесей, технологический процесс изменялся. Карбамид вносился в размолотом состоянии при  $t_m = 130^\circ\text{C}$ . Далее рассматривался вариант дополнительного внесения изопропилового спирта в концентрации 0,5-2 % масс.

И если из отработанных минеральных моторных масел в процессе воздействия известными разделяющими агентами, возможно удалить смолы, асфальтены и др., то для очистки и удаления из отработанных синтетических масел смол и продуктов окисления известных простых и доступных коагулянтов не установлено, отсутствуют способы и технологические процессы очистки синтетических масел, позволяющие получать основу для пластичных смазок.

В соответствии с поставленной задачей проводились исследования по выбору разделяющего агента (РА) коагуляции примесей в синтетических отработанных моторных маслах.

В качестве разделяющих агентов, коагулянтов использовались вещества аминогрупп, спирты, и др.

Для определения эффективности очистки смеси синтетических масел загрязненное масло нагревалось до температуры 90...130 °С, затем в него вносился размолотый карбамид взятый в количестве 0,5 – 2 %, смесь перемешивалась в течение 5 – 10 мин., после чего в масляную смесь вводился изопропиловый спирт (0,5 - 2 % масс), далее смесь перемешивалась при одновременном подъеме температуры до 100...130 °С. Отстаивание смеси продолжалось в течение 2 часов. При этом через каждые 30 мин оценивались коагуляционные свойства вносимых веществ методом рассмотрения изменения дисперсного состава примесей под микроскопом на стекле. Рациональными характеристиками, подтверждающими адекватность выбора РА для укрупнения, принимались – концентрация, температура, время перемешивания и отстаивания.

Рассмотрение процессов укрупнения примесей под действием моноэтаноламина (МЭА) осуществлялось по следующей схеме. Масло нагревалось до температуры 80 - 120 °С и вносилось 0,5 - 2 % масс. МЭА. С целью снижения действия моюще-диспергирующей присадки в качестве активатора реакций вносился изопропанол в соотношении 0,5 - 1 % по массе. Смесь интенсивно перемешивалась и нагревалась до температуры 110 – 120 °С. Часть масла отстаивалась, а вторая половина подвергалась процессу центрифугирования. После завершения стадии очистки масло подвергалось физико-химическому анализу проб на содержание нерастворимого осадка, определению щелочного числа, кислотного числа, температуры вспышки, содержания воды, дисперсного состава примесей. На основании результатов исследований делался вывод об эффективности процесса коагуляции и возможности удаления примесей из масла под действием разделяющих агентов. Устанавливались наиболее эффективные.

### **3.2 Методика определения рациональных составов смазок и параметров процесса перемешивания дисперсионной среды с дисперсной фазой**

Как установлено в результате анализа состояния вопроса пластичная смазка состоит из дисперсионной среды, дисперсной фазы, присадок и наполнителей.

Для проведения исследования, в соответствии с принятой концепцией использования в качестве дисперсионной среды отработанных масел применялось очищенное отработанное моторное масло М-10Г<sub>2</sub> и очищенное отработанное синтетическое масло 5W-30.

В качестве базовых ориентиров для определения состава смазок приняты смазки Солидол Ж и Литол - 24 наиболее часто используемых в узлах трения сельскохозяйственных тракторов и комбайнов.

При приготовлении пластичной смазки Солидол Ж в качестве дисперсионной среды используются смеси нефтяных масел. В качестве дисперсной фа-

зы применяется гидратированное кальциевое мыло жирных кислот. В состав смазки Литол - 24 также входит смесь нефтяных масел, загущенных литиевым мылом. В смазку вводят антиокислительные, противокоррозионные, защитные и вязкостные присадки.

Марочный состав присадок, вносимых в смазки четко не регламентируется и у смазок, производимых по ТУ, он может отличаться от установленных ГОСТ.

Для наших условий приготовления пластичной смазки Солидол Ж в качестве дисперсной фазы использовали кубовые остатки синтетических жирных кислот (КОСЖК), гидроксид кальция. КОСЖК вносилось в очищенное отработанное масло М-10Г<sub>2</sub> в процентном соотношении 10, 20, 30 масс. Далее смесь нагревалась и перемешивалась ручным способом 15 минут. После чего в полученную суспензию вносится гидроксид кальция 20 - 25 % масс (5% кальция, 15% воды). Смесь нагревают до температуры 110 - 120 °С и постепенно охлаждают до температуры 50 - 60 °С, после чего гомогенизируют (перемешивая) с помощью специально разработанного лабораторного устройства рисунок 3.2.

а

б

Рисунок 3.2 – Лабораторное устройство для перемешивания составов и гомогенизации пластичных смазок

Полученные составы аналогов смазки Солидол Ж проверяют на значение температуры каплепадения, оцениваются его смазывающие, противоизносные свойства. По результатам анализа определяется рациональный компонентный состав смазки для проведения дальнейших исследований, времени перемешивания и температуры нагрева.

Аналог смазки Литол-24 получают следующим образом: 44,5 % 12оксистеориновой кислоты в присутствии 44,5 % воды плавят при температуре 90 после чего вносится водный раствор гидроксида лития и перемешивается в течение 10 - 15 мин. Полученное мыло сушится при температуре 100 °С в течение 50 часов.

В очищенное отработанное масло М-10Г<sub>2</sub> вносится литиевое мыло в соотношении 10, 15, 20, 25 % масс. Смесь нагревается до температуры 200 - 220 °С и перемешивается в течение 10 минут.

В полученную суспензию вносится противоизносная присадка ДФ-11 в процентном соотношении 1, 2, 3, 4 масс к объёму. Смесь нагревается до температуры 180 - 200 °С, остужается до температуры 50 - 60 °С и гомогенизируется на лабораторной установке рисунок 3,2. Далее смазка «созревала» в течение 3 часов.

На всех этапах проведения исследования по определению рационального состава смазки аналога Литол - 24 проводится анализ температуры каплепадения ГОСТ 6793-74, оценивается характер изменения противоизносных свойств. Полученные данные сравниваются с значениями, характерными для смазки Литол - 24 промышленного изготовления.

### **3.3 Методика электрохимической оценки противокоррозионных, свойств пластичных смазок**

Противокоррозионные, защитные свойства полученных экспериментальных образцов аналогов смазки Солидол Ж и Литол – 24 проводят в трехэлектродной электрохимической ячейке из стекла «Пирекс» с разделенным шлифом анодным и катодным пространствами (рисунок 3.3 а). При проведении исследования использовали электрохимический измерительный комплекс фирмы Solartron (Велико-

британия), состоящий из анализатора импеданса SI 1255 и потенциостата SI 1287 (рис. 3.3 б).

Рисунок 3.3 – Трехэлектродная электрохимическая ячейка из стекла «Пирекс» с разделенными анодным и катодным пространствами (а); Электрохимический измерительный комплекс фирмы Solartron (Великобритания)(б).

В качестве рабочих электродов в работе использовали углеродистую сталь Ст3 ( $S_{эл.} = 0,14 \text{ см}^2$ ), медь М-1 ( $S_{эл.} = 0,4 \text{ см}^2$ ), латунь Л-62 ( $S_{эл.} = 1 \text{ см}^2$ ), армированные в оправку из эпоксидной смолы ЭД-5 с отвердителем полиэтиленполиамин. Вспомогательный электрод - гладкая пластина, для сравнения - насыщенный водный хлоридсеребряный. Их пространства разделены шлифом. После погружения электроды выдерживали в растворе для установления квазистационарного потенциала (10 - 15 мин). Потенциалы пересчитывали по н.в.ш.(нормальной водородной шкале). Образцы полируют и обезжиривают последовательно ацетоном и спиртом. Поляризационные измерения проводят в 0,5 М растворе NaCl под пленкой исследуемой композиции фиксированной толщины сразу после погружения рабочего электрода в раствор.

Пересчет электрохимических данных в весовые единицы проводят посредством экстраполяции линейных тафелевых катодных и анодных участков на потенциал коррозии с последующей оценкой тока коррозии. Используют уравнение:

$$K = \gamma i_{кор} \quad (3.1)$$

где  $i_{\text{кор}}$  – ток коррозии, А/м ;  $\gamma$  – электрохимический эквивалент железа с учетом его перехода в раствор (окисление) в виде  $\text{Fe}^{2+}$  (1,04 г/А-час);  $K$ – скорость коррозии, г/м<sup>2</sup>час.

Защитную эффективность смазок рассчитывают по формуле:

$$Z = \frac{k_0 - k}{k_0} \cdot 100\% \quad (3.2)$$

где  $k_0$  и  $k$  - скорости коррозии металла в отсутствии и при наличии пластичной смазки, соответственно.

На основании полученных данных делается заключение о защитных, антикоррозионных свойствах разрабатываемых составов пластичных смазок.

### **3.4 Определения адгезионной способности пластичных смазок**

Адгезия (липкость) одна из важнейших характеристик пластичных смазок определяющая их эксплуатационные свойства. Физический смысл адгезии характеризуется силой необходимой для разделения поверхностей.

Для пластичных смазок, работающих в узлах трения при температурах не выше 80 °С и незначительных нагрузках характерно сохранение формы. Смазки не выбрасываются центробежными силами из узла трения, не сползают с наклонных поверхностей, например подшипников. При повышении температуры и нагрузки смазка начинает изменять свои свойства и в этот момент очень важна сила межмолекулярного взаимодействия и силы химической связи смазки, когда адгезия в определенной степени может переходить в когезию [90,91,92,93].

Для проведения исследований по оценке эксплуатационных свойств разрабатываемых составов пластичных смазок не ставятся сложные задачи из области физической химии. В данном случае ограничивались сравнительным анализом образцов смазок проводимом на измерителе адгезии ПСО-МГ4 (рисунок 3.4 ) [92]

Рисунок 3.4 – Устройство для определения сил адгезии пластичных смазок

Устройство ПСО-МГ4 состоит из: опорной плиты на которой закреплен корпус силового возбуждателя к которому установлен электронный датчик. Внутри корпуса силового возбуждателя установлен винт силового возбуждателя с рукояткой нагружения. На винту силового возбуждателя установлен шток с вилочным захватом, на который крепится шаровой хвостовик пластины. Опорная плита установлена на 3-х опорах.

Сравнительному анализу подвергаются товарные смазки Литол-24, Солидол Ж и образцы составов экспериментальных смазок на синтетической и минеральной основе.

Испытания проводились в следующем порядке. Силовой возбуждатель приводили в исходное положение. После чего включали питание прибора и проводили настройку (рисунок 3.5).

### Рисунок 3.5 – Дисплей прибора для снятия измеряемых показателей

Нажимая на кнопку ввод, на дисплее высвечивается окно для выбора размера круга или пластины, приклеиваемых на образцы. Далее выбираем требуемое измерение, затем выбираем требуемое значение из ряда предложенных фиксируя его кнопкой ввод.

После чего испытуемый образец пластичной смазки наносится специальным шпателем на пластину, слоем 1 и 2 мм. Далее пластину с хвостовиком устанавливают в вилочный захват прибора. Прибор устанавливают на образец, совмещая оси вилочного захвата и пластины, производится нагружение испытуемого образца до критического усилия отрыва пластины. Скорость нагружения следует поддерживать в пределах от 30 до 80 Н/с. При этом прибор фиксирует значение силы, при котором произошел отрыв пластины. Нажимая на кнопку ввод, прибор автоматически вычисляет значение прочности сцепления и выводит его на дисплей прибора [90].

После каждого измерения пластина очищается. Оценка значения адгезии каждого образца смазки проводится с четырехкратной повторностью, после чего определяется их среднеарифметическое значение [91].

Полученные данные по образцам экспериментальных составов смазок сравниваются со значениями определенными на товарных смазках Литол-24 и Солидол Ж по ГОСТ 21150-87 и делается вывод об адгезионной способности экспериментальных образцов пластичных смазок.

### 3.5 Методика определения прочностных характеристик пластичных смазок

Одним из немаловажных показателей эффективности работы пластичной смазки является предел прочности, который показывает границы перехода смазки от состояния покоя к пластичному течению при приложении напряжения. Предел прочности на сдвиг характеризует эксплуатационные и физико-химические свойства смазки.

Экспериментальное исследование образцов пластичных смазок на прочность проводилось на устройстве (рисунок 3.6) кафедры «Управления качеством и сертификаций» Тамбовского государственного технического университета (рисунок 3.6).



Рисунок 3.6 – Установка для определения прочностных, сдвиговых характеристик смазок

Конструкция измерительной установки основана на использовании двух коаксиальных цилиндров. В зазоре между цилиндрами расположен исследуемый материал в жидкой фазе. При этом наружный цилиндр вращается, а тепловой поток направлен от внутреннего цилиндра к внешнему.

Вращение внешнего цилиндра обеспечивает двигатель управляемый программным обеспечением компьютера. Температура в слое исследуемого образца определяется при помощи термопреобразователей сопротивления поступающего

на аналоговые входы платы. Касательное напряжение в слое исследуемой смазки определяется по сигналу тензометрического датчика, который через преобразователь подается на плату ПК. Установка позволяет определять зависимость теплопроводности, коэффициента температуропроводности, а также зависимость касательного напряжения в слое смазки от скорости сдвига. Обработка данных проводится персональным компьютером в соответствии с алгоритмом программы.

На каждой стадии эксперимента в измерительном устройстве устанавливается температурное поле в соответствии с выбранными начальными условиями. Если в процессе теплофизических экспериментов, проводимых при различных скоростях сдвига, к смазке подводить тепловое воздействие со стороны основного нагревателя, то на основании температурного отклика в сечении внутреннего цилиндра с известными координатами можно косвенно судить о теплоемкости, теплопроводности и температуропроводности исследуемой смазки.

После проведения исследования по оценке прочностных характеристик образцов пластичных смазок проводится сравнительный анализ и делается предварительный вывод об эффективности работы смазки в узлах трения.

### **3.6 Определение теплоёмкости пластичных смазок методом монотонного разогрева**

Теплоемкость - это способность смазки получать, принимать и накапливать тепло в каком-то количестве при нагревании смазочного материала. При этом теплоемкость определяет способность пластичной смазки не только принять тепло, но и удержать его.

Методика опирается на рекомендации ГОСТ 23630.1-79. Сущность предлагаемого метода состоит в измерении теплового потока, поглощаемого образцом в процессе монотонного режима нагрева динамического калориметра, характеризующегося временем запаздывания температуры на тепломере с известной эффективной тепловой проводимостью.

Измерения производятся на приборе ИТ-с-400 представленного на рис. 3.7.

Рисунок 3.7 – Измеритель теплоёмкости ИТ-с-400

Прибор состоит из измерительного блока питания соединенного с компьютером. На приборе обеспечивается монотонный режим нагрева со средней скоростью  $0,1 \text{ }^\circ\text{C}/\text{с}$  и автоматическое регулирование температуры адиабатной оболочки. Измерение (испытание) проводят в интервале температур от  $-100$  до  $+400 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Испытания проводились в следующей последовательности. Испытуемый образец смазки помещается в специальную медную ампулу с крышкой, параметрами диаметром 15 мм, высотой 10 мм с прорезью 0,5 мм для компенсации температурного расширения. Система автоматического регулирования САР поддерживает нулевую разность между температурой колпака (измеряемой термопарой) и температурой стакана (измеряемой термопарой) путем изменения электрической мощности, подводимой к нагревателю, равномерно распределенному по боковой поверхности колпака. После чего ампулу помещают в специальный стакан (тепломер) встроенный в адиабатическую оболочку измерительного блока. К тепломеру с нижней и верхней поверхностями в адиабатической оболочке встроен термоэлектрический преобразователь. Через тепломер поступает тепловой поток, создаваемый измерительным блоком, и фиксируемый нормирующим преобразователем. Полученный сигнал поступает в обрабатывающий центр ПК на виртуальную программу управления прибором.

Работа с программным обеспечением производится в следующей последовательности. После запуска виртуальной программы контроля блока измерителя заполняется паспорт образца смазки (материал, масса образца, выходные данные) и нажимается кнопка Cancel. Появляется диалоговое окно управлением эксперимента рисунок 3.8.

Рисунок 3.8 – Панель управления регистрации эксперимента

Отображают термограмму нижней и верхней поверхности тепломера, на нижней отображается температура разогрева.

В левой верхней области панели управления расположены элементы индикации параметров эксперимента: индикатор текущего времени эксперимента, индикатор названия исследуемой смазки, индикаторы выходных сигналов регуляторов, индикатор разности температур исследуемого образца и адиабатической оболочки (колпака).

Индикатор примерного значения удельной теплоемкости исследуемого образца, вычисляется по формуле:

$$c = \frac{k_T(T)}{m} \left( \frac{\Delta T(T)}{\frac{dT(\tau)}{d\tau}} - \tau_T^n(T) \right) \quad (3.3)$$

где  $m$  - масса образца гр,  $\Delta T$  - перепад температур на тепломере,  $dT/d\tau$  - скорость изменения температуры на верхней поверхности тепломера.

После проведения исследования по оценке теплоёмкости эксперимен-

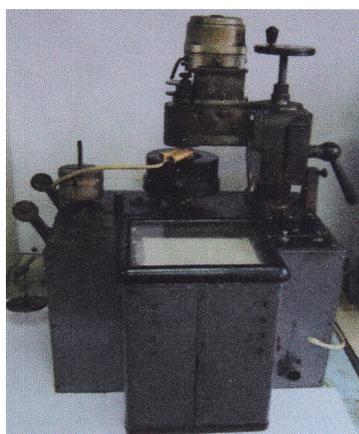
тальных образцов пластичных смазок проводится сравнительный анализ с результатами, полученными на образцах товарных смазок Литол-24 и Солидол Ж и делается предварительный вывод об эффективности работы смазки в узлах трения. Так же проводилась оценка окислительных процессов в смазках под действием температур посредством определения изменения кислотного числа смазки.

### **3.7 Оценка противоизносных свойств пластичных смазок на четырехшариковой машине трения**

Смазывающая способность смазок и оценка их противоизносных свойств, проводится на четырех шариковой машине трения типа КТ-2 (рисунок 3.9 а).

Для оценки смазывающих противоизносных свойств используются пробы смазок Солидол Ж, Литол-24, и экспериментальные смазки приготовленные на базе очищенных отработанных моторных масел.

В обойму с шариками, рисунок 3.9 (б), закладывается образец смазки. Обойма устанавливается в ванну машины трения. Создается нагрузка 150 Н между шариками, на шпинделе двигателя и неподвижным в обойме. Температуру обоймы с шариками заполненную смазкой повышают (путем включения нагрева ванны) до 100 °С и включают в работу двигатель ( $n=9 \text{ мин}^{-1}$ ).



а



б

Рисунок 3.9 – Определение противоизносных свойств пластичных смазок на машине трения

Время работы машины трения с образцом смазки составляет 3 часа.

После завершения работы ЧШМТ обойма освобождается, промывается в дизельном топливе и сушится.

Далее обойма с шариками устанавливается на стойку микроскопа Биолан 70 и определяется диаметр пятна износа по линейке на окуляре микроскопа.

По результатам исследований делается сравнительный анализ пятен износа на товарных пластичных смазках и смазках полученных в результате экспериментальных исследований.

### **3.8 Методика стендовых испытаний пластичных смазок в подшипниках качения**

Разработанные составы пластичных смазок полученных на базе очищенных отработанных масел проходили испытания в узлах трения моделирующих работу конических подшипников качения.

Общий вид стенда моделирующего работу подшипника качения представлен на рисунке 3.10

Рисунок 3.10 – Общий вид стенда моделирующего работу узла трения

Моделирования проводились в режиме сравнения. Для этих целей готовились смазки на базе очищенных отработанных моторных масел на минеральной основе М-10Г<sub>2</sub> и смазки на базе очищенных отработанных моторных масел на синтетической основе.

На первом этапе испытаниям подвергались смазки Солидол Ж и Литол - 24 (ГОСТ 21150-87). Для проведения испытаний использовались конические подшипники № 7203А без следов износа и повреждений не имевшие наработки в реальном узле трения.

Количество закладываемой смазки в подшипник определялось предварительным взвешиванием на весах ВЖ - 500 и для каждого испытания являлся одинаково равным 4 гр.

Подшипник перед началом испытаний промывался, сушился и взвешивался. Далее проводился визуальный анализ поверхностей трения и микротосъёмка выделенных участков. В подшипники закладывалась порция смазки и далее устанавливались на валу (рисунок 3.11).

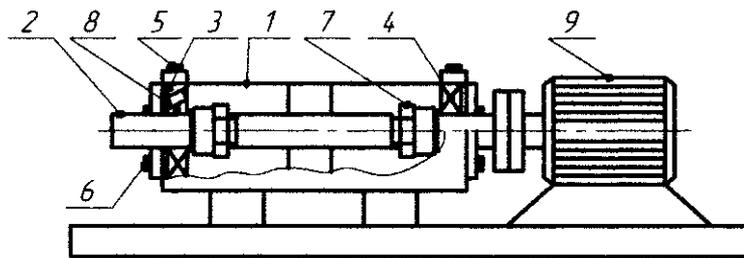


Рисунок 3.11 – Схема испытательного стенда моделирующего работу узла трения

Стенд рисунок 3.11 состоит из ванны - корпуса 1 разделенного на две части (а, б). В ванной - корпуса установлен вал 2 на который помещаются два конических подшипника 3, 4. Наружная часть подшипника (неподвижна) 5 фиксируется болтами 6. Нагрузка на подшипники создается за счет усилия затяжки гайки 7 прижимающей внутреннюю вращающуюся часть 8 подшипника к обойме. Нагрузка создается и контролируется посредством использования динамометрического ключа.

При проведении испытаний контролируются следующие параметры: температура обойм подшипника; износ поверхностей наружной обоймы (под микроскопом); потеря по массе смазки подшипников (до и после испытания); содержание железа в смазке (по ГОСТовской методике определения железа в масле).

По результатам испытаний смазок, сравниваются между собой товарные и экспериментальные образцы смазок и делают вывод об их эксплуатационных свойствах.

### **3.9 Методика проведения производственных испытаний экспериментальных образцов смазок в узлах трения сельскохозяйственной техники**

Производственные испытания образцов пластичных смазок проводим в узлах трений жатки ПН – 35 агрегируемой с трактором МТЗ-82.1 и Комбайна Дон 680 М эксплуатируемых в период с июля по август месяц в ПЗ колхоз имени Ленина Тамбовского района Тамбовской области.

Испытания проводятся в сравнительном режиме товарных и экспериментальных смазок.

Перед началом испытания готовились экспериментальные образцы смазок аналогов Солидол Ж и Литол – 24 на базе отработанных масел.

Смазываемые узлы разбираются, очищаются от загрязнений, следов используемой ранее смазки, оценивается состояние работающего подшипника.

На рисунке 3.12 представлены фрагменты заправки смазки в узлы трения.



Опорный подшипник мотовилы жатки ПН-35



Ускоритель выгрузки комбайна Дон 680М

Рисунок 3.12 - Узлы смазки жатки ПН-35 и комбайна Дон 680 М

Заправка экспериментальной смазки производится в опорные подшипники мотовила жатки ПН – 35 с одной стороны а с другой стороны товарный Солидол Ж.

Испытания экспериментальной смазки Литол – 24 проводятся в узлах комбайна Дон 680 М:

- ведомый привод левого торсиона жатки;
- правый подшипник привода жатки;
- привод барабана жатки;
- подшипник режущего механизма;
- ускоритель выгрузки;
- привод жатки (ведомый шкив питающего аппарата).

В ходе испытаний контролируется: температура нагрева узлов трения прибором «инфракрасный пирометр Питон 106»; содержание железа в смазке в начале и конце смены по ГОСТ 6793-74, температура каплепадения смазки до ее внесения и в конце 8 часов работы; содержание примесей (под микроскопом) в конце смены.

После завершения смены (8 часов) из узлов отбирается проба смазки для проведения анализа на содержание железа, загрязненности (иных примесей – под микроскопом) и температуры каплепадения в условиях химической лаборатории ФГБНУ ВНИИТиН.

В целом по результатам всех проведенных исследований и испытаний смазок делают вывод об их эксплуатационных свойствах, рассчитывается и изготавливается экспериментальное оборудование для приготовления смазок.

## 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 4.1 Результаты исследований по оценке эффективности действия разделяющих агентов в отработанном масле и разработке способов их очистки от примесей для получения дисперсионной среды смазок

В соответствии с задачами исследования, для получения дисперсионной среды рассматривались два вида отработанных моторных масел: на минеральной основе М-10Г<sub>2</sub> и на синтетической основе SAE 5W30, слитые из двигателя тракторов [8,94,95].

Результаты анализа характеристик исходных масел для их очистки и последующего использования в качестве дисперсионной среды представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Характеристики отработанных масел

№ п/п	Физико-химические характеристики	Отработанное моторное масло М-10Г <sub>2</sub>	Отработанное моторное масло SAE 5W30
1	Вязкость кинематическая при 100 °С, мм <sup>2</sup> /с,	9,8	10,2
2	Температура вспышки, °С	198	205
3	Щелочное число, мгКОН/г	2,8	3,4
4	Кислотное число, мгКОН/г	1,95	2,15
5	Содержание мех. примесей, %	1,0	0,85
6	Содержание нерастворимого осадка, %	0,9	0,98

Анализируя данные таблицы 4.1, следует отметить, что отработанные масла имеют удовлетворительные вязкостные характеристики для их использования в качестве дисперсионной среды. Щелочное число 2,8 и 3,4 мгКОН/г свидетельствует о высоком остаточном содержании присадок. Высокое содержание загрязнений не позволяют рассматривать данные масла без их очистки в качестве дисперсионной среды для получения пластичных смазок [96,97,98].

На основании теоретических исследований и в соответствии с методикой 3.1 рассматривалась эффективность коагуляции и удаления примесей и загрязнений из отработанных моторных масел в поле гравитационных и центробежных

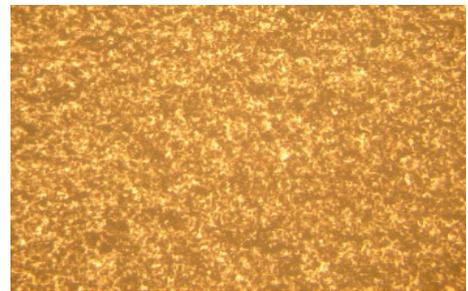
сил под действием разделяющих агентов. На первом этапе исследований в качестве коагулянтов использовался карбамид.

Для рассмотрения механизма действий и подтверждения обоснованности выбора РА для удаления примесей из масел в минеральное отработанное масло вносился водный раствор карбамида в количестве 0,1 – 2 %. Смесь нагревалась до температуры 90 ... 130 °С, отстаивалась в течение 120 минут, или проводилось ее центрифугирование в лабораторной центрифуге [99,100,101].

В результате исследований установлено, что внесение в отработанное масло водного раствора карбамида позволяет укрупнять смолы, асфальтены рисунок 4.1.



а) исходное отработанное масло М-10Г<sub>2</sub>



б) масло после внесения водного раствора карбамида

Рисунок 4.1 – Микрофотография проб масел

На рисунке 4.2, 4.3 представлены результаты исследований по рассмотрению процесса укрупнения мелкодиспергированных примесей <1 мкм, ( $D_s$ ) смол внесением водного раствора карбамида в зависимости от концентрации  $K$ , температуры нагрева  $t_H$  смеси, времени отстаивания  $t_0$  и центрифугирования  $t_{ц}$ .

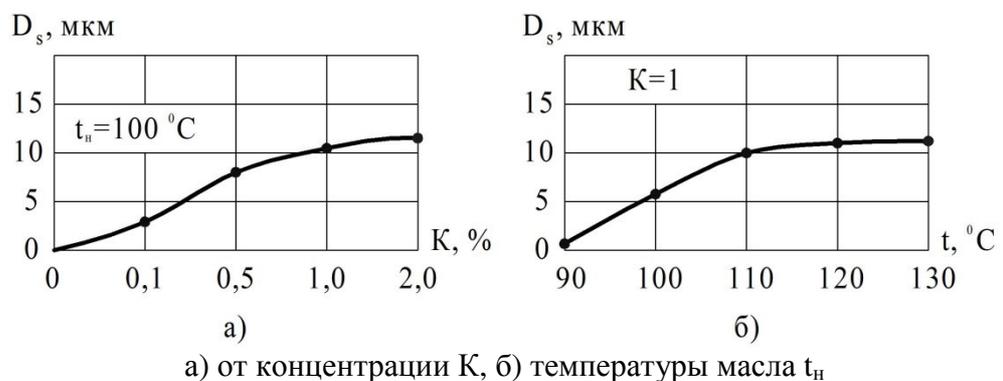


Рисунок 4.2 – Зависимости изменения дисперсного  $D$  состава загрязнений от концентрации коагулянта и температуры масла

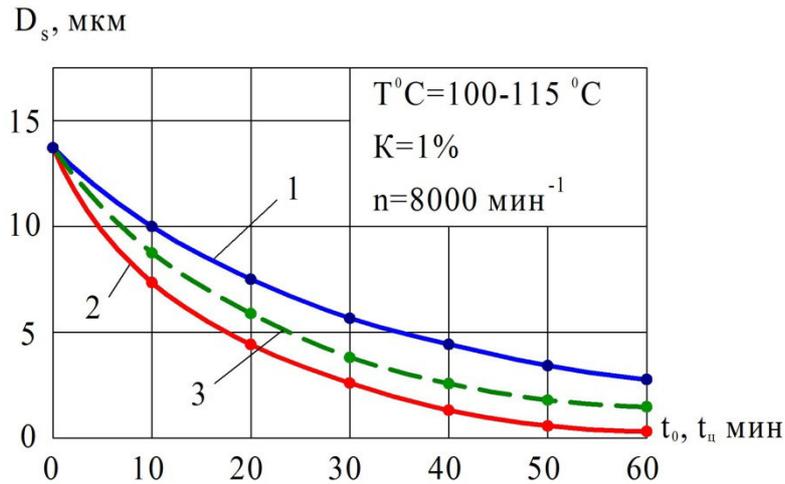


Рисунок 4.3 – Зависимости изменения дисперсного D состава загрязнений от времени отстоя  $T_0$ (1) и времени центрифугирования  $T_{ц}$ (2) при частоте вращения  $n=8000 \text{ мин}^{-1}$

Частота вращения барабана центрифуги  $n=8000 \text{ мин}^{-1}$  не варьировалась, а принималась постоянной т. к. в ранее известных разработках [68] это значение обосновывалось как оптимальное.

Рассматривая полученные зависимости (рисунок 4.2) следует отметить, что оптимальной концентрацией внесения карбамида в масло для коагуляции загрязнений является 0,5-1 %. Температурный диапазон составляет 110–120°С. А время отстаивания масла для выпадения в осадок примесей превышает 60 мин. Увеличение времени очистки, судя по динамике изменения, является нерациональной.

Установлено, что центрифугирование масла позволяет ускорить процесс удаления примесей (линия 2, рисунок.4.3) однако это может значительно увеличивать затраты на реализацию [99].

Физико-химический анализ масел после их отстоя и центрифугирования (таблица 4.2) указывает в первом приближении на положительную динамику и высокую эффективность удаления примесей под действием водного раствора карбамида.

Таблица 4.2 – Показатели эффективности очистки отработанного масла от примесей

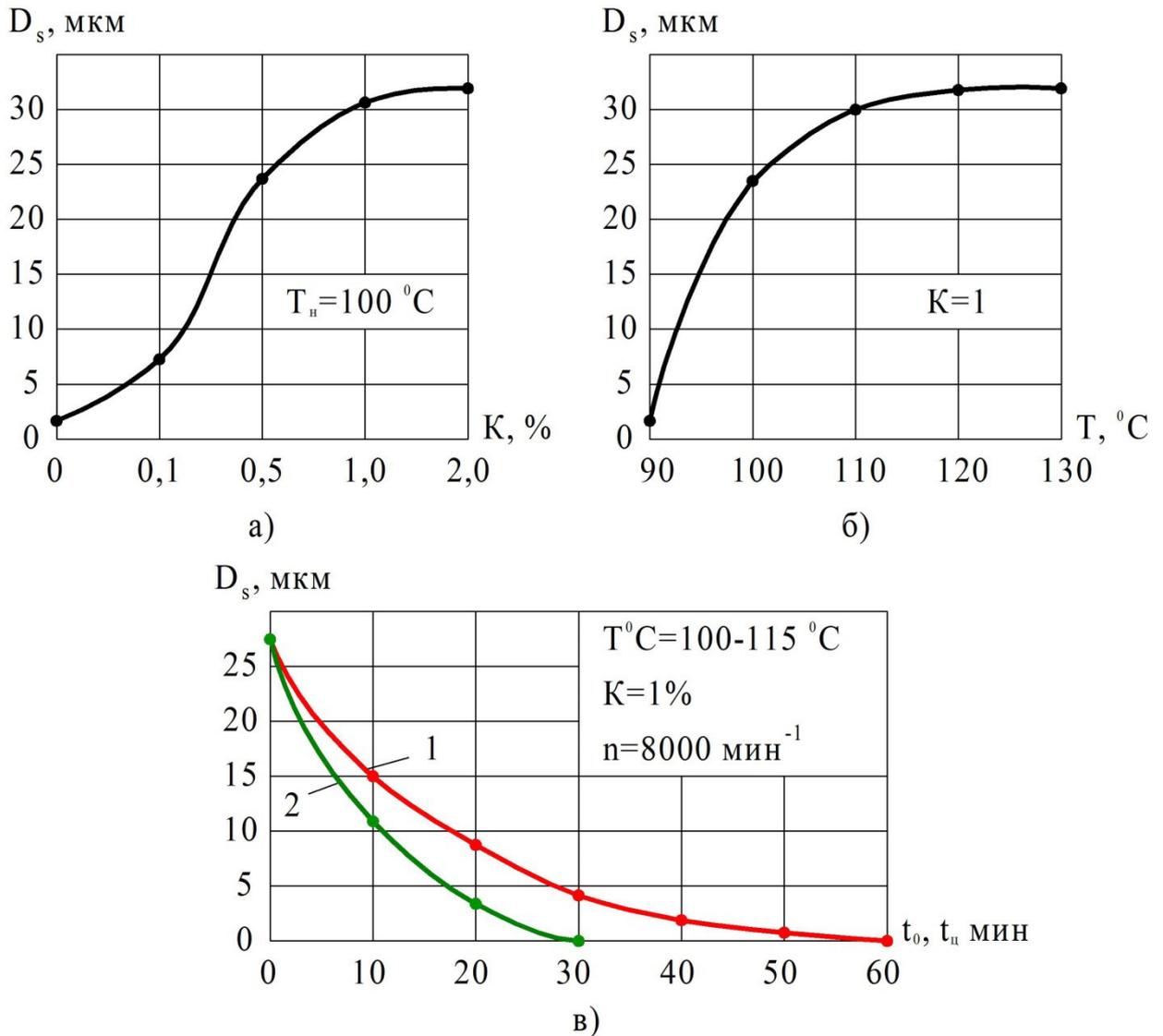
№ п/п	Физико-химические характеристики	Отработанное масло М-10Г <sub>2</sub>	Масло после очистки, отстаивания	Масло после очистки, центрифугирования
1	Вязкость кинематическая при 100 °С, мм <sup>2</sup> /с,	9,8	9,7	9,7
2	Температура вспышки, °С	198	199	200
3	Щелочное число, мгКОН/г	2,8	2,7	2,6
4	Кислотное число, мгКОН/г	1,95	1,2	0,9
5	Содержание мех. примесей, %	1,0	отс.	отс.
6	Содержание нерастворимого осадка, %	0,9	0,25	0,10
7	Цвет, баллы ед ЦНТ	9	7	6,5

Оценивая характеристики получения масла в качестве дисперсионной среды смазок следует отметить, что остаточное содержание смол (нерастворимого осадка) может в последующем при приготовлении смазок вызвать отрицательные эффекты такие например как окисление, полимеризацию, свертывание, разрыхление, изменение структуры и т.д.

Проведенные расчеты скорости осаждения (выражение 2.12) и время (2.13) показали, что теоретическая зависимость (линия 3 (рис. 4.3)) коррелируется с результатами экспериментальных исследований.

Для исключения отрицательных эффектов и приближения характеристик масел к требованиям базовых масел, используемых в качестве дисперсионной среды, рассматривалась возможность активизации коагуляционных процессов добавлением изопропилового спирта. Данная мера может позволить снизить, на время нейтрализовать, растворить моюще-диспергирующие присадки, которые и снижают коагуляционные процессы (в соответствии с принятыми теоретическими постулатами). Масло нагревалась до температуры 90...95 °С и в него вводилось 0,5...2 % карбамида в пересчете на сухое вещество и 0,5 – 2% изопропилового спирта. Далее температура поднималась до 130°С [99].

На рисунке 4.4 представлены результаты исследования по оценке дисперсного состава примесей  $D_s$  в отработанном моторном масле.



а) от концентрации  $K$ , б) температуры масла  $t_H$ ,

в) от времени (осаждения, центрифугирования  $T_0, T_c$ )

Рисунок 4.4 – Зависимости изменения дисперсного  $D_s$  состава загрязнений от концентрации вносимого коагулянта, температуры нагрева масла, времени отстоя  $T_0$ (1), времени центрифугирования  $T_c$ (2)

В результате анализа полученных данных установлено, что рациональной концентрацией смеси изопропилового спирта и карбамида является 1% по объёму в соотношении 1:1. Результаты анализа физико-химических показателей масла после очистки представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Показатели очистки отработанного масла

№ п/п	Физико-химические характеристики	Отработанное масло М-10Г <sub>2</sub>	Масло после очистки, отстаивания	Масло после очистки, центрифугирования
1	Вязкость кинематическая при 100 °С, мм <sup>2</sup> /с,	9,8	9,7	9,7
2	Температура вспышки, °С	198	199	195
3	Щелочное число, мгКОН/г	2,8	2,5	2,4
4	Кислотное число, мгКОН/г	1,95	1,2	0,8
5	Содержание мех. примесей, %	1,0	отс.	отс.
6	Содержание нерастворимого осадка, %	0,9	0,05	0,01
7	Цвет, баллы ед ЦНТ	9	6	5,5

Данные таблицы 4.3 подтверждают повышение эффективности очистки ОММ от примесей за счет дополнительного внесения и использования в качестве интенсификации процесса коагуляции изопропиловый спирт.

Подставляя полученные в ходе экспериментальных исследований данные в теоретически установленную зависимость (2.12 и 2.15) скорости осаждения частиц от их диаметра и времени очистки от высоты столба масла и скорости осаждения, установлена высокая сходимость теоретических и экспериментальных данных (рисунок 4.5 а.б.).

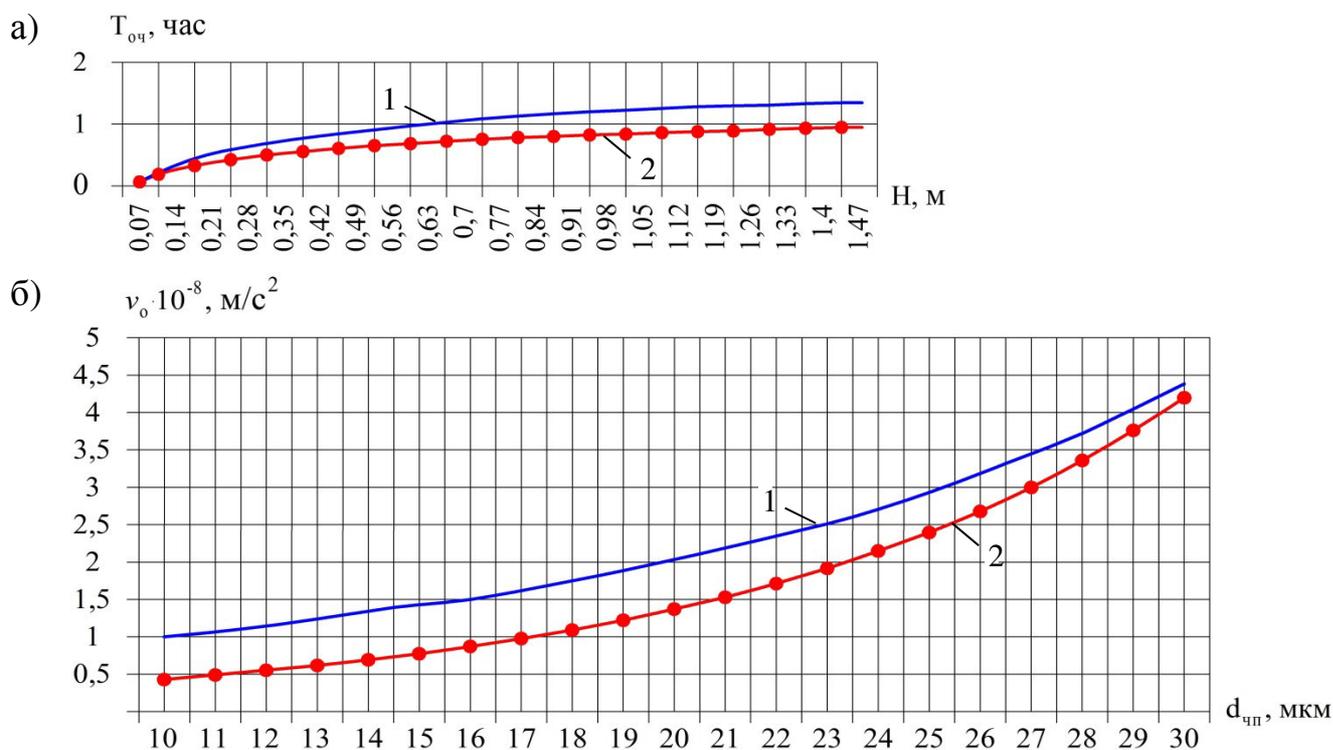


Рисунок 4.5 – Определение сходимости и результатов теоретических и экспериментальных исследований по оценке скорости и времени осаждения примесей

Рассматривая полученные данные рисунка 4.5 определена сходимость теоретических расчетов (линия 1) и экспериментальных (линия 2), что позволяет утверждать эффективность зависимостей 2.12 и 2.15.

На основании полученных результатов разработан новый способ очистки отработанных масел (патент № 2554357), а судя по полученным результатам физико-химического анализа образцов очищенных масел они могут выступать в качестве дисперсионной среды смазок, исключая ранее имеющие место противоречия.

Аналогично проведены исследования по очистке синтетического отработанного моторного масла смесью карбамида и изопропилового спирта. Результаты изменения значений содержания нерастворимого осадка в маслах в зависимости от времени отстаивания представлены в таблице 4.4 [99].

Таблица 4.4 – Изменения содержания нерастворимого осадка в масле в процессе его отстаивания под действием коагулянтов.

Показатель масла	Синтетическое ОММ					
	Время отстаивания					
	0	10	30	60	90	120
Содержание нерастворимого осадка, %	0,98	0,73	0,58	0,36	0,29	0,29

Из представленных в таблице 4.4 данных видно, что содержание нерастворимого осадка в синтетическом отработанном масле, очищенном с использованием смеси карбамида и изопропилового спирта становится меньше, однако его значения достаточно велико, что подтверждает целесообразность и необходимость использования другого разделяющего агента для коагуляции примесей в отработанных синтетических маслах.

На основании теоретического анализа и лабораторных пробных исследований в качестве разделяющего агента принят моноэтаноламин (МЭА).

Моноэтаноламин представляет собой бесцветную вязкую гигроскопичную жидкость со специфическим аммиачным запахом, неограниченно смешивается с водой, хорошо растворим в этаноле, бензоле, хлороформе, плохо в предельных углеводородах, обладает сильными щелочными свойствами.

Для оценки эффективности работы МЭА в отработанном синтетическом моторном масле, масло предварительно нагревалось от 80 до 120 °С МЭА вносились в концентрации 0,5...2 % .

На рисунке 4.6 – 4.7 показан характер процесса коагуляции примесей в зависимости от концентрации внесения МЭА и температуры нагрева.

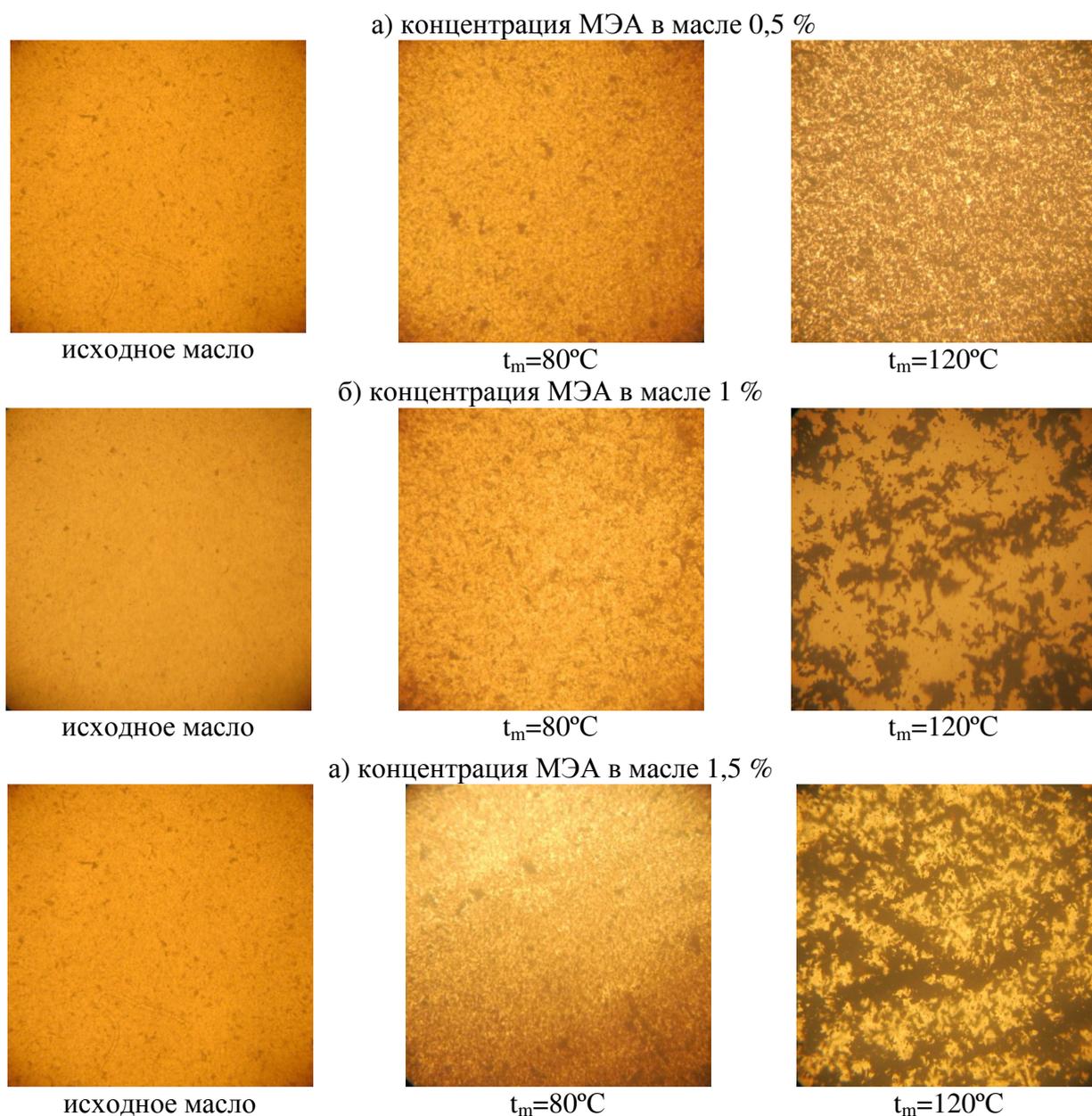


Рисунок 4.6 – Характер процесса коагуляции примесей в масле в зависимости от концентрации внесения МЭА при различной температуре масла  $t_m$

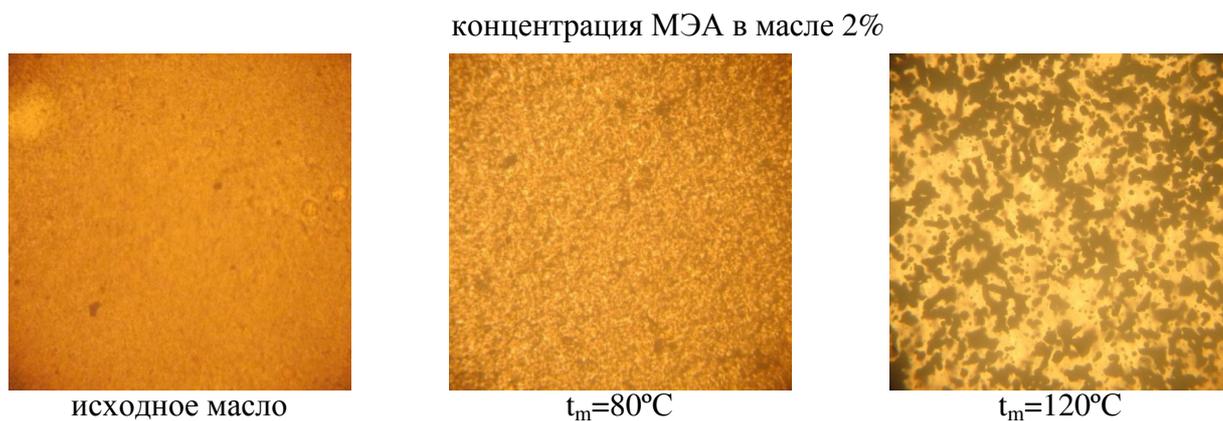


Рисунок 4.7 – Характер процесса коагуляции примесей в масле в зависимости от концентрации внесения МЭА при различной температуре масла  $t_m$

Как известно, синтетические масла обладают лучшими моюще-диспергирующими свойствами, чем минеральные. Отработанные синтетические моторные масла практически не подвержены отстаиванию за счет остаточного действия диспергирующих присадок. Отстаивание масла в течение 180 мин. после внесения в него МЭА показало, что только к 150-180 мин. отстоя наблюдается значительное снижение содержания количества примесей (рисунок 4.8).

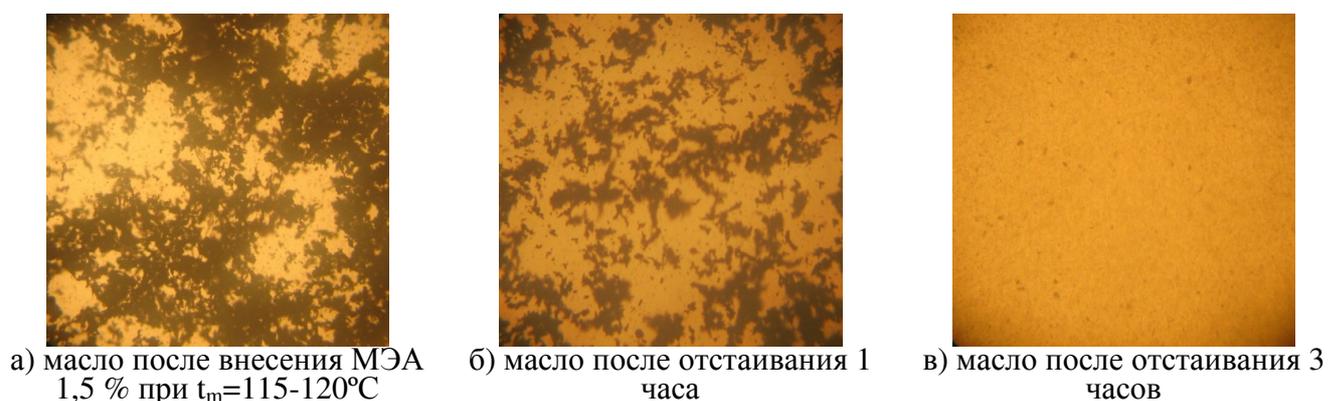
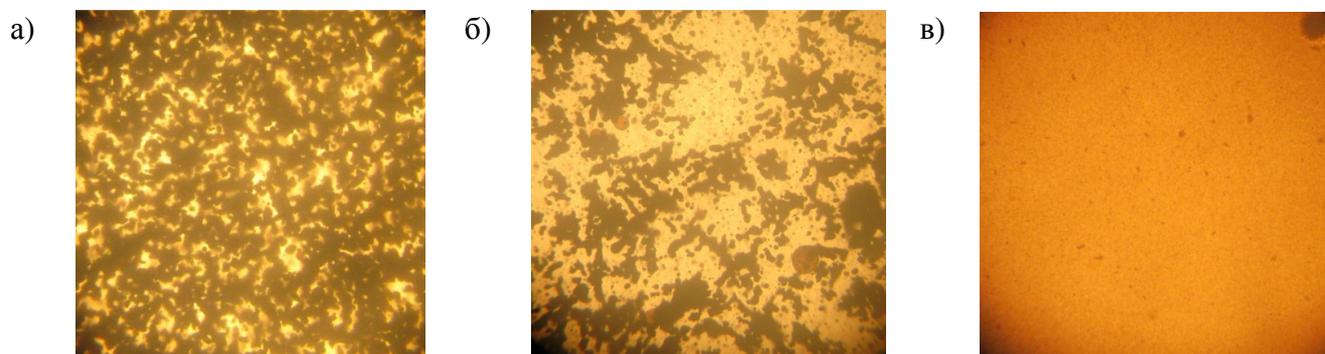


Рисунок 4.8 – Характер процесса отстаивания скоагулировавшихся примесей в масле

Для активации процесса отстаивания и временной нейтрализации действия моюще-диспергирующих присадок в масло после внесения МЭА добавлялся изопропиловый спирт в концентрации 0,5-1% масс.

Установлено, что при внесении 1 % спирта и нагрева смеси до  $t=100\text{ }^{\circ}\text{C}$  наблюдается резкое снижение времени отстаивания загрязнений в масле (рисунок 4.9).



а) при внесении изопропилового спирта 1%; б) отстаивание 0,5 часа;  
в) отстаивание 1 час

Рисунок 4.9 – Характер изменение количества примесей в масле  
в процессе отстаивания

Таким образом, дополнительная обработка масла позволяет снизить время отстаивания масла в 3 раза.

На протяжении всего периода проведения экспериментальных исследований оценивалось изменение содержания нерастворимого осадка в очищенном масле.

На рисунке 4.10 представлены зависимости изменения содержания нерастворимых примесей в масле от концентрации внесения МЭА в смеси с изопропиловым спиртом, увеличения температуры нагрева и последующего отстаивания в течение 60 мин.

Обобщая результаты исследований установлено, что рациональной концентрацией внесения смеси является 1,5 %. Оптимальной температурой нагрева масла для эффективности коагуляции и выпадения примесей в осадок является диапазон 100-110  $^{\circ}\text{C}$ .

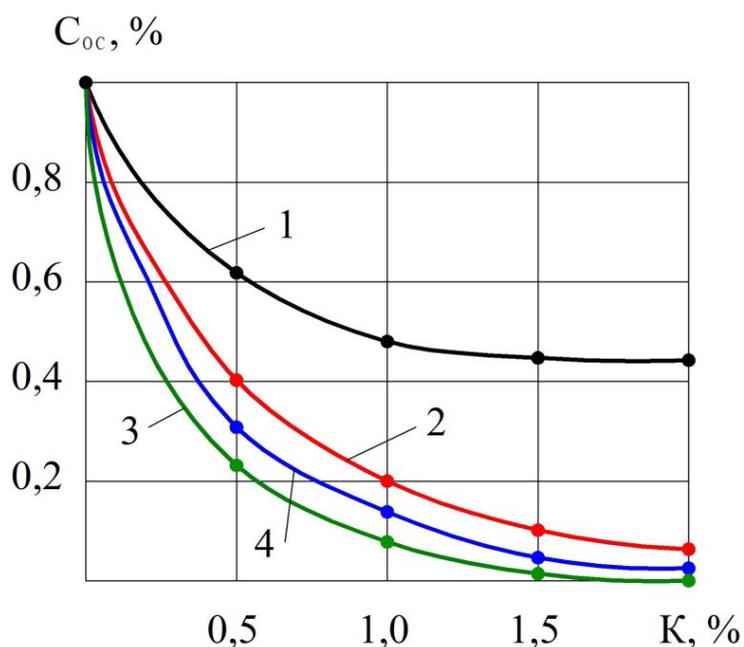


Рисунок 4.10 – Зависимость изменения содержания нерастворимого осадка в масле от концентрации внесения коагулянтов при различной температуре 1-80 °С, 2-90 °С, 3- 100°С, 4-110 °С

В результате исследования по оценке эффективности действия разделяющего агента для получения дисперсионной среды из отработанных моторных масел установлено, что синтетические отработанные масла после удаления из них загрязнений могут рассматриваться в качестве дисперсионной среды.

На основании результатов исследований получен патент №2556221 на способ регенерации отработанных синтетических моторных масел.

Полученные данные корреспондируются с результатами теоретического обоснования выбора разделяющих агентов. А полученные патенты на способы очистки отработанных масел (Приложение 1-2) подтверждают новизну решения и эффективность их действия, как на стадии укрупнения примесей, так и в процессе удаления скоагулировавших загрязнений. В целом можно утверждать, что очищенные масла по основным характеристикам соответствуют требованиям, предъявляемым к дисперсионной среде смазок.

## 4.2 Определение рациональных составов пластичных смазок и моделирование процессов приготовления

В результате проведенных исследований получена дисперсионная среда смазок, представляющая собой очищенные отработанные моторные масла на минеральной и синтетической основе [96,102].

В отличие от промышленно используемых дисперсионных сред очищенные отработанные масла содержат в своем составе до 30 % несработавших антиокислительных, противоизносных, антикоррозионных присадок, что является положительным фактом [103,104,105,106].

Однако отработанные очищенные моторные масла содержат некоторое количество продуктов окисления по сравнению с базовыми, товарными маслами, повышающие кислотное число смазок и ограничивающие их эксплуатационные характеристики, что является отрицательным фактором.

Как известно из литературных источников, температурные характеристики смазок определяются составом и видом загустителей или дисперсной фазы [102,107].

Состав дисперсной фазы влияет на механическую и коллоидную стабильность смазок, защитные, антикоррозионные свойства смазок [108,109,110].

Загустители при всем при этом должны хорошо растворяться в дисперсионной среде. Элементы смеси дисперсионной среды и дисперсной фазы должны быть «восприимчивы» друг к другу, не вызывать химических реакций, меняющих физическую сущность, кроме той, которая необходима для получения искомым результатов.

К таким загустителям относятся в основном мыла. В смазке Солидол Ж чаще всего в качестве загустителя используют кальциевые мыла. В смазках Литол-24 в качестве дисперсной фазы используется литиевое мыло [108,111,112,113].

Для проведения исследования в качестве компонента мыла использовались кубовые остатки синтетических жирных кислот КОСЖК, имеющие кислотное

число 70 мг КОН/г. В качестве агента, обеспечивающего процесс омыления применялся водный раствор извести (пушонки) в соотношении 3:1 [114,115].

Данная концентрация принята на основании известного технологического процесса омыления и позволяет в результате химического взаимодействия элементов кислот КОСЖК и щелочи (извести) образовывать (соли) [116,117,87].

Таким образом, загуститель или дисперсная фаза имеет состав, состоящий из КОСЖК и водного раствора щелочи в соотношении 1:2.

Далее для определения оптимальной концентрации смешивания дисперсионной среды и дисперсной фазы принимались следующие соотношения: 90:10 дисперсионной среды (ds) и дисперсной фазы (df); 80:20 (ds:df); 70:30 (ds:df). На рисунке 4.11 представлена зависимость изменения температуры каплепадения смазки от её состава.

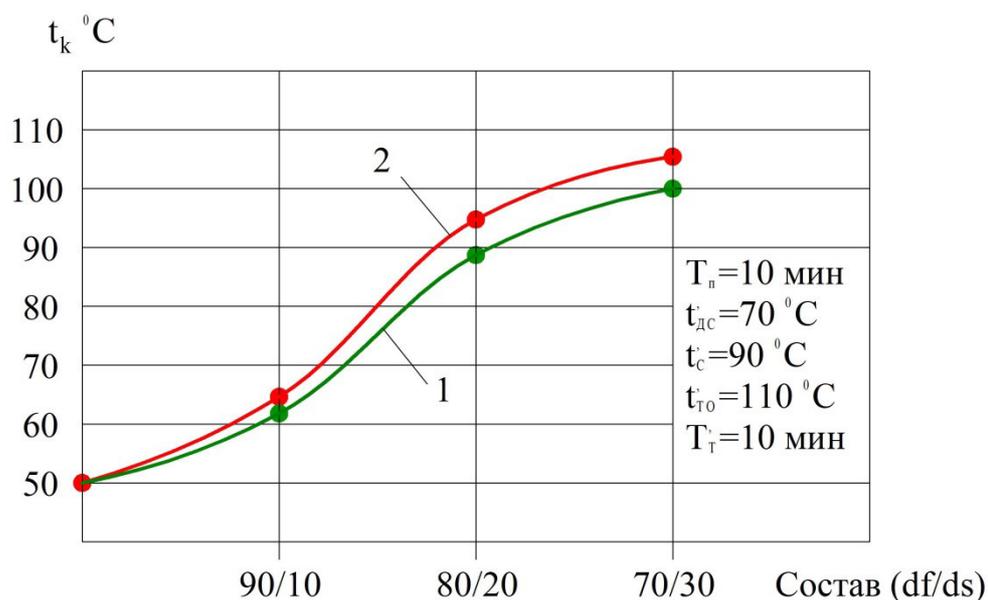


Рисунок 4.11 – Зависимость изменения температуры каплепадения смазки от соотношения дисперсионной среды (ds) и дисперсной фазы (df)

Анализируя представленные на рисунке 4.11 данные следует отметить, что состав смазки, состоящий из пропорции 80 на 20 (линия 1), позволяет увеличить температуру каплепадения практически до 90 °C, что является приемлемым зна-

чением для смазок типа Солидол. Изменения концентрации в ту или другую сторону не приводит к положительному результату.

Использование в качестве дисперсионной среды очищенного отработанного синтетического моторного масла позволяет получать смазку даже с более высокой характеристикой каплепадения (линия 2) [42].

Гомогенизация смазки проводилась на специально разработанном устройстве (методика 3.2) в течении 30 минут.

Характеризуя структуру смазки, следует отметить, что в изменение состава 90:10 дисперсионной среды к дисперсной фазе приводит к её текучести и расслаиванию, а при соотношении 70:30 к растрескиванию смазки.

Следует обратить внимание на то что свойства смазки, а именно температура каплепадения, зависит от вязкости дисперсионной среды. Для нашего случая получения смазок в условии АПК используются в основном отработанные моторные масла с вязкостью кинематической  $10 \pm 0,5$  мм<sup>2</sup>/с. Соответственно процентное соотношение используемого кальциевого мыла в зависимости от вязкости дисперсионной среды можно принять постоянной [42,118,119,120].

В исследованиях по получению смазок Литол-24 в качестве df используется литиевое мыло. Одним из компонентов мыла является 12 - оксистеариновая кислота (44,5 % масс) и в качестве агента способствующего омылению применялся водный раствор гидроксида лития (9,3% гидроксида лития, 27,7 % воды) [121].

Смазка составлялась при следующих условиях: дисперсионную среду и дисперсную фазу смешивают при температуре 20 °С , дальше при постоянном перемешивании поднимают температуру до точки плавления мыла и проводят окончательную обработку при этой температуре в течении  $T_T' = 10$  мин. Данные условия приняты, исходя из требований технологического процесса приготовления смазок [42,122,123].

В таблице 4.5 представлен характер изменения температуры каплепадения при смешивании дисперсионной среды и дисперсной фазы.

Таблица 4.5 – Характер изменения температуры каплепадения состава смазки, состоящего из дисперсионной среды и дисперсной фазы

Показатель	Соотношение дисперсионной среды (ds) к дисперсной фазе (df)						
	90/10	88/12	86/14	84/16	82/18	80/20	78/22
Температура каплепадения	ds (очищенное моторное синтетическое масло) + df (литиевое мыло)						
	94	115	123	134	147	161	178
	ds (очищенное моторное минеральное масло) + df (литиевое мыло)						
	85	99	118	126	138	142	159

Анализируя данные таблицы 4.5 в первом приближении можно сделать вывод о том, что с увеличением количества загустителя температура каплепадения исследуемых составов увеличивается как в случае использования синтетического масла, так и в случае смешивания с моторным минеральным очищенным маслом.

Сравнивая полученные значения температуры каплепадения экспериментальных составов с температурой каплепадения смазки Литол-24 установлено, что при концентрации 82/18, 80/20 и 78/22 она приближается к значениям товарных смазок. При этом также установлено, что увеличение содержания (df) выше значения 80/20 приводит к изменению структуры смазки (рисунок 4.12).

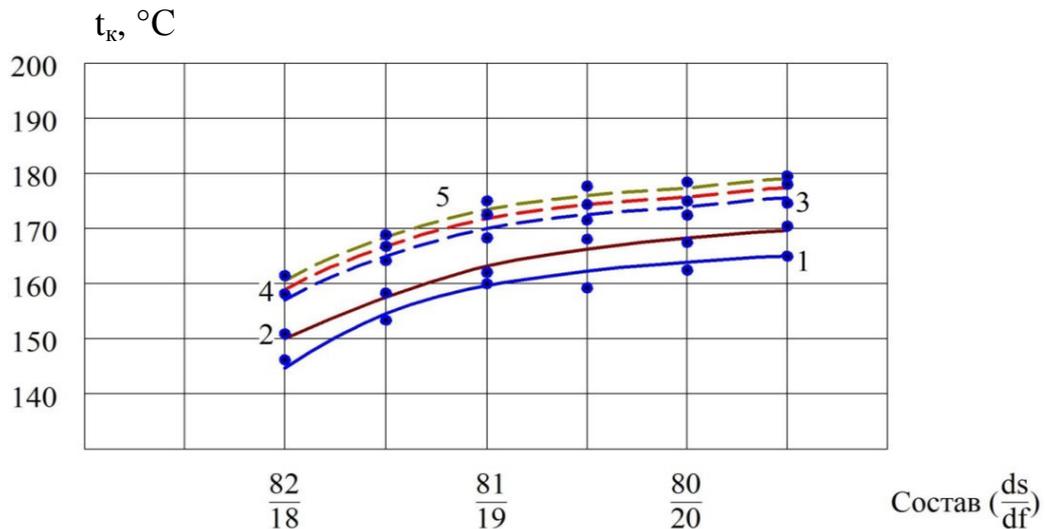


Рисунок 4.12 – Структура состава при смешивании дисперсионной среды и дисперсной фазы

Соответственно на данном этапе исследования можно считать, что оптимальной концентрацией смешивания ds с df является значение от 82/18 до 80/20.

Рассматривая известные технологические процессы приготовления смазок определено, что помимо концентрации смешивания  $ds$  с  $df$  следующей важнейшей характеристикой является температура предварительной обработки смазки, которая может влиять на температуру каплепадения получаемого продукта.

На основании данных положений установлено, что увеличение температуры предварительной обработки смеси при тех же концентрациях смешивания позволяет повысить температуру каплепадения образцов смазок, рисунок 4.13. Процесс приготовления заключался в том что  $ds$  и  $df$  смешивают при температуре  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , далее температуру поднимается для каждого образца в диапазоне от  $50$  до  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , то есть для первого образца составляет  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , для второго  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , для третьего  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ , для четвертого  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , после чего для каждого образца при постоянном перемешивании температуру поднимают до точки плавления мыла и проводят окончательную обработку при этой температуре в течение  $T'_T = 10$  мин



- 1 – без предварительной обработки; 2 -  $t_{1\text{ ст.}} = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  
 3 -  $t_{1\text{ ст.}} = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 4 -  $t_{1\text{ ст.}} = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 5 -  $t_{1\text{ ст.}} = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

Рисунок 4.13 – Зависимость изменения температуры каплепадения от предварительной температуры обработки

Согласно полученным данным (рисунок 4.13) по определению предварительной температуры обработки  $ds$  и  $df$ , наблюдается заметное повышение  $t_K$  при

100, 150 и 200 °С, но принимая во внимание что при 150 и 200 °С рост ТК изменяется не столь резко по сравнению со 100 °С, можно условно считать эту температуру наиболее рациональной. При этом соотношение  $ds$  к  $df$  (81/19) является наиболее приемлемым значением при изготовлении смазок аналога Литол-24 [124,125].

Дальнейшее исследование направлено на определение рационального времени обработки смазки при температуре 100 °С при соотношении дисперсионной среды и дисперсной фазы 81/19. Алгоритм реализации состоит из:  $ds$  и  $df$  смешивают при температуре 20 °С, далее температуру поднимают до 100 °С и выдерживают от 60 - 180 мин. для каждой смазки отдельно, после чего температуру поднимали до точки плавления мыла и проводят окончательную обработку при этой температуре в течение  $T'_T = 10$  мин. Динамика изменения температуры каплепадения смазки от времени предварительной обработки представлена в таблице 4.6

Таблица 4.6 – Изменение температуры каплепадения смеси от времени обработки

Показатель	Соотношение дисперсионной среды ( $ds$ ) к дисперсной фазе ( $df$ )	
	$ds$ (очищенное моторное синтетическое масло) + $df$ (литиевое мыло)	$ds$ (очищенное моторное минеральное масло) + $df$ (литиевое мыло)
$t_k$ /время предварительной обработки	169/60	161/60
	180/120	178/120
	185/180	182/180

В результате анализа результатов исследований, представленных в таблице 4.6, установлено, что температура каплепадения смазки после их термообработки в течение 120 мин. выросла по сравнению с обработкой в течение 60 мин. на 11 и 17 °С. Дополнительная обработка и увеличение времени до 3 часов не приводит к существенному увеличению температуры каплепадения смазки.

На основании проведенных исследований разработан состав смазки, патент № 2529857 (приложение №3).

Обобщая результаты исследований по определению рационального состава и параметров процесса смешивания дисперсионной среды и дисперсной фазы при приготовлении смазок можно сделать вывод, что рациональной концентрацией смешивания дисперсионной среды и дисперсной фазы являются пропорции 81/19 и 80/20, предварительную температуру обработки следует принимать равной  $100 \pm 5$  °С, рациональное время обработки смеси 120 мин., окончательная обработка проводится при температуре 230 °С с последующим отключением нагрева и остыванием смазки.

Полученные составы смазок отвечают основному критерию производства и использования – температуре каплепадения.

Однако, как известно из анализа состояния вопроса, пластичные смазки для их применения в узлах терния должны обладать высокими защитными, противозносными, адгезионными и другими свойствами, для чего необходима оценка этих свойств, подтверждающая эффективность разработанных составов для их использования взамен товарных смазок Солидол Ж и Литол – 24 в сельскохозяйственной технике.

#### **4.3 Сравнительная оценка антикоррозионных и защитных свойств составов смазок**

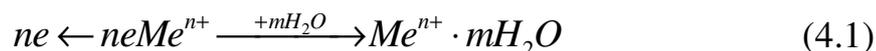
Как известно из анализа состояния вопроса, дисперсионная среда и дисперсная фаза оказывают существенное влияние на защитные свойства смазок. Так в зависимости от природы используемых масел и загустителей защитные, антикоррозионные свойства смазок могут быть выше или ниже, что является очень важным фактором для смазок, используемых в сельскохозяйственной технике.

Условия хранения и эксплуатации машин в сельскохозяйственном производстве можно считать жесткими [126], так как техника подвержена перепадам температур, образованию конденсатов воды в узлах трения, а соответственно интенсификации процессов коррозии.

В большинство смазок типа Солидол, Литол, выпускаемых по ТУ, вводятся специальные антикоррозионные присадки, ингибиторы окисления.

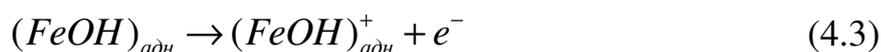
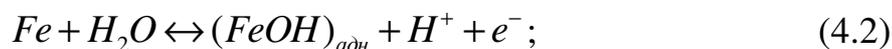
Для наших условий использования в качестве дисперсионной среды отработанных моторных масел остаточное содержание несработавших антикоррозионных присадок является положительным фактором, способствующим повышению эксплуатационных свойств изготавливаемых смазок и снижающим затраты на их получение [126,127,128].

Процесс коррозии, сам по себе, протекает по электрохимическому механизму, для которого характерна возможность локализации на определенных участках поверхности двух одновременно протекающих электродных процессов: 1) анодного – образования гидратированных ионов металла в электролите и появления некомпенсированных электронов на анодных участках:



2) катодного — ассимиляции электронов какими-либо ионами или молекулами раствора (D-деполяризаторами), способными к восстановлению на катодных участках.

Основным реагентом процесса коррозии является вода. Вода - участник анодной ионизации металла. В нейтральных и щелочных средах, обычных для атмосферной коррозии, в соответствии с механизмом Бокриса на железе и стали протекает следующий анодный процесс:



Катодные процессы также протекают с участием воды. При атмосферной коррозии возможно протекание реакций с водородной и кислородной деполяризацией, причем кислородная деполяризация более термодинамически вероятна, чем водородная. Для нее характерны следующие реакции в нейтральной и щелочной среде:



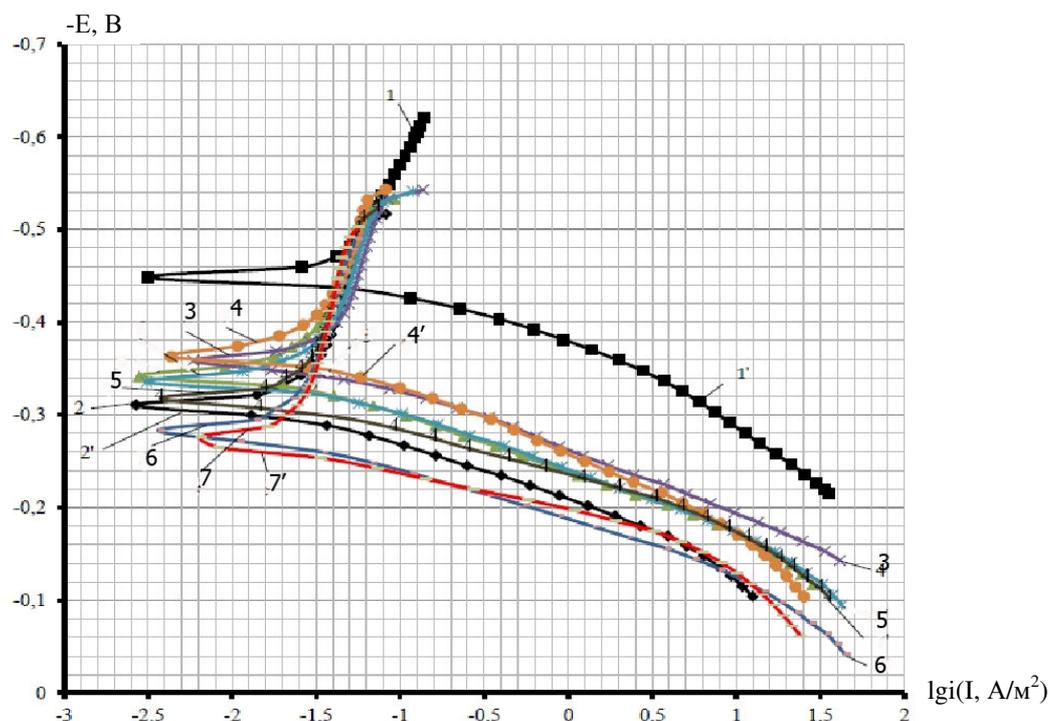
В кислой среде восстановление растворенного кислорода протекает по уравнению:



Суммарные процессы (4,5) и (4,6) являются многостадийными. Их кинетика и механизм зависят от скорости доставки кислорода к катоду и природы самого катода. Растворенный кислород является таким же обязательным участником процесса коррозии, как и вода.

Логично для изучения электрохимических процессов использовать современные электрохимические методы. В нашей работе для определения противокоррозионных свойств пластичных смазок был использован электрохимический метод поляризационных кривых [126].

Электрохимические исследования проводили в 0,5 М растворе NaCl. В такой, достаточно агрессивной среде, проводят ускоренные коррозионные испытания по ГОСТ 9.042-75. На катодной поляризационной кривой наблюдается линейный тафелевский участок с наклоном  $\text{tg}\alpha_k \sim 140$  мВ, переходящий в область предельного катодного тока с  $i_{\text{пред}} \sim 0,040$  А/м<sup>2</sup>. Стационарный потенциал коррозии стали без покрытия составляет  $-0,457$  В, плотность тока коррозии, рассчитанная посредством экстраполяции линейных участков поляризационных кривых на потенциал коррозии, в фоновом растворе ( $i_{\text{кор}}$ ) – 0,0316 А/м<sup>2</sup> (рис.4.14, кривая 1, таблица 4.7). На анодной поляризационной кривой также имеется линейный тафелевский участок с наклоном  $\approx 53$  мВ, близким к значению  $2,3 RT/F$  (где  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $T$  – абсолютная температура;  $F$  – постоянная Фарадея), что характерно для анодной ионизации железа в хлоридных слабокислых средах в отсутствии пассивации (переход поверхности металла в неактивное, пассивное состояние, связанное с образованием тонких поверхностных слоёв соединений, препятствующих коррозии) [126].



1 – фон; 2 – Литол-24; 3 – ds (ММОМ) + df (LM) + карбамид; 4 – ds (ММОС) + df (LM) + карбамид; 5 – Солидол Ж; 6 – ds (ММОС) ++ df (кальциевое мыло (KM)); 7 - ds (ММОМ) + df (KM);

Рисунок 4.14 – Поляризационные кривые: катодные (1-7), анодные (1'-7')

Таблица 4.7 – Результаты электрохимических измерений на стали, покрытой пленками исследуемых смазок, в 0,5М NaCl при комнатной температуре

№ п/п	Природа защитного покрытия	$-E_{кор., В}$	$tg b_k, В$	$tg b_a, В$	$i_{кор}, A/m^2$	$K, 10^{-3}, г/м^2 \cdot ч$	Z, %
1	Отсутствует	-0,457	0,070	0,053	0,0316	0,0329	-
2	Литол (синт.осн)	-0,339	0,133	0,050	0,0159	0,0165	50
3	Литол (мин.осн)	-0,350	0,133	0,053	0,01479	0,0154	53
4	Литол-24	-0,320	0,133	0,054	0,0162	0,0168	49
5	Солидол	-0,341	0,125	0,048	0,0162	0,0168	49
6	Солидол(синт.осн)	-0,295	0,125	0,053	0,0138	0,0144	56
7	Солидол (мин.осн)	-0,271	0,125	0,042	0,0143	0,0148	55

После нанесения на электрод всех исследуемых пластичных смазок потенциал коррозии сдвигается в сторону положительных потенциалов, по сравнению с незащищенной сталью. Наиболее сильно облагораживают потенциал коррозии Солидола на синтетической ( $\Delta E = 0,162 В$ ) и минеральной основе ( $\Delta E = 0,186 В$ ).

Величины Тафельских наклонов анодных поляризационных кривых в присутствии пластичных смазок близки между собой и к полученным для стального

электрода без покрытия. Это позволяет предположить, в первом приближении, что механизм анодной ионизации железа в присутствии пластичных смазок не изменяется, иной становится только кинетика процесса.

Величины Тафелевских наклонов катодных поляризационных кривых близки между собой, но отличаются от полученных для стального электрода без покрытия. Скорость катодной реакции также возрастает в присутствии всех исследуемых пластичных смазок. Возможно изменение механизма катодного восстановления [126,129].

В соответствии с полученными результатами все исследуемые пластичные смазки тормозят анодное растворение железа, но при этом наблюдается некоторое облегчение катодного процесса, возможно обусловленное лучшим растворением  $O_2$  в масле, чем в воде. Следовательно, исследуемые пластичные смазки можно отнести к ингибиторам коррозии смешанного типа.

Все исследуемые пластичные смазки обеспечивают защитную эффективность стальных поверхностей ~ 40 – 55 %. Солидолы на синтетической и минеральной основе имеют более высокую защитную эффективность (таблица 4.7) чем у Литола.

В целом можно утверждать, что разработанные экспериментальные составы смазок имеют защитную эффективность близкую к товарным продуктам «Солидол-Ж» и «Литол-24». Защитные свойства составов обеспечиваются как за счет действия среды, так и за счет эффектов от действия антиокислительных и антикоррозионных присадок присутствующих в отработанном моторном масле [126].

Проведение сравнительных исследований и детальный анализ действия остаточных элементов антикоррозионных присадок в маслах не входили в задачи данных исследований, ограничиваясь логичным выводом их присутствия и полученными положительными результатами, подтверждающими известные закономерности. Данные факты также позволяют утверждать о нецелесообразности до-

полнительного введения в полученные составы противокоррозионных присадок.

#### **4.4 Результаты исследований по определению адгезионных свойств экспериментальных смазок**

Адгезионные свойства пластичных смазок зависят от ряда известных факторов, это в первую очередь их состав (дисперсная фаза) и условия использования [130,131].

Пластичные смазки, закладываемые в подшипники должны прилипать к поверхностям обойм, шариков, роликов и достаточно прочно удерживаться на деталях, не зависимо от механического и термического воздействия, на смазку сохраняя на поверхности трения пленку [37,132,133,134].

Не вдаваясь глубоко в физику и химию процесса адгезии в результате экспериментальных исследований проводились сравнительные испытания образцов товарных смазок Солидол – Ж и Литол – 24 и опытных образцов составов смазок.

Исследования проводились по специально разработанной методике изложенной в разделе 3.4. В процессе проведения исследования оценивалось усилие отделения «отрыва» поверхностей металлов соприкосаемых между собой через слой смазки [132,135,136].

Как установлено исследованиями (рисунок 4.15) усилие на разрыв  $P$  пластин с нанесением на них пластичной смазкой Солидол – Ж толщиной 1 мм составляло 0,39 кН, что соответствует высоким адгезионным, свойствам смазочного материала [137].

Аналог Солидола, приготовленного на основе минерального очищенного отработанного масла с вышеуказанной дисперсной фазой, имел значение на разрыв равное 0,26 кН, а Солидол, приготовленный на основе очищенного отработанного синтетического моторного масла с той же дисперсной фазой, 0,3 кН [132].



Рисунок 4.15 – Изменение усилия на отрыв пластин в зависимости от основы смазки Солидол при толщине слоя между пластинами 1 мм

Увеличение толщины слоя смазки до 2 мм (рисунок 4.16) снизило адгезионные характеристики испытуемых смазок на 3 – 6 %, что в принципе закономерно, так как процесс «склеивания», липкости в целом не изменяется, а большая толщина слоя смазки только незначительно снижает усилие на разрыв.

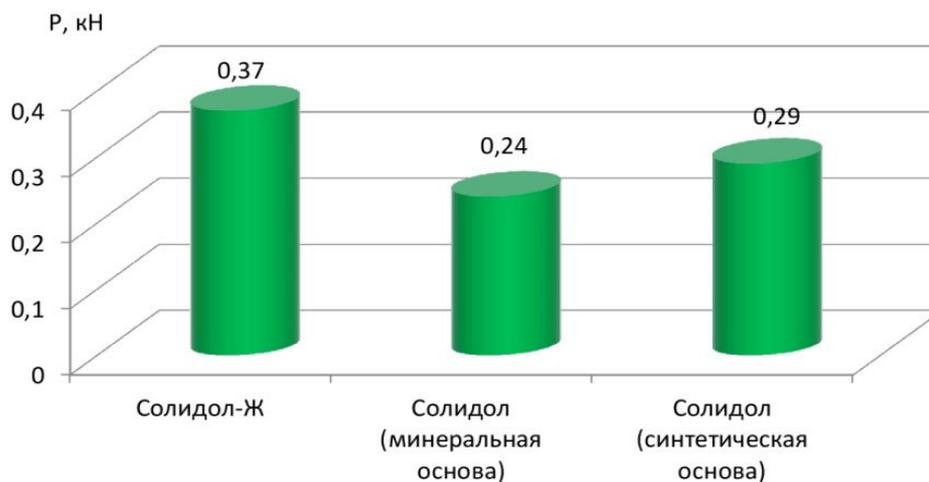


Рисунок 4.16 – Изменение усилия на отрыв пластин при толщине слоя смазки 2 мм

---

Автор выражает признательность сотрудникам кафедры «Химии и экологической безопасности» ТГТУ им. Державина за предоставленную возможность проведения исследований и конструктивные предложения по методике проведения работ

При этом следует отметить, что в условиях работы подшипников толщина смазки между трущимися поверхностями редко когда превышает 1 мм.

Среди исследованных опытных образцов смазок более высокими адгезионными свойствами обладали смазки аналоги Солидол Ж, приготовленные на основе дисперсионной среды, состоящей из отработанного очищенного синтетического масла [9,39,132].

Данный факт можно объяснить, прежде всего, свойством основы - синтетического масла обеспечивающего более эффективные связи.

Исследования адгезионных свойств пластичных смазок аналогов Литол -24 на синтетической и минеральной основе (отработанных моторных синтетических и минеральных маслах) показали, что смазки аналог Литола на минеральной основе (рисунок 4.17 а) имели нагрузку на отрыв на 10 % больше чем у смазки аналога Солидола на минеральной основе (рисунок 4.16).

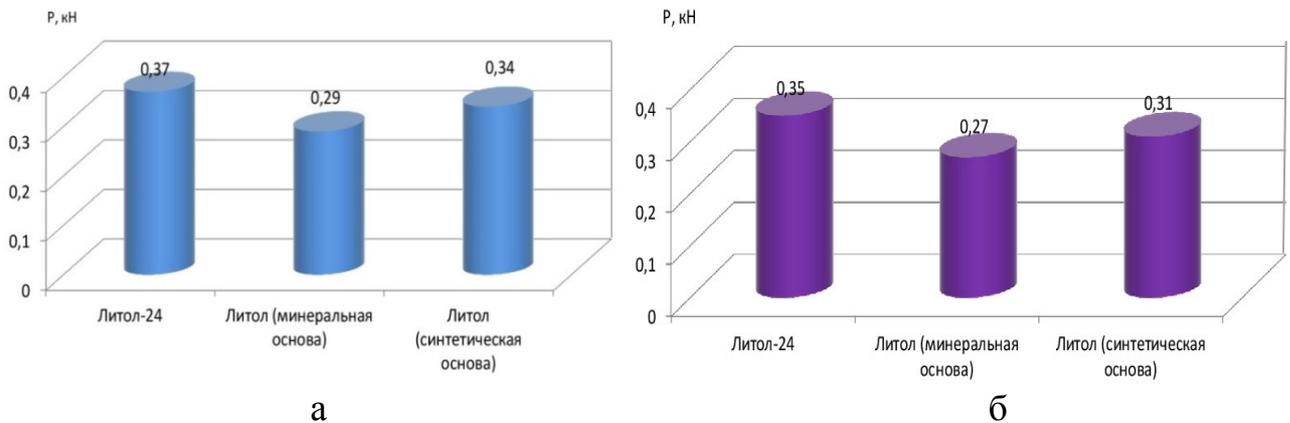


Рисунок 4.17 – Изменение адгезионных свойств смазок в зависимости от основы смазки и толщины слоя смазки между пластинами

В данном случае имеет место разница дисперсионных сред смазок аналогов Солидол и Литол.

Как и в случае испытания аналогов смазок Солидола при испытаниях смазок аналогов Литола на минеральной и синтетической основе отмечается снижение усилия отрыва пластин при увеличении слоя смазки между ними (рисунок 4.17 а, б) [132,138].

Обобщая полученные сравнительные результаты исследования, можно сделать вывод о более высоких адгезионных свойствах смазок, получаемых на основе дисперсионной среды, состоящей из очищенных отработанных синтетических масел, по сравнению со смазками на основе отработанных минеральных масел.

При этом следует учитывать, что при приготовлении всех опытных образцов пластичных смазок в них не вносились дополнительные присадки, добавки, способствующие повысить «липкость» смазок [132,139,140].

Помимо всего прочего в нашем случае исследования адгезионных свойств смазок проводились в режиме сравнительных испытаний при температуре + 20 °С, при более высоких температурах адгезия в силу специфических химических превращений под действием остаточных присадок в отработанных маслах может только усиливаться, соответственно полученные данные являются достоверными, а полученные составы экспериментальных смазок обладают достаточными адгезионными свойствами.

#### **4.5 Исследование прочностных характеристик экспериментальных составов смазок**

Пластичные смазки, используемые в узлах трения тракторов и комбайнов подвергаются воздействию статических и динамических нагрузок различных по величине, продолжительности и направлению.

Предел прочности на сдвиг определяет практическую границу перехода смазки от состояния покоя к пластичному течению при приложении сдвигового напряжения. Оценка предела прочности на сдвиг позволяет характеризовать эксплуатационные свойства и качество смазок, правильно выбранную концентрацию загустителя (дисперсной фазы).

Температура, при которой предел прочности становится равным нулю и смазка переходит из пластичного в жидкое состояние, определяет верхний температурный предел её использования в узле трения.

Принципиальна зависимость деформации от напряжения сдвига при постоянной скорости представляет собой максимальное напряжение сдвига соответствующее пределу прочности на сдвиг, а напряжение сдвига установившемуся течению соответствующие им деформации.

Установленный практическими наблюдениями предел прочности для смазки типа Литол, Солидол при максимальной температуре применения должен быть не менее 0,1 кПа, а при обычных температурах находиться в пределах 0,3...1,5 кПа. Однако поведение смазки в узлах трения, их унос с вращающихся деталей подшипников, утечки через не плотности зависят в большей степени не только от первоначального предела прочности, но и изменение связанных с окислением, испарением дисперсионной среды и изменения противоизносных свойств. Очень важным для наших исследований является использование отработанных масел в качестве дисперсионной среды смазок, когда в среде присутствует некоторое количество противоизносных, антиокислительных присадок.

На основании разработанной методики исследования (раздел 3.5) испытаниям подвергались товарные смазки Литол – 24, Солидол Ж и их экспериментальные аналоги на минеральной и синтетической основе.

Так как трибологические характеристики смазки зависят от многих вышеперечисленных факторов, а температура является в большинстве случаев определяющей, то испытания проводились при температуре 18 – 25 °С и 55 – 60 °С.

Установлено, что при температурах 18 - 23 °С Солидол товарный (рисунок 4.18 а) имеет более высокие прочностные характеристики чем, экспериментальные аналоги приготовленные на основе отработанных масел.

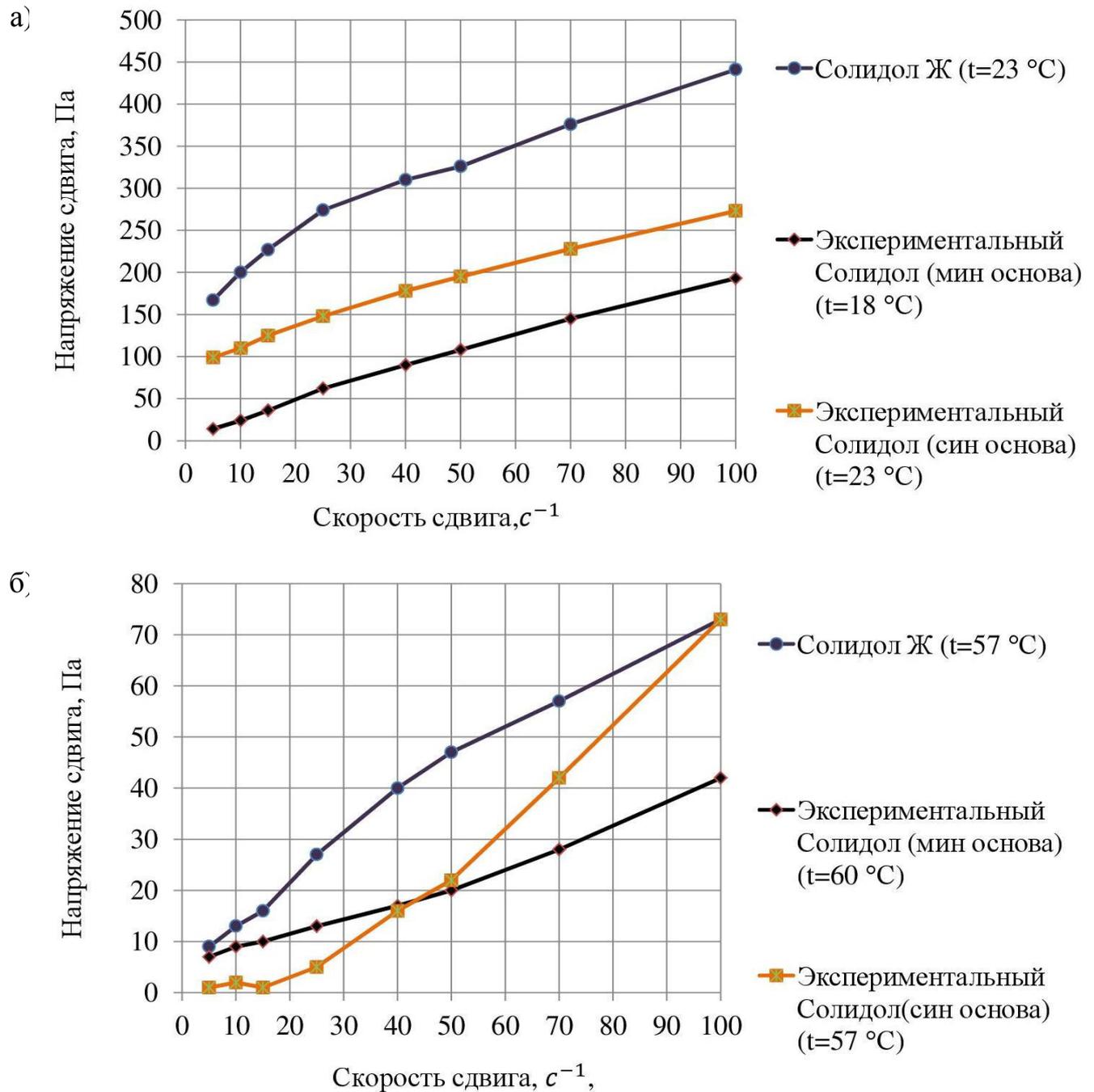


Рисунок 4.18 – Зависимость изменения напряжения сдвига от скорости сдвига (на смазках аналогах Солидола)

Однако с увеличением температуры смазки напряжение сдвига при тех же скоростях (рисунок 4.18 б) изменяется несколько по другому. Например, у смазки аналога Солидола сдвиг  $100\text{ }c^{-1}$ , напряжение сдвига соответствовало значению  $73\text{ Па}$ , то есть как у товарного Солидола Ж.

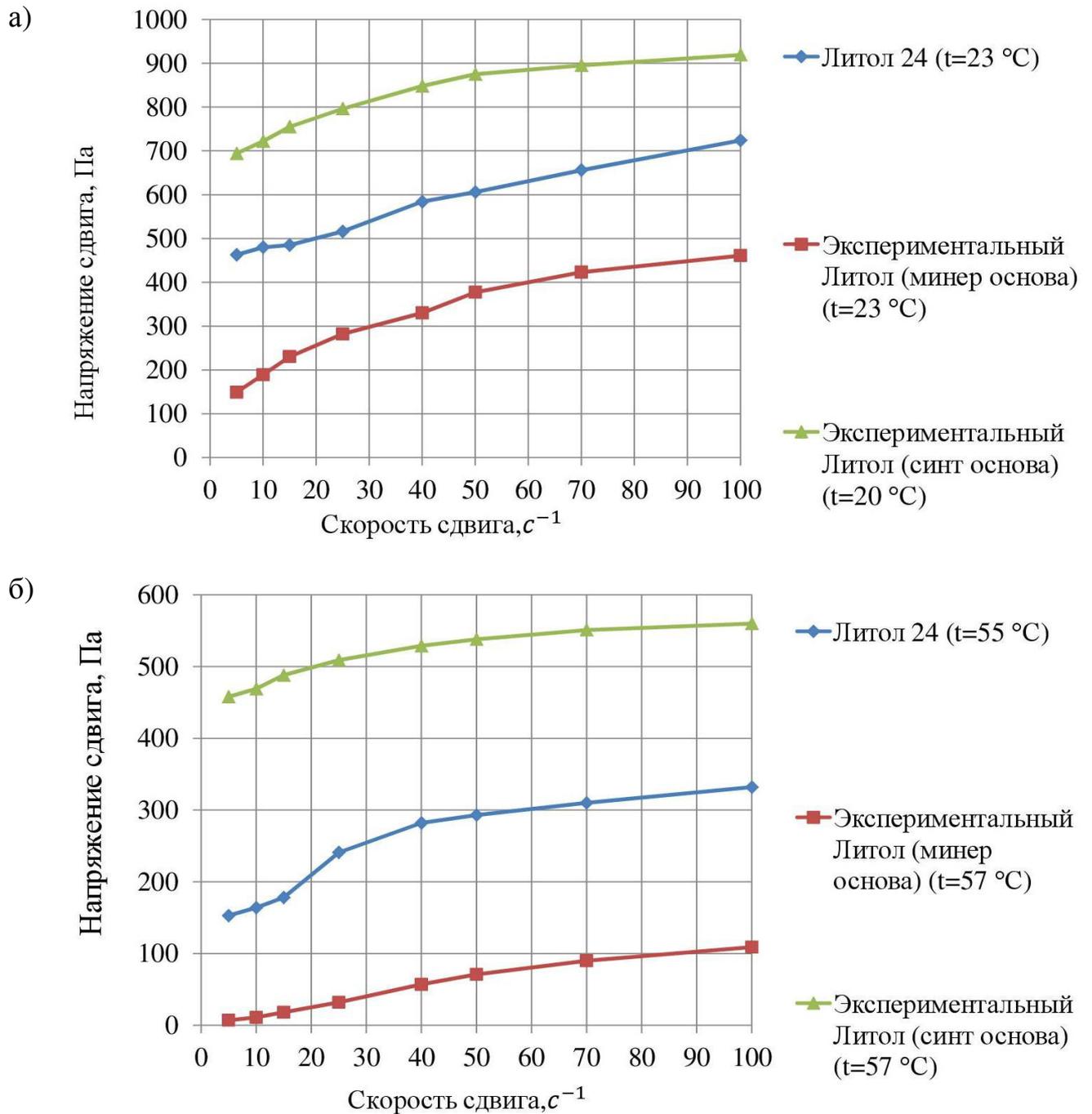


Рисунок 4.19 – Зависимость изменения напряжения сдвига от скорости сдвига (на смазках аналогах Литола - 24)

Напряжение на сдвиг у образцов Литола (рисунок 4.19 а,б) в несколько раз превышают показатели Солидолов (рисунок 4.18 а,б) что закономерно, так как составы смазок типа Литол – 24 способны работать в более жестких условиях и имеют более высокие эксплуатационные характеристики.

Проводя сравнительный анализ прочностных характеристик экспериментальных аналогов смазок Литола установлено, что в образцах экспериментального Литола на основе очищенных синтетических отработанных масел при скорости сдвига  $50 \text{ с}^{-1}$  соответствовало напряжению сдвига соответствует 905 Па, в то время как товарный Литол при той же скорости сдвига показывал значения 710 Па при температурах 20...23 °С. Причем у опытного образца аналога Литола на синтетической основе напряжения сдвига практически не изменилось с повышением скорости сдвига с 50 до  $100 \text{ с}^{-1}$ .

Аналогичные зависимости получена и после увеличения температуры до 55 °С и выше (рисунок 4.19 б).

Обобщая полученные результаты можно сделать вывод о высоких прочностных свойствах экспериментальных образцов смазок, в некоторых случаях превышающие показатели товарных смазок Солидол Ж и Литол – 24.

#### **4.6 Результаты исследований по оценке теплоемкости смазок и их окисляемости под действием температур**

В процессе воздействия повышенных температур на пластичные смазки происходит их термическое разложение, полимеризация и окисление, что в конечном итоге приводит к ухудшению эксплуатационных свойств смазок и как следствие увеличению износа в узлах трения.

На устойчивость к процессам окисления и изменения свойств смазки под действием температур влияют физико-химические свойства масла, в котором построен каркас, образующийся из дисперсионной фазы, удерживающий в своих ячейках более 80% дисперсионной среды – отработанного очищенного моторного масла [141,142,143].

Под действием температур пластичная смазка изменяется и в некоторых случаях переходит в жидкое состояние. Затем при понижении температуры вновь возвращается в пластичное состояние.

Для наших условий получения смазок на основе отработанных масел важно оценить изменение свойств под действием температур, способность сохранять структуру, отводить и удерживать тепло в своем объеме. При этом кислотное число смазки должно увеличиваться незначительно.

На основе поставленных задач получения аналогов пластичных смазок и определения их свойств оценивалось изменение теплоемкости смазок под действием температур.

Исследования проводились по специально разработанной методике 3.6 на оборудовании кафедры "Управления качеством и сертификацией" Тамбовского государственного технического университета (ФГБОУ ВПО «ТГТУ»). Исследованиям подвергались 6 образцов пластичных смазок, показавшие на предварительных этапах исследований наилучшие результаты: Солидол Ж (товарный); Солидол, полученный на основе очищенного отработанного минерального моторного масла; Солидол на основе синтетического отработанного моторного масла; Литол-24 (товарный); Литол на основе отработанного минерального моторного масла; Литол на основе отработанного синтетического моторного масла.

В результате исследования (рисунок 4.20 а) установлено, что при повышении температуры нагрева товарного Солидола его теплоемкость увеличивалась и к 100 – 110 °С достигла 2300 Дж/(кг·К). Далее по мере увеличения температуры наблюдалось снижение теплоемкости смазки с последующим медленным ростом. Факт образования пика можно объяснить физико-химическими процессами, происходящими в смазке, которые характерны для смазки, достигшей температуры каплепадения, то есть превращения её практически в жидкое состояние.

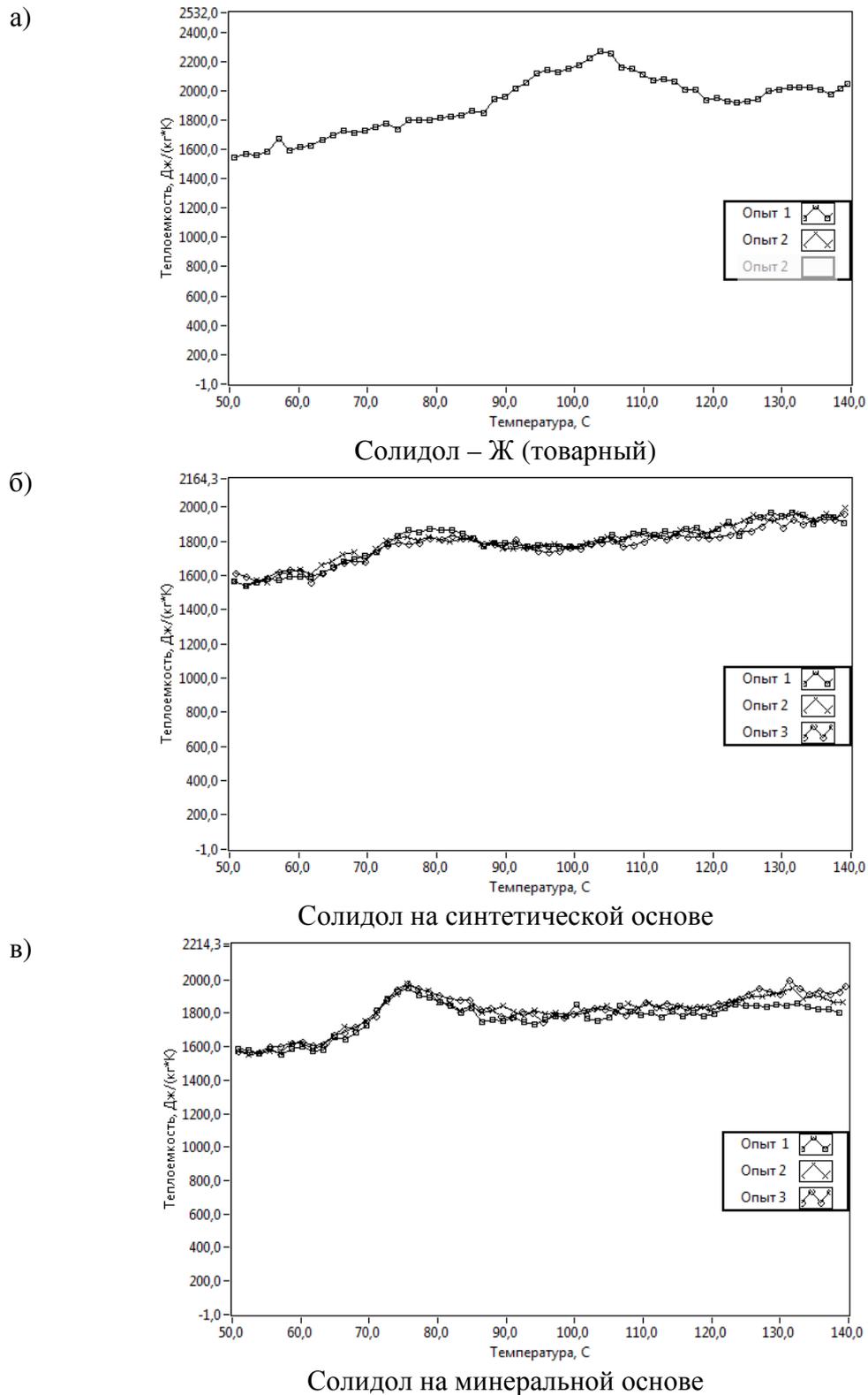


Рисунок 4.20 – Изменение теплоемкости смазок Солидола в зависимости от температуры нагрева

Несколько по другому изменялась теплоемкость аналогов Солидола, полученных на минеральной и синтетической основе, а именно пик повышения теп-

лостности смазок б и в (рисунок 4.20) наблюдался в диапазоне температур 75 – 85 °С. Далее по мере нагрева процесс стабилизировался, и теплоемкость увеличивалась с 1800 Дж/(кг·К) до 2000 - 2100 Дж/(кг·К).

Образование пиков можно объяснить и различной основой смазок Солидола товарного и Солидола на основе отработанного моторного и незначительная разница составов и технологического процесса получения, однако в конечном результате можно констатировать практически аналогичные показатели сравниваемых образцов.

Исследования свойств Литола – 24 и его приготовленных аналогов на основе отработанных масел (рисунок 4.21 - 4.22 а, б) проводились при более высоких температурах, так как, известно, что смазки типа Литол имеют более высокие температурные характеристики чем Солидолы.

Испытания проводились с двух, трехкратной повторностью, как и в первом случае. Установлено, что теплоемкость при нагреве образцов во всех случаях (рисунок 4.21 - 4.22) увеличивалась равномерно и максимальное значение получено в образце Литол на минеральной основе – более 2400 Дж/(кг·К).

Данные исследования позволяют сделать вывод о высоких эксплуатационных свойствах экспериментальных образцов.

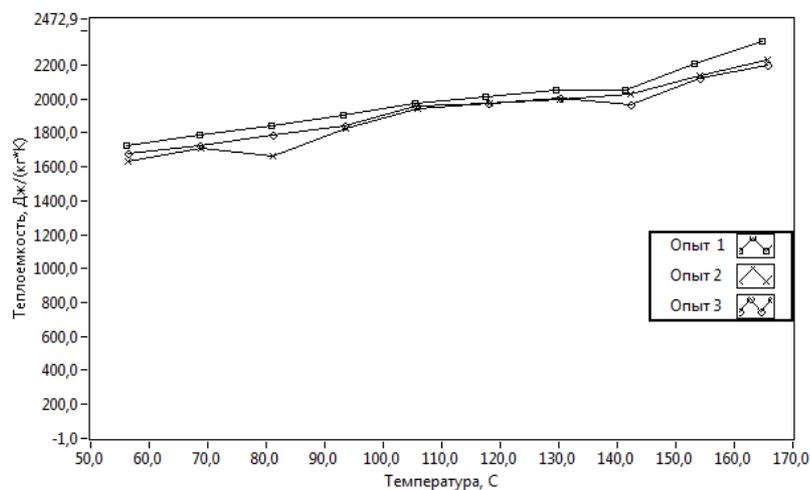
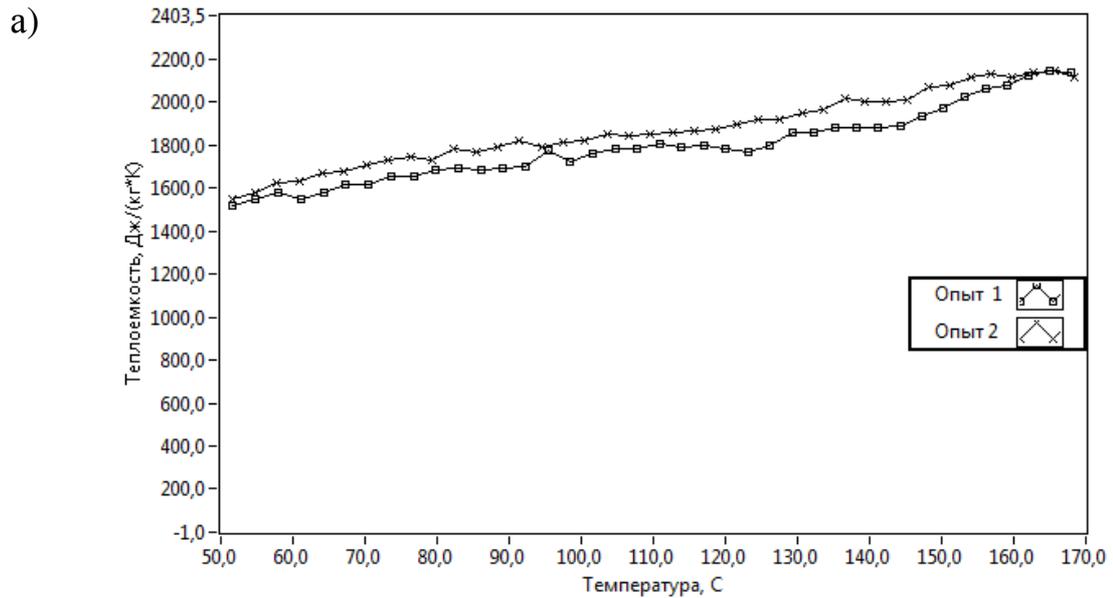
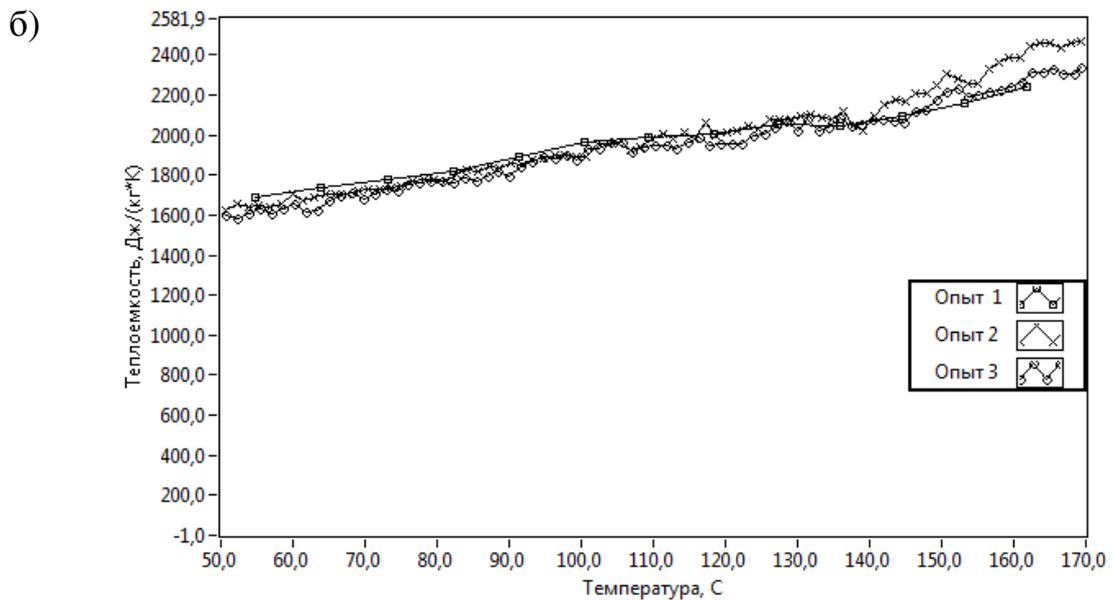


Рисунок 4.21 – Изменение теплоемкости смазки Литол-24 в зависимости от температуры нагрева



### Литол на синтетической основе



### Литол на минеральной основе

Рисунок 4.22 – Изменение теплоемкости смазок Литола в зависимости от температуры нагрева

Для определения окислительных процессов в смазках, что бы спрогнозировать сроки их службы и старения в первом приближении, проводилась оценка изменения кислотного числа смазок в зависимости от их нагрева (рисунок 4.23 и 4.24).

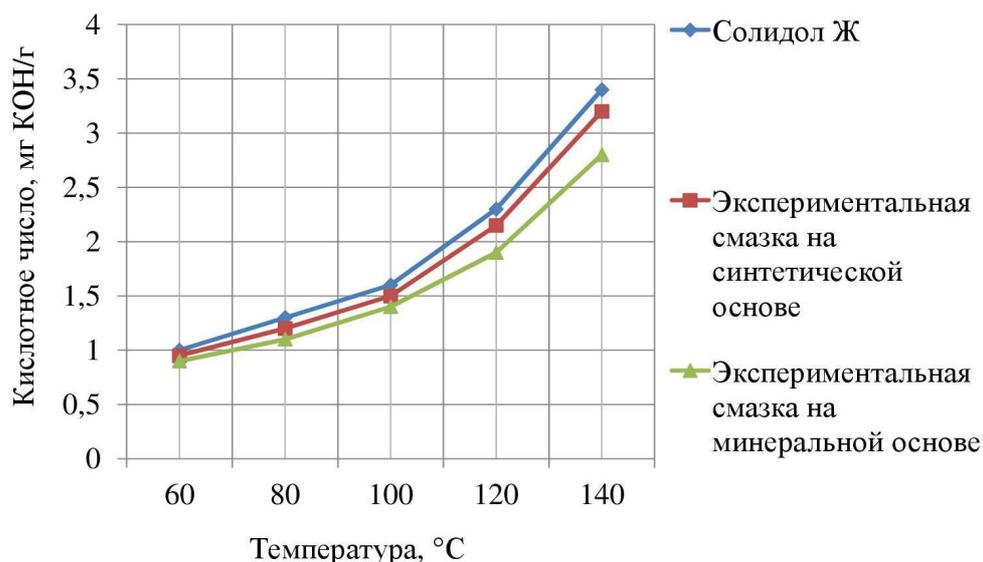


Рисунок 4.23 - Зависимость изменения кислотного числа смазок Солидол от температуры нагрева

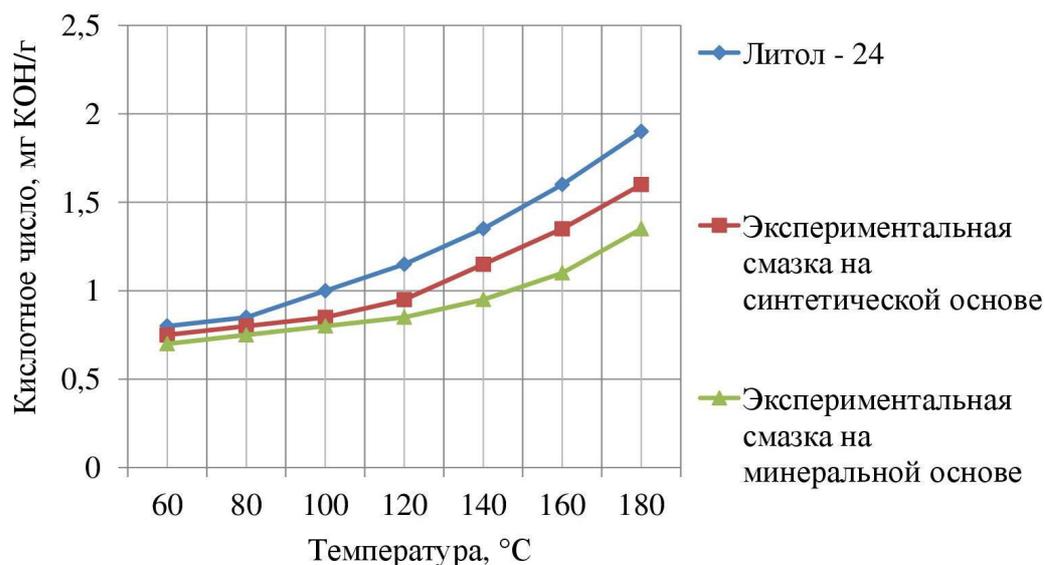


Рисунок 4.24 – Зависимость изменения кислотного числа смазок Литол от температуры нагрева

Анализируя полученные зависимости установлено, что в процессе нагрева смазки Солидол Ж (рисунок 4.23) кислотное число росло незначительно до 100 °C. Далее по мере нагрева до 140 °C кислотное число товарного Солидола увеличивалось практически в два раза. Смазки экспериментальные, приготовленные на минеральной и синтетической основе окислялись аналогично. Увеличение

кислотного числа смазок до 3 мг КОН/г свидетельствует о интенсивных окислительных процессах в смазке и сокращении эффективного срока службы смазок.

Смазка Литол – 24 и их экспериментальные аналоги (рисунок 4.24) на основе синтетических масел и минеральных по мере увеличения температуры до 140...150 °С окислялись медленно. Наблюдалось активное увеличение кислотного числа товарной смазки при нагреве ее выше температуры 160 °С. Смазка аналог Литола, изготовленная на основе синтетического очищенного моторного масла, менее подвержена воздействию высоких температур. Данный факт можно объяснить особенностью основы, так как синтетика в общеизвестном плане окисляется более медленно, нежели минеральные масла нефтяного происхождения.

В целом анализируя результаты исследований установлено, что экспериментальные смазки аналоги товарного Солидола и Литола способны эффективно работать при высоких температурах, а их составы являются рациональными для использования в высоконагруженных узлах трения.

#### **4.7 Оценка смазывающих, противоизносных свойств составов смазок и определение параметров эффективности работы в узлах трения**

Смазывающие свойства пластичных смазок являются их важнейшей эксплуатационной характеристикой.

В условиях эксплуатации смазки претерпевает большие нагрузки, подвергаются воздействию высоких температур, в результате чего меняется их структура, ухудшаются противоизносные, антифрикционные и другие свойства.

Смазывающие свойства пластичных смазок определяются в основном характеристиками дисперсной фазы и составом присадок и наполнителей.

В нашем случае в качестве загустителей используются кальциевые мыла (КМ) на основе кубовых остатков СЖК и литиевые мыла, а в качестве присадки рассматривалось применение широко известная присадка ДФ-11.

Для повышения смазывающих, связывающих свойств получаемых аналогов Солидол Ж и Литол - 24 рассматривается как дополнительный наполнитель рас-

плавленный карбамид.

Карбамид по аналогии «работы» в маслах способен значительно повысить противоизносные свойства смазочного материала [68,102,144,145,96,146].

Испытания, проводимые на машине трения по специально разработанной методике (3.7).

На первом этапе испытаниям подвергался товарный Солидол Ж.

Температурный режим испытаний выбирался, исходя из необходимости проверки работы смазки в жестких условиях.

На рисунке 4.25 представлена зависимость изменения диаметра пятна износа шариков от температуры нагрева смазки.

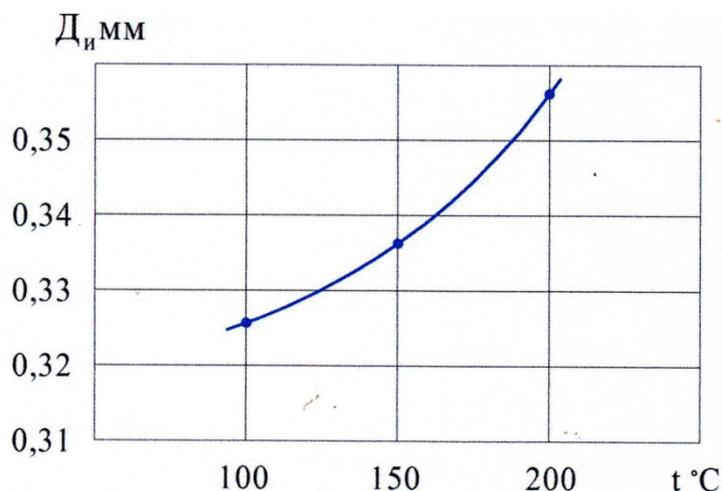


Рисунок 4.25 – Изменение противоизносных ( $D_{и}$ ) свойств смазки Солидол Ж в зависимости от температуры нагрева

Установлено, что с ростом температуры противоизносные свойства изменяются практически линейно – ухудшаются, что подтверждает теоретические предпосылки.

На следующем этапе исследования оценке подвергался состав, состоящий из дисперсионной среды - глубокоочищенное отработанное масло (ММОМ) плюс дисперсная фаза КМ, и состав, состоящий из дисперсионной среды - глубокоочищенное отработанное (ММОС) синтетическое масло плюс КМ, рисунок 4.26.

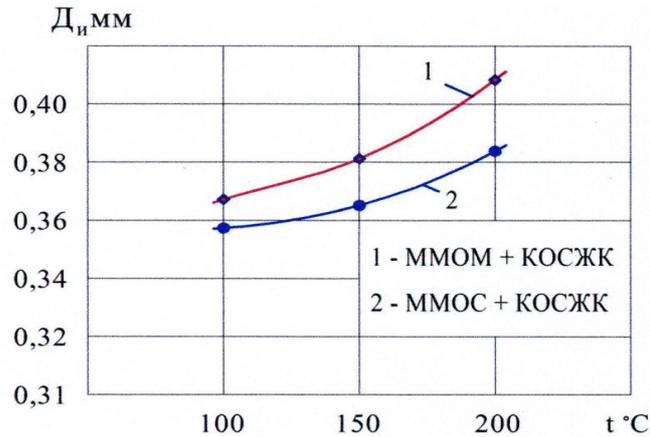


Рисунок 4.26 – Изменение противоизносных свойств смеси дисперсионной среды и дисперсной фазы от температуры нагрева смазки

Анализируя полученные данные, следует отметить, что состав, состоящий из очищенного отработанного моторного масла и загустителя КМ имеет худшие противоизносные свойства, нежели товарный Солидол Ж.

Более высокие противоизносные свойства показывает состав на основе очищенного моторного синтетического моторного масла загущенного КМ. Для рассмотрения вопросов повышения смазывающих свойств составов 1 и 2 в них вводились добавки присадки ДФ-11 и расплава карбамида. На рисунке 4.27 показана динамика изменения диаметра пятна износа шариков в составах 1, 2 от внесения в состав 1 присадки ДФ-11.

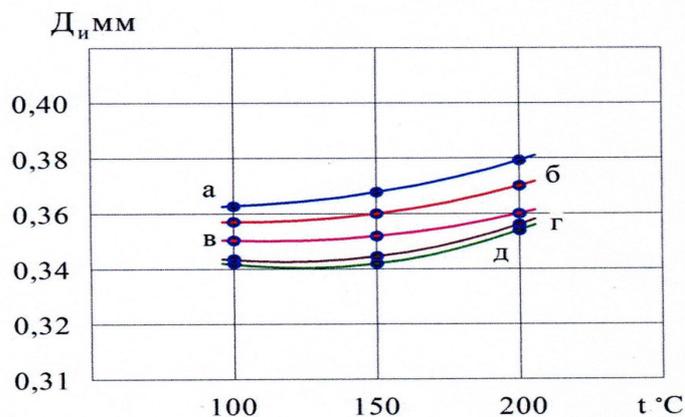
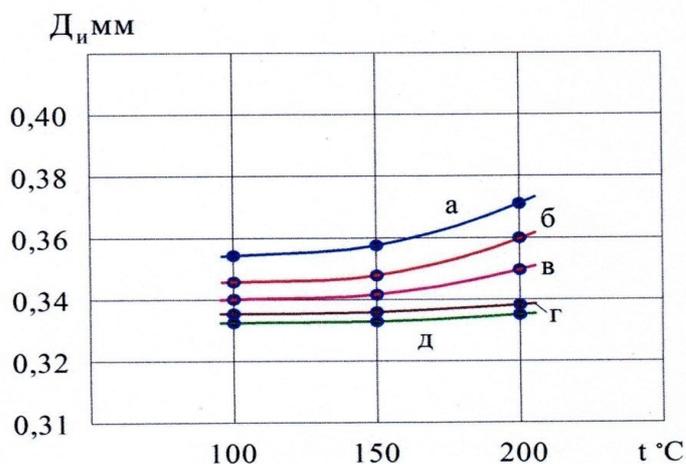


Рисунок 4.27 – Изменение диаметра пятна износа шариков работающих в смазке 1 при различной температуре нагрева в зависимости от концентрации присадки ДФ-11

Следует отметить, что внесение присадки ДФ-11 позволяет увеличить противоизносные свойства состава 1 и по мере увеличения концентрации внесения диаметр пятна износа уменьшается, рисунок 4.26. При этом эти составы (а, б, в, г, д) обладают лучшими противоизносными свойствами и при увеличении температуры нагрева до 200 °С.

Исследования по улучшению противоизносных свойств состава, состоящего из очищенного отработанного синтетического моторного масла загущенного КМ (2), показали еще более высокие результаты (рис. 4.28), в сравнении с первым экспериментом, где в качестве дисперсионной среды выступало очищенное отработанное минеральное масло.

В ходе проведения исследований по оценке противоизносных свойств смазок рассматривалось влияние карбамида на смазывающие характеристики анализируемых составов.



а) 0,5 %; б) 1 %; в) 1,5 %; г) 2%; д) 2,5 %

Рисунок 4.28 – Изменение диаметра пятна износа шариков работающих в смазке 2 при различной температуре нагрева в зависимости от концентрации присадки ДФ-11

Карбамид на основании ранее известных исследований значительно увели-

чивает смазывающие свойств масел [68,147,145]. Эти доводы подтверждались и при проведении исследований по получению дисперсионной среды и отработанных минеральных моторных масел. К тому же карбамид может обладать свойствами дополнительного загустителя связующего материала. Карбамид вносили в смазку в расплавленном состоянии от 1 до 4 % масс к составу: дисперсионная среда плюс дисперсная фаза.

На рисунке 4.29 а и б представлены зависимости изменения диаметра пятна износа от концентрации внесения расплава карбамида в составы на основе минерального отработанного очищенного масла (а) и синтетического очищенного отработанного масла (б) при различной температуре нагрева смазки.

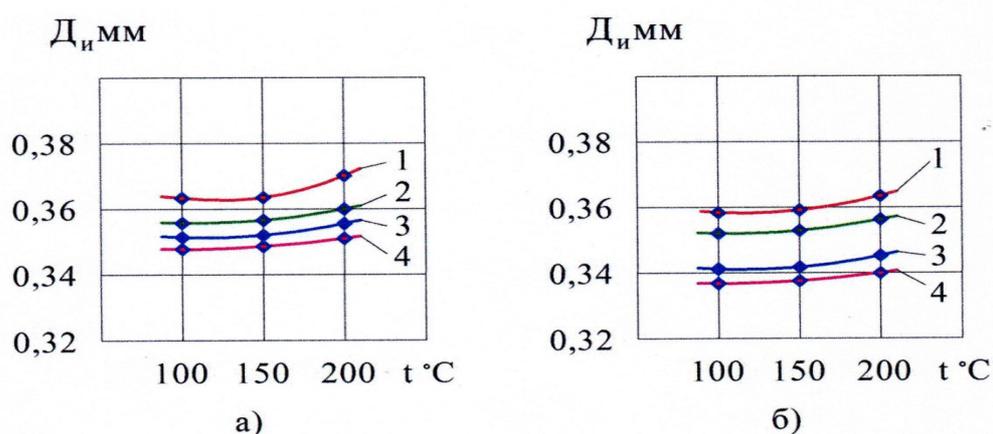


Рисунок 4.29 – Зависимости изменения противоизносных свойств  $D_w$  от концентрации вносимого карбамида

Анализируя полученные зависимости можно утверждать, что и в составе на основе минерального отработанного масла и составе на основе синтетического масла противоизносные свойства смазок улучшаются.

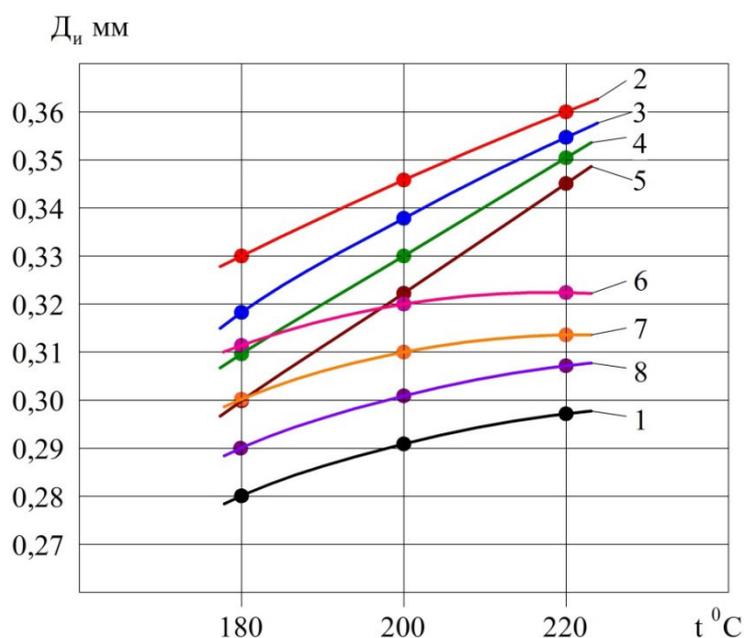
Вышеприведенное, описывает противоизносные, смазывающие свойства аналога пластичной смазки Солидол, получаемой на основе отработанных минеральных и синтетических моторных масел.

На следующем этапе рассматривались противоизносные свойства экспери-

ментальных смазок аналогов Литол – 24.

На рисунке 4.30 представлены зависимости изменения противоизносных свойств составов на основе очищенного минерального масла от температуры нагрева при различной концентрации введения присадок.

Анализируя полученные данные, представленные на графике 4.30 следует отметить, что товарная смазка Литол-24 (линия 1) имеет высокие противоизносные свойства, что не свойственно смеси дисперсионной среды и дисперсной фазы 2 (базы). По мере внесения карбамида 3, 4, 5 свойства смазки повышаются. При смешивании базы (Б) с присадкой ДФ-11 диаметр пятна износа шариков на ЧШМТ уменьшается 6, 7.

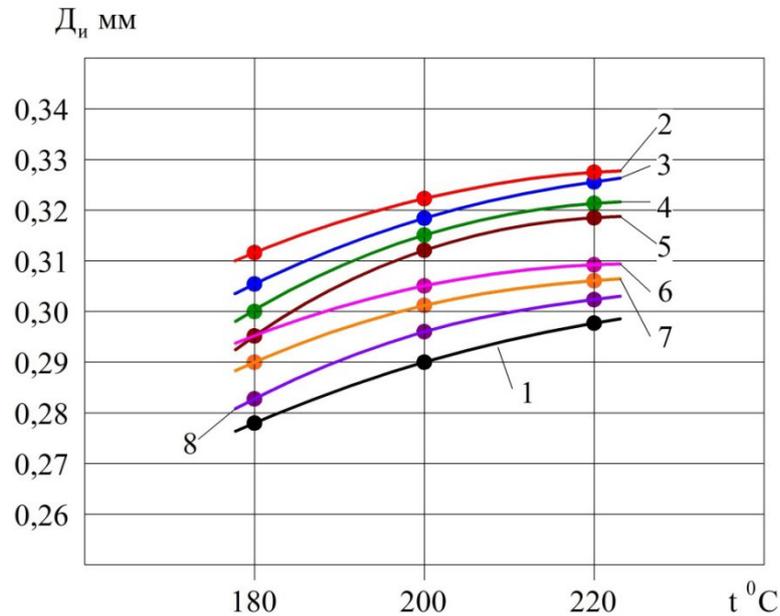


- 1 - Литол-24; 2 - дисперсионная среда + дисперсная фаза, (Б1); 3 - Б1 + 1% карбамида;  
 4 - Б1 + 2% карбамида; 5 - Б1 + 3% карбамида; 6 - Б1 + 1% присадки;  
 7 - Б1 + 2% присадки; 8 - Б1 + 3% присадки;

Рисунок 4.30 – Зависимость изменения диаметра пятна износа смазки от температуры нагрева, концентрации внесения наполнителя и противоизносной присадки ДФ-11

При использовании в качестве дисперсионной среды очищенного отрабо-

танного синтетического моторного масла получены еще более высокие эксплуатационные характеристики смазки (рис 4.31).



1 - Литол-24; 2 - дисперсионная среда + дисперсная фаза, (Б2); 3 - Б2 + 1% карбамида; 4 - Б2 + 2% карбамида; 5 - Б2 + 3% карбамида; 6 - Б2 + 1% присадки; 7 - Б2 + 2% присадки; 8 - 2-3% присадки;

Рисунок 4.31 – Зависимость изменения диаметра пятна износа смазки от температуры нагрева, концентрации внесения наполнителя и противоизносной присадки ДФ-11

Использование присадок, безусловно, позволяет повысить противоизносные свойства смазок, однако их применение требует дополнительных расходов и затрат, что противоречит принятой цели исследований.

Объективно, анализируя полученные результаты, следует заметить, что изменение  $D_{и}$  при внесении присадок не столь существенно по сравнению с изменением этой же характеристики в зависимости от исходных свойств дисперсионной среды, а именно остаточное содержание присадок в отработанном масле. В связи с чем для проведения дальнейших стендовых и производственных испытаний смазок принято решение исключить операцию внесения присадок в состав смазок и по конечным результатам принять решение о целесообразности их ис-

пользования.

Полученные результаты исследования корреспондируются с теоретическими предпосылками оценки эффективности работы пластичных смазок.

На основании сделанных предположений и полученных выражений оценим ресурс работы подшипника при использовании экспериментальной смазки  $L$  (2.68):

$$L = \frac{1}{0.8} \left( \frac{9000}{3.33} \right)^{3.33} = 3.4 \cdot 10^{11} \text{ мл. об.}$$

Полученное значение ресурса работы подшипника подтверждает высокие эксплуатационные характеристики образцов смазок, т.к. они выше известных значений при использовании товарных смазок.

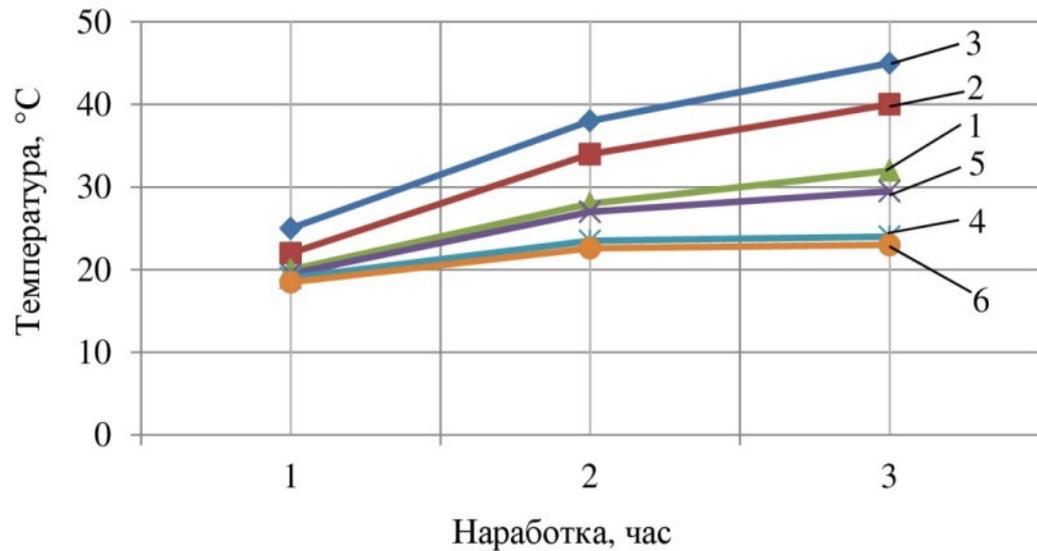
#### **4.8 Результаты сравнительных стендовых испытаний смазок в подшипниках качения**

Стендовые испытания смазок проводились на специально разработанном устройстве представленном в методике 3.8.

Исследования проводились в режиме сравнительных испытаний товарных смазок Солидол Ж, Литол – 24 и их аналогов на минеральной и синтетической основе в качестве которой использовалось очищенное по разработанным способом отработанное масло.

В процессе испытания контролировалась температура нагрева подшипников, потеря массы смазки за период испытаний, износ дорожек качения – под микроскопом, содержание железа в смазке, в зависимости от нагрузки на подшипниках.

В результате стендовых испытаний установлено, что в зависимости от времени работы температура нагрева обоих подшипников увеличивалась (рисунок 4.32).



1 – Солидол Ж, 2 – Солидол на синтетической основе, 3 – Солидол на минеральной основе, 4 – Литол – 24, 5 – Литол на минеральной основе, 6 – Литол на синтетической основе

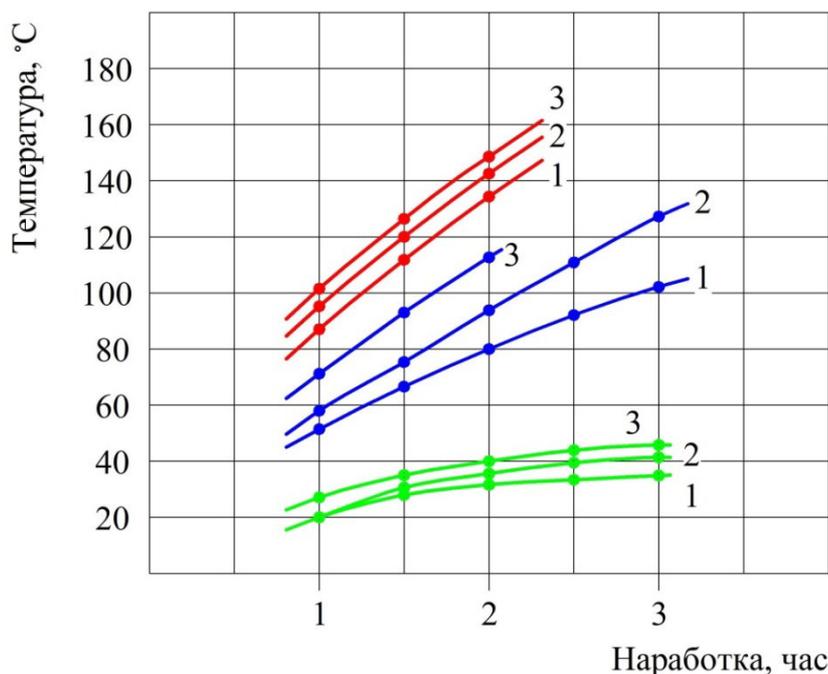
Рисунок 4.32 – Зависимость изменения температуры нагрева подшипника от времени работы при постоянной нагрузке

Анализируя характер изменения температуры, установлено, что все исследуемые образцы смазок в зависимости от времени работы имели температуру на подшипниках не превышающую 50 °С.

Лучшее значение имела товарная смазка Солидол Ж по сравнению с экспериментальными аналогами Солидола (2, 3).

При испытании смазок Литол 24 (4) и их экспериментальных аналогов, образец смазки на синтетической основе (6) показал более низкую температуру нагрева обоймы подшипника после 3 часов испытаний по сравнению с товарной смазкой.

Увеличение нагрузки на подшипниках привела к значительному изменению температуры нагрева обоймы подшипников (рисунок 4.33).



1 – товарная смазка Солидол Ж; 2 – Экспериментальная смазка Солидол (на синтетической основе); 3 – смазка Солидол на минеральной основе

Рисунок 4.33 – Зависимость изменения температуры на подшипниках смазываемых Солидолом от увеличения нагрузки

Следует отметить, что увеличение нагрузки с 10 Н до 20 Н, привело к резкому росту температуры во времени. А смазка 3 после 2 часов работы привела к нагреву обоймы подшипника до 120 °С.

Повышение нагрузки до критических значений 30 Н делает смазки Солидол практически малопригодными к использованию и в случае со смазкой 1, 3 произошло заклинивание подшипников. Подшипник, работающий на смазке Солидол (на синтетической основе) 2 продолжал вращение, т.е. оставался работоспособным.

Исследования свойств Литол - 24 и экспериментальных аналогов показали, что данные смазки, имеющие более высокие трибологические характеристики и эксплуатационные свойства (раздел 4.3 – 4.9), в подшипниках, работающих под нагрузкой, обеспечивают более высокую работоспособность узлов трения (рисунок 4.34)

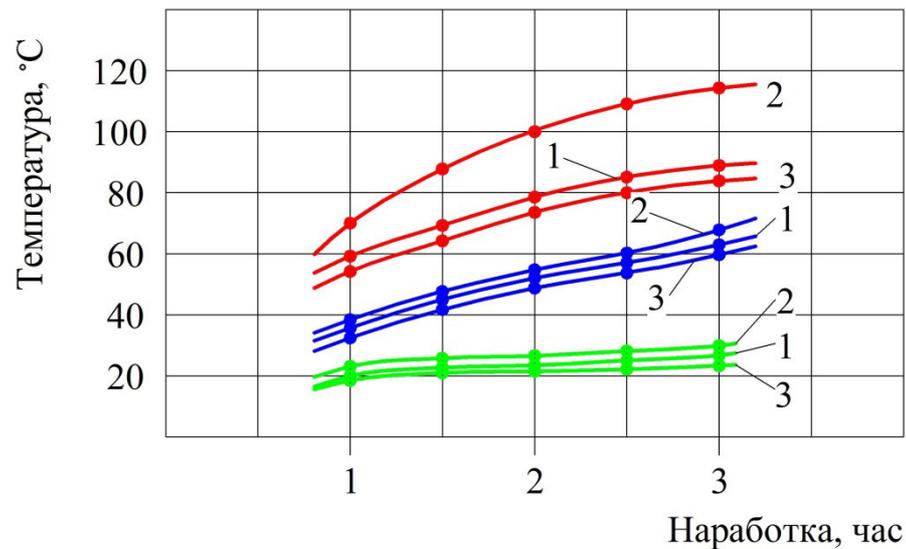


Рисунок 4.34 – Зависимость изменения температуры на подшипниках от нагрузки при испытании смазок Литол – 24 и его экспериментальных аналогов

Установлено, что смазки Литол способны более длительно работать при высоких нагрузках. При этом температура нагрева подшипника при максимальной нагрузке 30 Нм не превышала 100 °С, за исключением образца 2 Литола на минеральной основе, а экспериментальный образец Литола 3 на 5... 10 °С снижает нагрев, соответственно изменяет характер трения и износа деталей подшипников по сравнению с товарным Литолом – 24.

При температурах 20 – 30 °С и незначительных нагрузках смазки сохраняют приданную им «форму», не выбрасываются при вращении подшипников из открытых узлов трения и не сползают с наклонных и вертикальных поверхностей. При повышении нагрузки, и увеличении температуры, смазки деформируются, могут становиться текучими. При этом естественным образом изменяется толщина пленки между объектами трения, что приводит к повышенному износу трущихся деталей.

В результате проведенных исследований на стенде моделирующим работу подшипника, частота вращения подшипников на валу составила 1380 об/мин, что создает условия к центробежному уносу смазки при повышении температуры.

Для установления эффективности работы смазок и определения структурных изменений определялись потери массы смазки во времени в зависимости от

температуры нагрева смазки при постоянной частоте вращения подшипника и постоянной нагрузке.

Установлено, что потеря масс смазки в подшипниках зависит от температуры нагрева смазки, обеспечиваемой увеличением нагрузки на подшипник (рисунок 4.35) и увеличение времени испытаний (работы подшипника).

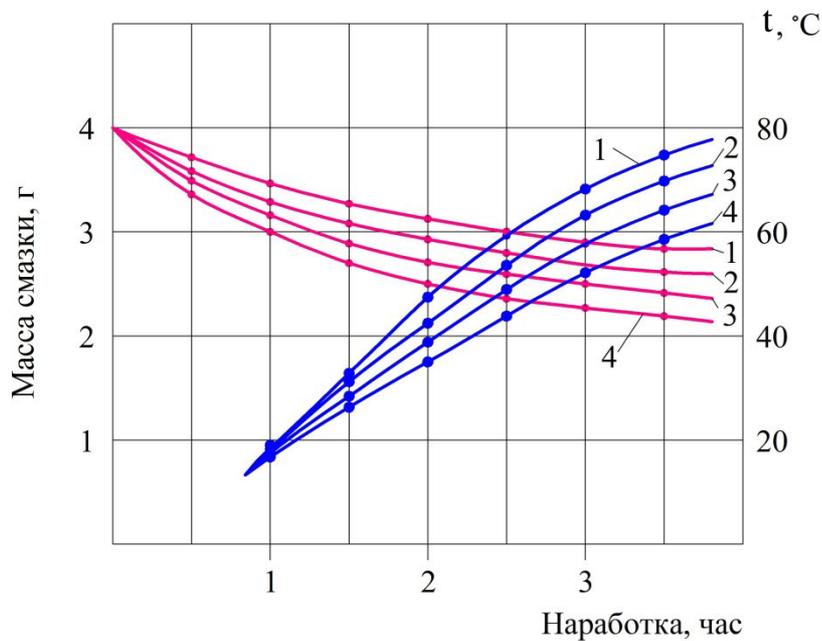


Рисунок 4.35 – Зависимость изменения потери массы смазки в подшипнике от времени испытания

Наименьшие потери в процессе вращения подшипников зафиксированы при испытании смазок аналога Литол 1, 2, 4 на синтетической основе и товарного Литол – 24 – 1,2 г.

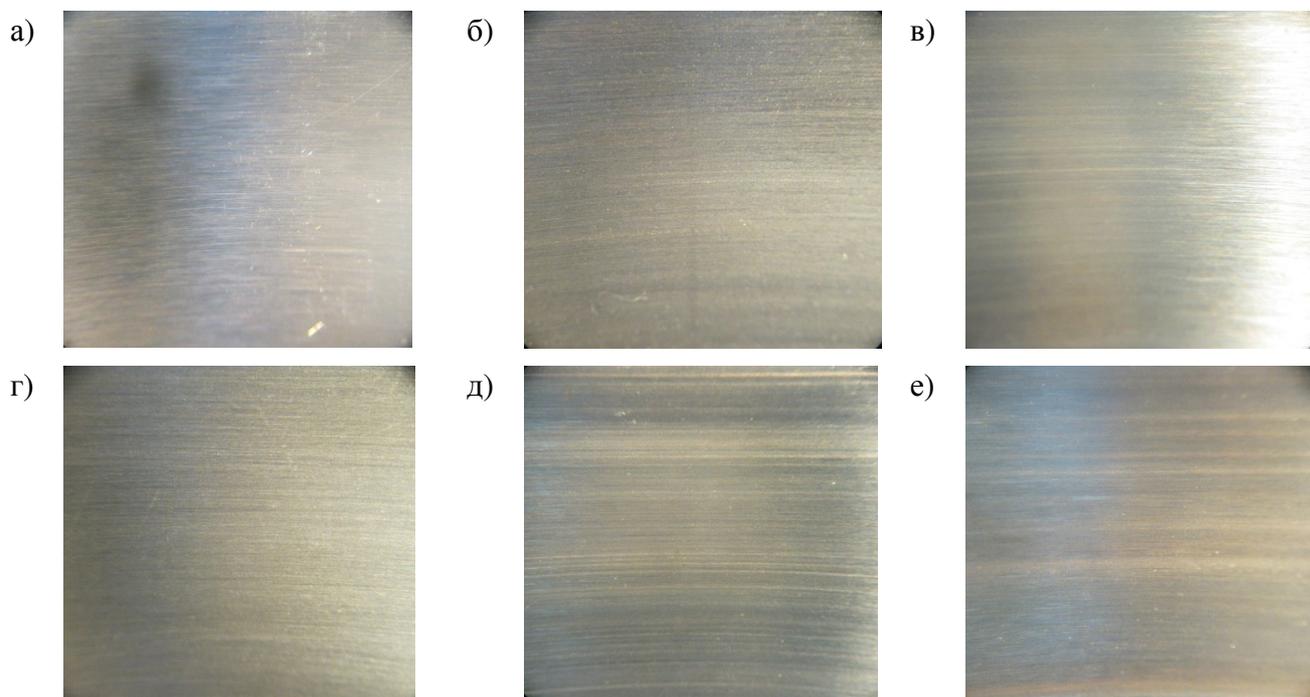
Данные факты можно объяснить более высокими вязкостно - температурными характеристиками смазок Литолов по сравнению с Солидолом.

Полученные результаты коррелируются и с более высокими адгезионными свойствами Литолов.

В процессе проведения стендовых испытаний наиболее важной и информативной характеристикой работы смазки является способность смазки снижать износ. Для наших условий износ определялся по характеру изменения поверхно-

стей дорожек качения контролируемых под микроскопом с проведением микрофотосъёмки.

На рисунке 4.35 а, б, в, г, д, е показаны следы износа дорожек качения неподвижных обойм подшипников до и после их испытаний в течение 3 часов.



а, г – фотография исходной поверхности; б – фотография поверхности после 3 часов испытаний на смазке Солидол Ж; в - фотография поверхности после 3 часов испытаний на экспериментальной смазке Солидол Ж (на синтетической основе); д - фотография поверхности после 3 часов испытаний на смазке Литол – 24; е - фотография поверхности после 3 часов испытаний на экспериментальной смазке Литол (на синтетической основе)

Рисунок 4.36 – Микрофотографии поверхностей износа подшипников

Анализируя микрофотоснимки установлено, что наибольший износ поверхности качения наблюдался у товарного Солидола Ж и Литола -24, при равных условиях испытаний с экспериментальными образцами – частота вращения – 1380 об/ мин, время испытаний 3 часа, нагрузка 20 Н.

Однако результаты микрофотосъёмки следов износа не дают количественной характеристики, что послужило основанием проведения анализа содержания железа в смазке до и после проведения испытаний таблица 4.8.

Таблица 4.8 – Содержания железа в смазке до и после проведения испытаний

Наименование образца смазки	Содержание железа в смазке, г/ кг.		
	Время, час.		
	1	2	3
Солидол Ж	0,0006	0,0008	0,0009
Экспериментальный образец Солидола	0,0003	0,0004	0,0006
Литол – 24	0,001	0,0012	0,0013
Экспериментальный образец Литола	0,0005	0,0006	0,0007

В результате анализа содержания железа в смазке установлено, что по мере увеличения продолжительности испытания содержание железа в смазках увеличивалось.

Сравнивая образцы товарной смазки Солидол Ж с экспериментальной смазкой Солидол установлено, что в товарной смазке за 1 час испытаний содержание железа увеличилось с 0,0006 до 0,0009, а экспериментального образца смазки с 0,0003 до 0,0006.

В процессе сравнительного анализа накопления железа в смазке Литол – 24 установлено, что максимальное количество железа 0,001 г/кг образовалось в смазке после 1 часа испытаний, далее процесс стабилизировался, и к концу испытаний отмечено увеличение железа в смазке на 0,0013%.

Аналогичные значения получены в ходе испытаний экспериментальной смазки Литол, при этом содержание железа в смазке выросло незначительно до 0,0005 г/кг, что характеризует высокие трибологические и эксплуатационные свойства экспериментального образца смазки Литол.

#### **4.9 Результаты производственных испытаний экспериментальных пластичных смазок в узлах сельскохозяйственной техники**

В соответствии с программой и методикой исследования производственные испытания образцов смазок аналогов Литол – 24 и Солидол Ж проводили в узлах трения уборочных машин, эксплуатируемых в ПЗ - колхоз имени Ленина Тамбовского района Тамбовской области.

Испытания проводились в июле-августе 2015 года. В один из опорных подшипников мотовил жаток заправлялась смазка Солидол Ж (товарный), в другой экспериментальный образец смазки Солидол на синтетической основе (рисунок 4.37).



Рисунок 4.37 – Общий вид МТА при испытании смазок в опорных подшипниках жатки ЖВН-4.9

В результате испытаний оценивалось изменение температуры узла трения в зависимости от наработки.

На рисунке 4.38 показана динамика изменения температуры опорного подшипника жатки в зависимости от времени работы смазки Солидол Ж и Солидол (экспериментальных образец).

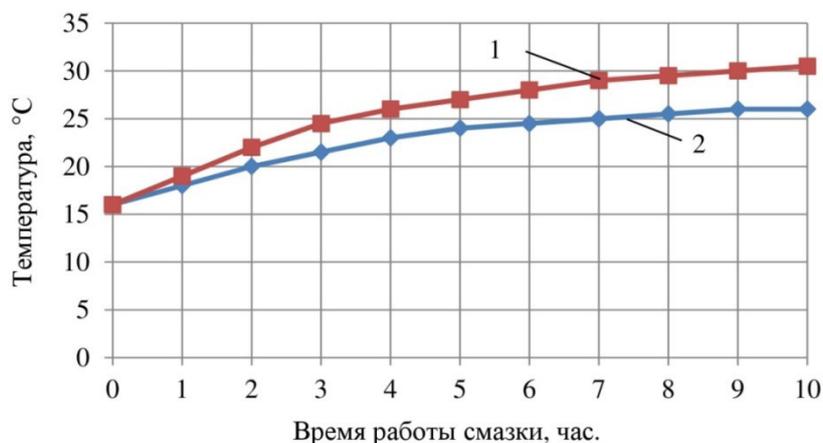


Рисунок 4.38 – Изменение температуры опорного подшипника в зависимости от наработки

Анализируя данные представленные на рисунке 4.37 установлено, что товарная смазка Солидол Ж (1) работала в установленном допустимом температурном режиме. При этом экспериментальная смазка (2), работавшая в другом подшипнике, имела значение температуры на 5 °С ниже, что косвенно говорит о более высоких её трибологических характеристиках.

В узле, где испытывалась экспериментальная смазка, на поверхности крышки подшипника (рисунок 4.39 а) практически отсутствовали следы выдавливания смазки по сравнению с узлом, где применялась товарная смазка (рисунок 4.39 б).

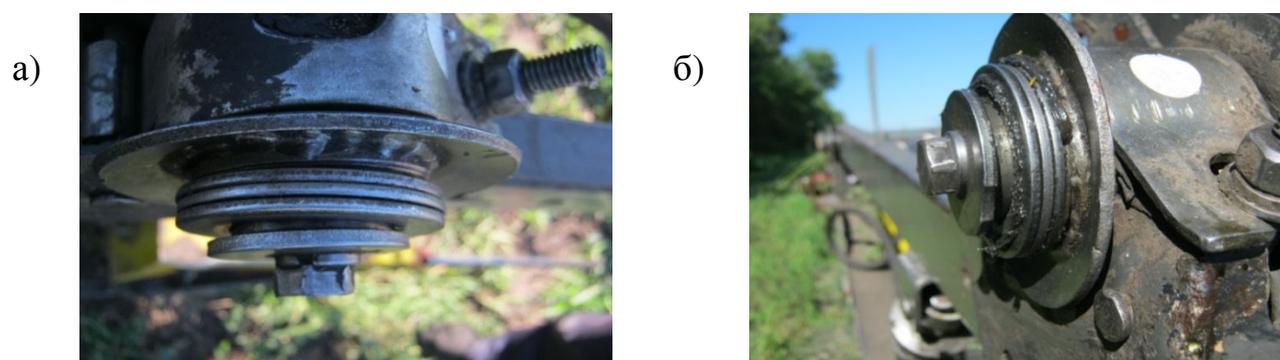
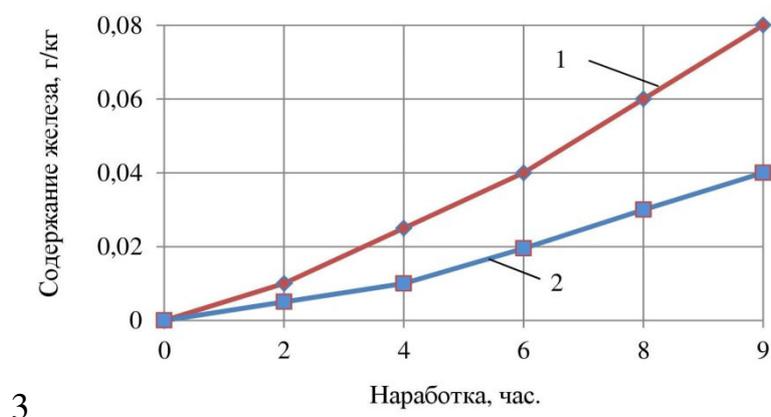


Рисунок 4.39 – Фрагмент поверхности корпуса опорных подшипников со следами смазки после 8 часов работы

Износ опорных узлов трения определялся на основании анализа содержания железа в смазке (рисунок 4.40).

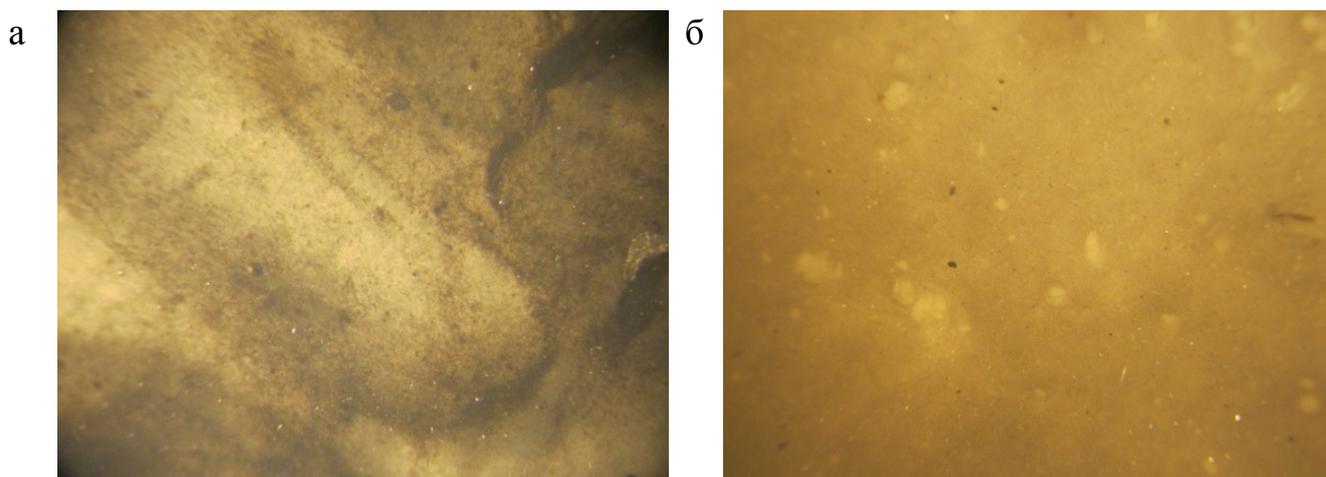


1 – товарная смазка, 2 – экспериментальная смазка

Рисунок 4.40 – Зависимость изменения содержания железа в смазке от наработки в узле трения

Установлено, что по мере наработки в товарной смазке содержание железа выросло за 8 часов работы узла трения с 0,001 до 0,06 г/кг. В то время как в смазке, приготовленной на основе очищенного отработанного синтетического масла, содержание железа увеличивалось с 0,001 до 0,03 г/кг, то есть в два раза меньше.

При этом следует учесть, что время работы узла трения составляло всего 8 часов, а опорные подшипники ранее не использовались, то есть, установлены новые.



а – товарная смазка, б – экспериментальная смазка

Рисунок 4.41 – Внешний вид и загрязненность смазок после 8 часов работы в узле трения

Анализируя внешний вид и загрязненность смазок под микроскопом (рисунок 4.41) установлено, что товарная смазка после 8 часов работы изменила цвет и приобрела более темный оттенок с видимыми многочисленными вкраплениями примесей (рисунок 4.41 а). Экспериментальная смазка имела более светлый цвет с единичными элементами загрязнений (рис 4.41 б).

На следующем этапе производственных испытаний в подшипниковые узлы трения комбайна Дон – 680 М закладывалась смазка Литол – 24 и экспериментальный образец Литола на синтетической основе.

Комбайны выполняли работы по уборке кукурузы на силос рисунок 4.42.



Рисунок 4.42 – Испытание смазки в узлах трения комбайна Дон 680 М колхоза ПЗ им. Ленина Тамбовского района Тамбовской области

Испытания проводились поочередно. На первой стадии в узлы закладывалась смазка Литол – 24 (товарная). Нарботка комбайнов составила 68 – 70 часов. На второй стадии в те же узлы заправлялась экспериментальная смазка аналог Литола.

Узлами заправки и проведения производственных испытаний выступали – ведомый привод левого торсиона жатки (рисунок 4.43 а); правый подшипник привода жатки (рисунок 4.43 б); привод барабана жатки (рисунок 4.43 в), подшипник режущего механизма (рисунок 4.43 г); ускоритель выгрузки (рисунок 4.43 д); привод жатки (ведомый шкив питающего аппарата) (рисунок 4.43 е).

В результате определения температуры в узлах трения установлено, что экспериментальный образец смазки Литол на синтетической основе способствовал снижению температуры в узлах трения в среднем на 5...15 % по сравнению с испытаниями в тех же узлах товарной смазки Литол – 24 (таблица 4.9).



Рисунок 4.43 - Фрагменты узлов жатки комбайна Дон 680 М, смазываемых экспериментальной смазкой

Таблица 4.9 – Изменение температуры деталей узлов трения в зависимости от наработки смазки

№ п/п	Заправляемые узлы комбайна Дон 680 М	Литол - 24			Экспериментальная смазка		
		Время работы, час					
		4	8	68	4	8	68
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Ведомый привод левого торсиона жатки	40	48	49	36	38	40
2	Правый подшипник привода жатки	28	30	35	26	28	28

Окончание таблицы 4.9

1	2	3	4	5	6	7	8
3	Привод барабана жатки	30	38	52	25	28	29
4	Подшипник режущего механизма	30	32	38	26	27	28
5	Ускоритель выгрузки	37	44	51	30	38	39
6	Ведомый шкив питающего аппарата	34	40	45	27	30	34

Экспериментальная смазка, работающая в правом подшипнике привода жатки практически не изменяла свои температурные характеристики на протяжении всего периода испытаний аналогично товарной смазке Литол – 24 (таблица 4.9). Значительные температурные изменения наблюдались в подшипниках привода барабана жатки, которые на момент окончания наблюдения в течении 68 часов работы составляли разницу более чем на 20 °С товарного образца смазок по сравнению с экспериментальной.

В целом в результате испытания установлено, что образец экспериментальной смазки не уступает товарному продукту.

Однако, как уже отмечалось, изменение температурных характеристик узла трения не всегда точно характеризует работу смазки и процессы, происходящие в узле.

Как показал опыт предыдущих испытаний смазок, содержание железа в смазке более адекватно характеризует процессы износа в узлах трения, с учетом того, что и техническое состояние узла, степень его износа, нагрузочные характеристики являются в процессе испытания равноценными.

На рисунке 4.44 показана динамика изменения содержания железа Fe в смазках работающих в различных узлах трения, на одних и тех же работах (при уборке кукурузы на силос), за равные промежутки времени.

В результате анализа установлено, что активное увеличение накопления примесей железа в смазке наблюдалось во всех узлах и на обоих образцах испытуемых смазок в первые 24 часа работы. Далее процесс стабилизировался.

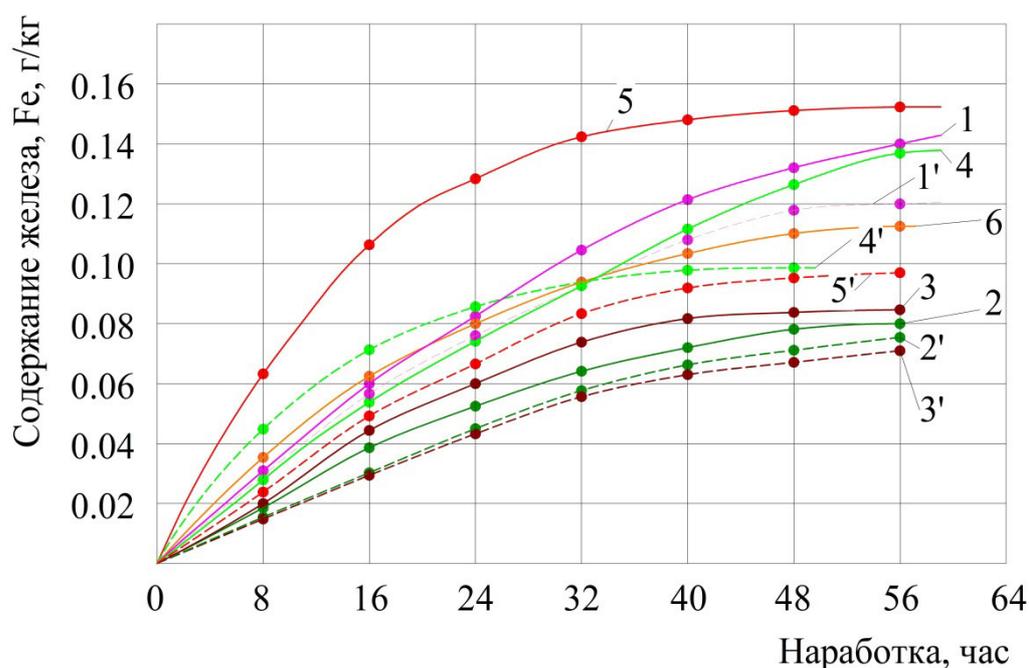


Рисунок 4.44 – Зависимость изменения содержания железа Fe в узле трения комбайна от наработки

Резкое увеличение содержания железа выявлено у образца смазки Литол – 24, работающей в ускорителе выгрузки.

Сравнивая испытываемые смазки Литол – 24 и его аналог можно сделать вывод, что экспериментальная смазка, полученная на основе отработанных очищенных синтетических масел в узлах трения комбайна Дон 680 М, имеет трибологические показатели идентичные как у смазки промышленного изготовления, а в некоторых случаях превосходит их.

Возвращаясь к результатам исследования по оценке противоизносных свойств можно считать принятое решение об отказе дополнительного внесения присадок рациональным, что подтверждено результатами стендовых и эксплуатационных испытаний смазок.

По результатам производственных испытаний получены акты и протоколы испытаний (Приложение 4), подтверждающие эффективность работы смазок в узлах трения сельскохозяйственной техники.

#### **4.10 Разработка устройства и технологического процесса получения пластичных смазок на основе отработанных моторных масел**

Смазки, состоящие из дисперсионной среды и дисперсной фазы предполагают использования достаточно сложного для условий предприятия АПК технологического процесса и оборудования для их приготовления.

В нашем случае для упрощения процесса приготовления смазок и снижения затрат на их получение предлагается в качестве дисперсионной среды использовать отработанное моторное масло. А процессы очистки отработанных масел и смешивания дисперсионной среды с дисперсной фазой предполагается проводить в одном устройстве реакторе – смесителе.

На первом этапе в реактор – смеситель закачивается отработанное масло. Масло нагревается, и далее в него в зависимости от типа основы масла минеральной или синтетической вносятся реагенты. Смесь перемешивается, отстаивается. Осадок примесей смол, асфальтенов удаляется. А верхняя отстаиваемая часть далее используется в этом же реакторе для дальнейшего приготовления смазки.

На следующем этапе в реактор – смеситель с очищенным отработанным маслом (дисперсионной средой) вносятся различные загустители в зависимости от вида полученной смазки – аналог Солидола, - аналог Литола – 24. Смесь перемешивается при определенной температуре специальной мешалкой, встроенной в реактор. После завершения внесения загустителей, присадок и их перемешивания с дисперсионной средой проводят процесс гомогенизации специально разработанным устройством насосом НШ-32 с насадкой.

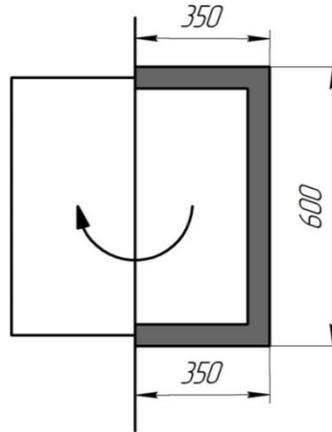
На основании вышеизложенных представлений, результатов теоретических исследований (раздел 2.3) и результатов экспериментальных исследований разделы (4.1, 4.2, 4.6) разрабатывается универсальное устройство реактор – смеситель.

Определяя параметры реактора в соответствии с выражением (2.16 – 2.20) установлено, что рациональными размерами бака является  $V=0,7 \text{ м}^3$  при диамет-

ре  $d_{\text{app}}=0,9\text{ м}$  и высотой  $H=1,1\text{ м}$ . Данные размеры рассчитываются при производительности получения смазки  $959,5\text{ л/сут}$ . Диаметр данной мешалки в соответствии с формулой 2.23 равен  $0,72\text{ м}$ .

Параметры заполнения аппарата (реактора – смесителя) [81]:

$$\gamma = 8 \cdot \frac{0,79}{0,9} + 1 = 8,02.$$



Толщина мешалки = 35 мм. (рама сварена из профиля квадратного сечения, размер самого мешающего органа:  $700\text{ мм} \cdot 600\text{ мм} \cdot 35\text{ мм}$ ). Находим данную площадь.

Площадь проекции мешалки на плоскость, перпендикулярную к направлению вращения мешалки согласно выражению 2.31 [148]:

$$f_i = (0,35 \cdot 0,035) + (0,6 \cdot 0,035) + (0,35 \cdot 0,035) = 0,01225 + 0,021 + 0,01225 = 0,0455\text{ м}^2$$

Вид выражения для вычисления значений  $K_1$ ,  $V_{\text{ср}}$ ,  $V(\text{гi})$  зависит от вида мешалки и величины гидравлического сопротивления внутренних устройств,  $R_{\text{BH}}$ :

$$R_{\text{BH}} = \sum_{i=1}^{z_g} \zeta_i \cdot f_i \quad (4.7)$$

$$R_{\text{BH}} = \sum_{i=1}^1 1,7 \cdot 0,0165 = 0,02805$$

Если  $R_{\text{BH}} \leq 0,1 \cdot D_{\text{app}} \cdot h$ , то эти величины определяются параметрами профиля окружной скорости смеси дисперсной фазы и дисперсионной среды в аппарате  $\psi_1$  и  $\psi_2$  [148].

Таким образом, при  $R_{BH} \leq 0,1 \cdot d_{ann} \cdot H$ , уравнение равенства моментов решается относительно параметра  $\psi_1$ .

$$R_{BH} \leq 0,1 \cdot 0,9 \cdot 1,1$$

$$0,02805 < 0,099$$

Причём известно, что корень этого уравнения находится внутри отрезка:

Для рамных и якорных мешалок при  $R_{BH} \leq 0,1 \cdot d_{ann} \cdot H$  и  $d_{анп}/d_M \leq 1,5$ :

$$K1 = (\psi_1 + \psi_2)^2; \quad (4.8)$$

$$V_{cp} = \frac{(1 + 0,4 \cdot \psi_1) + (0,5 \cdot \psi_2) + (1,75 \cdot (1 + \psi_1 + \psi_2)) \cdot (\Gamma_d - 1)}{2 \cdot \frac{d_{ann}}{d_M}}; \quad (4.9)$$

$$V(r_i) = \frac{(1 + \psi_1 + \psi_2)}{2}. \quad (4.10)$$

Определяем параметры распределения скорости  $\psi_1, \psi_2$ , путем решения уравнения равенства моментов [148].

Значения  $\psi_1$  и  $\psi_2$  связаны соотношением:

$$\psi_2 = -S_1 - S_2 \cdot \psi_1, \quad (4.11)$$

где коэффициенты  $S_1$  и  $S_2$  зависят от отношения  $D_{анп}/d_M$ :

при  $d_{анп}/d_M > 1,5$ :

$$S_1 = 0,5; S_2 = 1,25,$$

при  $d_{анп}/d_M \leq 1,5$ :

$$S_1 = \frac{7 \cdot \Gamma_d - 6}{21 \cdot \Gamma_d - 20}; \quad (4.12)$$

$$S_2 = \frac{28 \cdot \Gamma_d - 27}{21 \cdot \Gamma_d - 20}, \quad (4.13)$$

Определим коэффициенты  $S_1$  и  $S_2$  по формуле:

$$S_1 = \frac{7 \cdot 1,25 - 6}{21 \cdot 1,25 - 20} = \frac{2,75}{6,25} = 0,44;$$

$$S_2 = \frac{28 \cdot 1,25 - 27}{21 \cdot 1,25 - 20} = \frac{8}{6,25} = 1,28$$

Находим  $\psi_1$ , причем известно, что решение находится внутри отрезка:

$$\psi_1 \in \left[ \frac{S_1}{1-S_2}; \frac{S_1-1}{1-S_2} \right]; \quad (4.14)$$

$$\psi_1 \in \left[ \frac{0,44}{-0,28}; \frac{-0,56}{-0,28} \right];$$

$$\psi_1 \in [-1,57; 2].$$

Из условия равенства моментов, получим:

$$M_{KP}(\psi_1) = M_{KOP}(\psi_1) + M_{BH}(\psi_1), \quad (4.15)$$

$$M_{BH}(\psi_1) = M_{KP}(\psi_1) - M_{KOP}(\psi_1), \quad (4.16)$$

Находим  $\psi_1, \psi_2$ ,

$$\psi_1 = f(M_{BH}(\psi_1), \psi_1), \psi_1 = -0,52$$

$$\psi_2(\psi_1) = 0,288$$

Определяем относительную осредненную окружную скорость течения смазки в аппарате по формуле:

$$\begin{aligned} v_{cp} &= \frac{1 + 0,4 \cdot (-0,52) + (0,5 \cdot 0,288) + 1,75 \cdot (1 - 0,52 + 0,288) \cdot (1,25 - 1)}{2 \cdot 1,25} = \\ &= \frac{0,792 + 0,144 + 0,336}{2,5} = 0,5088 \end{aligned}$$

Определим относительную окружную скорость:

$$v(r_i) = \frac{(1 + (-0,52) + 0,288)}{2} = \frac{0,768}{2} = 0,384$$

По формуле (2.30) определим момент сил сопротивления на стенках аппарата:

$$M_{KOP} = \frac{3,14}{2,2} \cdot \frac{0,197238}{54121^{0,25}} \cdot 8,02 \cdot 1,25^{2,75} \cdot 0,5088^{1,75} = 0,125$$

Определим момент сил сопротивления на внутренних устройствах:

$$\begin{aligned} M_{BH} &= (1,25)^3 \cdot 1,7 \cdot 0,0455 \cdot \frac{[0,384]^2 \cdot 0,35}{(0,45)^3} = 1,953125 \cdot 1,7 \cdot 0,0455 \cdot 0,05663605 = \\ &= 0,00855 \end{aligned}$$

Выполним проверку равенства моментов, по формуле 2.27.

Для определения крутящего момента ( $M_{KP}$ ), [148] приложенного к смазке при вращении мешалки, необходимо определить коэффициент мощности перемешивания:

$$K1 = (\psi_1 + \psi_2)^2 = (-0,52 + 0,288)^2 = 0,05382;$$

Далее определим крутящий момент, приложенный к смеси дисперсионной среды и дисперсной фазы при вращении мешалки:

$$M_{KP} = Z_M \cdot \zeta \cdot K1; \quad (4.17)$$

$$M_{KP} = 1 \cdot 1,7 \cdot 0,053824 = 0,0915008$$

Так как равенство моментов должно выполняться, подставим полученные значения  $M_{КОР}$  и  $M_{ВН}$  в уравнение 2.27:

$$0,0915008 = 0,0837 + 0,00855$$

$$0,0915008 \approx 0,09225$$

Вычислим критерий мощности перемешивания (центробежный критерий Эйлера) по выражению 2.34:

$$K_N = 3,87 \cdot 1 \cdot 1,7 \cdot 0,053824 = 0,36$$

Определяем мощность, затрачиваемую непосредственно на перемешивание (2.23):

$$N = 0,36 \cdot 0,87 \cdot 24^3 \cdot 0,72^5 = 0,36 \cdot 0,87 \cdot 13824 \cdot 0,195 = 850 \text{ Вт}$$

Мощность привода с учётом пусковых нагрузок согласно формуле 2.35 равна 1275 Вт

В соответствии с чем выбирается электродвигатель мощностью  $N=1,5$  кВт

Далее проведем расчет вала мешалки для нашей среды.

Определим эксцентриситет массы мешалки:

$$e = \frac{10^{-3}}{\sqrt{\omega}} = \frac{10^{-3}}{\sqrt{3,98}} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad (4.18)$$

Относительная координата опасного по жесткости сечения в месте установки уплотнения вала:

$$\bar{z}_1 = \frac{Z_1}{l} = \frac{0,35}{5} = 0,07$$

В месте установки перемешивающего устройства:

$$\bar{z}_{11} = \frac{Z_{11}}{l} = \frac{3,5}{4,5} = 0,78$$

Безразмерный динамический прогиб вала:

а) в пролете консольного вала

$$\bar{y}_{z_1} = k_2 \bar{l} = 0,12 \cdot 0,078 = 0,00936$$

б) на консоли консольного вала

$$\bar{y}_{z_{11}} = f(\bar{z}_{11}; \bar{L}) = f(0,78; 0,078);$$

$$\bar{y}_{z_{11}} = 0,928$$

Приведенный эксцентриситет массы перемешивающего устройства для пролета АБ консольного вала по формуле (рис 2.9):

$$e_{1ПП} = \frac{e_1}{y_{e1}} = \frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{0,0468} = 0,0107 м$$

Для консоли БВ консольного вала по формуле:

$$l_{1ПП} = \frac{e_{11}}{y_{e11}} = \frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{0,92} = 0,5 \cdot 10^{-3} м$$

Приведенная масса вала согласно формулам [148] составляет для консольного вала постоянного сечения:

$$m_{ВПР} = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot \rho \cdot l_2}{4} \cdot \int_0^1 d_z^2 \cdot \sin^2\left(\frac{\pi \cdot z}{l}\right) dz = 0,5 \cdot m \cdot \pi \cdot l_2 = 0,5 \cdot 39,4 \cdot 4,5 = 88,65 \text{ кг} \quad (4.19)$$

Смещение оси вала от оси вращения за счет зазоров в опорах для пролета АБ консольного вала:

$$\Delta Z_1 = (\Delta A + \Delta B) \cdot \frac{Z_1}{l} - \Delta A \quad (4.20)$$

$\Delta A, \Delta B$  - радиальные зазоры в опорах

$$\Delta A = 0,01 \cdot 10^{-3} м$$

$$\Delta B = 0,017 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$\Delta Z_1 = (0,01 \cdot 10^{-3} + 0,017 \cdot 10^{-3}) \cdot \frac{0,35}{5} - 0,01 \cdot 10^{-3} = -0,00811 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad (4.21)$$

для консольного участка БВ:

$$\Delta Z_{11} = (\Delta A + \Delta B) \cdot \left( \frac{Z_{11} + l}{l} \right) - \Delta A \quad (4.22)$$

$$\Delta Z_1 = (0,01 \cdot 10^{-3} + 0,017 \cdot 10^{-3}) \cdot \left( \frac{4,5 + 5}{5} \right) - 0,01 \cdot 10^{-3} = 0,0413 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad (4.23)$$

Смещение оси вала от оси вращения за счет начальной изогнутости вала (радиальное биение вала):

в месте установки мешалки по формуле :

$$Ee_1 = E_B \cdot \bar{y} e_1 \quad (4.24)$$

$E_B$  - начальная изогнутость вала в точке В по условию  $E_B = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$

Тогда  $Ee_1 = 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,0468 = 0,023410^{-3} \text{ м}$

$$Ee_{11} = 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,92 = 0,46 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

в месте установки уплотнения вала

$$Ez_1 = E_B \cdot \bar{y}_{z1} = 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,00936 = 0,023410^{-3} \text{ м}$$

$$Ez_{11} = E_B \cdot \bar{y}_{z11} = 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,92 = 0,46 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Смещение оси вала от оси вращения в точке приведения В за счет зазоров в опорах :

для консольного вала

$$\Delta B = (\Delta A + \Delta B) \cdot \frac{l_2}{l_1} - \Delta A = (0,01 \cdot 10^{-3} + 0,017 \cdot 10^{-3}) \cdot \frac{5}{4,5} - 0,01 \cdot 10^{-3} = 0,02 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad (4.25)$$

Приведенный эксцентриситет массы вала с мешалкой:

для пролета АБ консольного вала:

$$C_{\text{ПР}} = \frac{m_{\text{ЛПР}} \cdot C_{\text{ЛПР}}}{m_{\text{ЭПР}} + m_{\text{ВПР}}} + \Delta B + E_B = \frac{139 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3}}{139 + 88,65} + 0,02 \cdot 10^{-3} + 0,5 \cdot 10^{-3} = 0,825 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad (4.26)$$

Динамический прогиб оси вала в точке приведения В:

$$y_B = \frac{e_{PP}}{\left(\frac{\omega_{KP}}{\omega}\right)^2 - 1} \quad (4.27)$$

для пролета АБ:

$$y_B = \frac{7,05 \cdot 10^{-3}}{\left(\frac{2,26}{3,98}\right)^2 - 1} = -10,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

для консоли БВ:

$$y_B = \frac{0,825 \cdot 10^{-3}}{\left(\frac{2,26}{3,98}\right)^2 - 1} = -1,22 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Динамическое смещение центра тяжести мешалки:

для пролета АБ

$$A_{e_1} = y_B \cdot \bar{y}_{e_1} + E_{e_1} + \Delta_{e_1} + e_1 = -10,4 \cdot 10^{-3} \cdot 0,0468 + 0,0234 \cdot 10^{-3} \cdot 0,00468 \cdot 10^{-3} + 0,5 \cdot 10^{-3} = 0,0414 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

для консоли БВ

$$A_{e_{11}} = y_B \cdot \bar{y}_{e_{11}} + E_{e_{11}} + \Delta_{e_{11}} + e_{11} = -1,22 \cdot 10^{-3} \cdot 0,92 + 0,46 \cdot 10^{-3} + 0,46 \cdot 10^{-3} + 0,5 \cdot 10^{-3} = -0,298 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Динамическое смещение оси вала в опасном по жесткости сечении в месте установки уплотнения вала:

$$A_{z_1} = y_B \cdot \bar{y}_{z_1} + E_{z_1} + \Delta_{z_1} = -10,4 \cdot 10^{-3} \cdot 0,00936 + 0,00468 \cdot 10^{-3} - 0,00468 \cdot 10^{-3} = -0,0973 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$A_{z_{11}} = y_B \cdot \bar{y}_{z_{11}} + E_{z_{11}} + \Delta_{z_{11}} = -1,22 \cdot 10^{-3} \cdot 0,92 + 0,46 \cdot 10^{-3} - 0,46 \cdot 10^{-3} = -1,12 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Условие жесткости в зоне уплотнительного устройства

$$A_{z_1} \leq [A_{z_1}]$$

$[A_{z_1}]$  - допускаемое смещение вала в зоне уплотнительного устройства

$$[A_{z_1}] = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

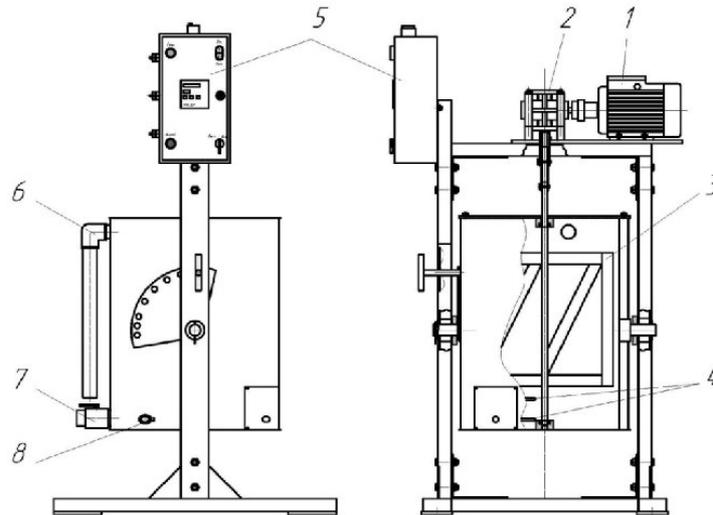
Таким образом условие жесткости в зоне уплотнения  $0,097310^3 \text{ м} < 0,1 \cdot 10^3$  выполняется.

На основании проведенных расчетов разработана конструкторская документация и изготовлен реактор – смеситель (рисунок 4.45).



Рисунок 4.45 – Общий вид реактора – смесителя для приготовления смазок

На рисунке 4.46 представлена принципиальная схема реактора смесителя.



1 – электродвигатель, 2 – редуктор, 3 – перемешивающее устройство, 4 – электронагревательные элементы, 5 – панель управления, 6 – устройство предотвращения перенаполнения, 7 – кран для выдачи смазки, 8 – датчик УМС 0837,  
 Рисунок 4.46 – Принципиальная схема реактора – смесителя для получения смазок на основе отработанных очищенных масел

После завершения этапа проектирования и изготовления опытного образца устройства (реактора-смесителя) для получения смазок проводился ряд многократных экспериментов для подтверждения правильности определения составов смазок и эффективности работы в больших объёмах.

На рисунке 4.47 представлена графическая зависимость температуры каплепадения от времени перемешивания в аппарате и концентрации дисперсной фазы С.

Рисунок 4.47 – Зависимость изменения температуры каплепадения от времени перемешивания и концентрации смешиваемых составов дисперсионной среды и дисперсной фазы

На рисунок 4.48 представлена зависимость изменения потребляемой мощности от времени перемешивания и концентрации дисперсной фазы С.

Рисунок 4.48 – Зависимость изменения потребляемой мощности от времени перемешивания и концентрации.

Методика и результаты аппроксимации целых функций представлены в Приложении 5, 6. Оптимальное решение 2- критериальной задачи при весовых коэффициентах  $c_0 = c_1 = 0,5$ .

Концентрация (С) = 0,2;  $ds/df = 80/20$ ; время перемешивания ( $\tau$ ) = 70 мин; при этом температура каплепадения ( $t$ ) = 104 °С; потребляемая мощность (N) = 0,55 кВт.

Полученные данные корреспондируются как с теоретическими расчетами при создании универсального устройства для получения смазок, так и предыдущими результатами лабораторных исследований и моделирования процесса получения смазок.

В целом разработанное устройство отвечает требованиям разработанного технологического процесса получения смазок (Приложение 8, 9).

На этапе завершения процесса получения смазки используется экспериментальный гомогенизатор, представляющий собой насадку на выходе насоса НШ – 32 (рисунок 4.49).



Рисунок 4.49 – Общий вид гомогенизатора

В результате экспериментальных исследований установлено, что простейшее устройство позволяет достаточно эффективно осуществлять процесс гомогенизации. В таблице 4.10 представлены результаты экспериментов по осуществлению процесса гомогенизации.

Таблица 4.10 - Результаты исследований по гомогенизации экспериментальных смазок аналогов Солидол Ж и Литол 24

Состав смазки	Температура каплепадения °С			
	Время гомогенизации, мин			
	5	10	15	20
Аналог Солидола	80	87	95	96
Аналог Литола	164	175	182	184

В результате исследования по определению времени гомогенизации пластичных смазок на основе отработанных масел, установлено что необходимое время процесса обработки составляет 15 минут как для аналогов Солидол, так и для аналогов Литол.

Разработанные реактор – смеситель и технологический процесс приготовления смазок внедрен в ООО «МИПП ЭнергоОйл» г. Мурманска (рисунок 4.50). Предприятие изготавливает смазки Литол – 24 и Солидол Ж и реализует их как автотранспортным так и сельскохозяйственным предприятиям региона. Справка о внедрении (Приложение 7).



Рисунок 4.50 - Участок получения дисперсионной среды на основе отработанных масел и приготовления пластичных смазок  
ООО «МИПП ЭнергоОйл» г. Мурманска

В 2015 году на основании договора о научно – техническом сотрудничестве между ФГБНУ ВНИИТИН и ООО «Завод смазок ПРОМ-ОИЛ» г. Иваново внедрен технологический процесс приготовления смазок на основе отработанных моторных масел (рисунок 4.51)



1 – реактор-смеситель, 2 - гомогенизатор  
Рисунок 4.51 – Линия производства пластичных смазок  
ООО «Завод смазок ПРОМ-ОИЛ» г. Иванова

Проведены работы по организации производства и отработке технологического процесса получения пластичных смазок на основе отработанных очищенных масел.

Разработанный состав и полученные образцы смазок проверены специалистами предприятия на предмет соответствия их свойств требованиям ГОСТ в аккредитованной лаборатории.

Установлено, что по всем показателям аналог соответствует или превосходит заявленные требованиям НТД.

ООО «Завод смазок ПРОМ-ОИЛ» в IV квартале 2015 года планирует произвести по представленному технологическому производству около 5 – 6 тонн смазки Литол – 24.

Акт внедрения в серийное производство пластичных смазок представлены в Приложение 10.

#### **4.11 Выводы**

1. В результате исследований по оценке эффективности действия разделяющих агентов в отработанном масле установлено, что наибольшим коагулирующим эффектом для укрупнения примесей в отработанных моторных масел на минеральной основе обладает смесь карбамида с изопропанолом. Рациональными характеристиками являются: концентрация 1 % карбамида с изопропиловым спиртом, температура нагрева 110-120 °С, время отстаивания 60 мин. В процессе очистки отработанных моторных масел на синтетической основе рационально использовать моноэтаноламин в концентрации 1,5 % при температуре 115-120 °С и отстаиванием в течении 150-180 мин. Дополнительное введение изопропилового спирта в концентрации 1 % позволяет сократить время отстаивания до 60 мин., что подтверждает теоретические подходы необходимости и эффективности нейтрализации действия моюще-диспергирующих присадок.

2. Определено, что рациональный состав пластичной смазки Солидол на основе дисперсионной среды – очищенного моторного масла состоит из 80 % основы и 20 % дисперсной фазы, состоящей из КОСЖК и водного раствора щелочи

1:2, позволяющий получить смазку с температурой каплепадения 90 °С. Рациональный состав смазки аналога Литол – 24 состоит из 80-81 % основы - очищенного отработанного моторного синтетического масла и 20-19 % дисперсной фазы состоящей из 12 – оксистеариновой кислоты и водного раствора гидроксида лития. Алгоритм приготовления состоит из смешивания ds с df при  $t=20$  °С, далее температуру поднимают до 100 °С и выдерживают 120 мин., после чего температуру поднимают до точки плавления мыла 230 °С и проводят окончательную обработку с гомогенизацией и охлаждением.

3. В результате оценки антикоррозионных и защитных свойств смазок экспериментальных аналогов Солидола Ж и Литола 24 установлено, что наиболее высокий потенциал коррозии у экспериментального Солидола на синтетической основе ( $\Delta E=0,162V$ ) несколько ниже показатели у смазки аналога Литол ( $\Delta E=0,107V$ ). Все образцы составов смазок обеспечивают высокую защитную эффективность стальных поверхностей.

4. Оценка изменения усилия на отрыв показала высокие адгезионные свойства экспериментальных смазок. Для смазки Солидол на синтетической основе 0,29 кН, для смазки Литол 0,31 кН, т.е. практически как у товарных смазок.

5. Исследованиями прочностных характеристик пластичных смазок установлено, что напряжение на сдвиг у экспериментальных смазок Солидол Ж при  $t=57 - 60$  °С составляет  $> 70$  Па, а экспериментальные смазки аналоги Литол на синтетической основе имеет прочностные характеристики  $> 500$  Па, т.е. в 2 раза выше чем у товарных смазок Литол 24.

6. Определено, что теплоемкость экспериментальных образцов пластичных смазок находилась в диапазоне 1600 – 2400 Дж/кг.К, т.е. аналогична товарным смазкам. Процесс окисления смазок зависит от температуры их нагрева и в диапазоне 100 – 170 °С кислотное число не превышает 3,5 мг КОН/г для аналога Солидола и 2 мгКОН/г для аналога Литола.

7. Оценка смазывающих и противоизносных свойств экспериментальных составов смазок показала, что диаметр пятна износа Д(и) изменяется в зависимости от температуры нагрева смазки. Для смеси ds и df у экспериментальных об-

разцов значения  $D(i)$  не превышало 0,38 мм т.е. на 15 – 20 % менее чем у товарных смазок. Внесение присадки ДФ-11 повышает смазывающие свойства смазки однако действие карбамида и остаточного содержания присадок в отработанных маслах создают аналогичные эффекты.

8. В результате стендовых испытаний смазок в подшипниках качения подтверждены высокие эксплуатационные составы экспериментальных образцов смазок. Установлена зависимость изменения температуры нагрева смазок от их состава с учетом увеличения нагрузки. Сравнительный анализ показал, что износ дорожек качения в товарных и экспериментальных смазок был аналогичным. Содержание железа в смазке после 60 мин. работы при максимальной нагрузке не превышало 0,001 г/кг.

9. Производственные испытания экспериментальных смазок в опорных подшипниках жатки ПН-35 и узлах трения жатки комбайна Дон 680 М показали, что температура нагрева узла трения с экспериментальной смазкой составляла разницу на 5 – 15 °С ниже чем в узлах работающих на товарной смазке, так же наблюдался снижение содержания продуктов износа (железа), которое составило после наработки 9 часов. у аналога 0,04 г/кг в то время как у товарной смазки 0,08 г/кг. Испытания образца аналога Литола показали высокие его эксплуатационные свойства, способность более эффективно удерживаться в узле трения, и возможность снижения температуры нагрева узла трения на 5 – 15 %.

10. В результате расчетов и последующего проектирования изготовлено оборудование для приготовления смазок. Предварительная проверка процесса и анализ смазок подтверждает верность расчетов оборудования и эффективность разработанного технологического процесса приготовления смазок на основе отработанных масел.

## 5 ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ОТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗРАБОТАННЫХ СОСТАВОВ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК НА ОСНОВЕ ОТРАБОТАННЫХ МАСЕЛ ВЗАМЕН ТОВАРНЫХ

Затраты на приобретение и использование пластичных смазок в общем объёме затрат при производстве сельскохозяйственной продукции не столь велики. Однако ставя вопросы и задачи в соответствии с целью работы, повышения эффективности использования ресурсов предполагается комплексное решение проблемы, заключающееся в снижении затрат на приобретение отработанных масел, тем самым снижении экологической загрязнённости среды, повышения надёжности работы машин увеличения сроков их службы за счет высоких противоизносных и других эксплуатационных свойств разработанных составов смазок и технологии их получения [132,126,99].

Экологическая эффективность рассчитывается для сельскохозяйственного предприятия среднего уровня с парком тракторов не более 30, комбайнов 20-25, автомобилей 20-30. Исходя из информации инженерных служб хозяйств подобного размера, объём потребляемых пластичных смазок Солидол Ж и Литол 24 составляет 1000 – 1500 кг в год [149,150].

Экономический эффект от использования пластичных смазок получаемых на основе отработанных масел определялся по формуле:

$$\mathcal{E}_c = \mathcal{Z}_{\text{см.т.}} - \mathcal{Z}_{\text{см.от.м.}} \quad (5.1)$$

где  $\mathcal{Z}_{\text{см.т.}}$  – затраты на использование товарной пластичной смазки, руб;  
 $\mathcal{Z}_{\text{см.от.м.}}$  – затраты на использование пластичной смазки на основе отработанных моторных масел, руб.

Данные для проведения расчетов приведены в таблице 5.1

Таблица 5.1 – Исходные данные для расчета

№ п/п	Показатели	Обозначение	Стоимость
1	Затраты на приобретение 12 оксистеариновую кислоту, руб	$Z_{12 \text{ окс}}$	20500
2	Затраты на приобретение гидроксида лития, руб	$Z_{\text{гид.лит.}}$	6100
3	Затраты на приобретение моноэтаноламина, карбамида руб	$Z_{\text{МЭА}}$	1318,4/800
4	Затраты на приобретение изопропилового спирта, руб	$Z_{\text{Изоп}}$	300
5	Фонд рабочего времени, ч	$T$	40
6	Стоимость оборудования, руб	$C_{\text{об}}$	25000

Затраты на изготовление пластичных смазок на основе отработанных моторных масел в условиях предприятия АПК:

$$Z_{\text{см.от.м.}} = C_{\text{об}} + C_{\text{к.п.п.с.}} + C_{\text{п.п.с.}}, \quad (5.2)$$

где  $C_{\text{об}}$  - стоимость оборудования для приготовления пластичных смазок, руб;  $C_{\text{к.п.п.с.}}$  – стоимость компонентов для приготовления пластичных смазок, руб;  $C_{\text{п.п.с.}}$  – себестоимость получения пластичной смазки, руб.

Себестоимость получения пластичной смазки определяем по формуле:

$$C_{\text{п.п.с.}} = ЗП + СВ + Z_{\text{сод}} + A_{\text{ОПФ}} + Z_{\text{проч}}, \quad (5.3)$$

где  $ЗП$  – суммарная заработная плата рабочих, руб.;  $СВ$  – страховые взносы (отчисления), руб.;  $A_{\text{ОПФ}}$  – амортизация основных производственных фондов, руб.;  $Z_{\text{проч}}$  – прочие расходы, которые относятся к данному структурному подразделению, руб.

Суммарная заработная плата рабочих:

$$ЗП = N \cdot C_{\text{ср.ч.}} \cdot T, \quad (5.4)$$

где  $N$  – количество рабочих, чел.;  $C_{\text{ср.ч.}}$  – средне часовая тарифная ставка рабочих, руб/час;  $T$  – годовой фонд рабочего времени, час.

Отчисления от фонда заработной платы (страховые взносы):

$$СВ = ЗП \cdot П, \quad (5.5)$$

где  $П$  – процент обязательных страховых взносов, %.

Затраты на содержание оборудования:

$$Z_{\text{сод}} = C_{\text{об}} \cdot 0,1, \quad (5.6)$$

Амортизация основных производственных фондов:

$$A_{\text{ОПФ}} = \frac{C_{\text{об}} \cdot N_{\text{ам}}}{100}, \quad (5.7)$$

где  $N_{\text{ам}}$  – норма амортизационных отчислений по производственному оборудованию, %.

Норма амортизационных отчислений по производственному оборудованию:

$$N_{\text{ам}} = \left(\frac{1}{n}\right) \cdot 100 \%, \quad (5.8)$$

где  $n$  – срок использования производственных фондов, лет.

Прочие расходы:

$$З_{\text{проч}} = ЗП \cdot 0,03. \quad (5.9)$$

Стоимость компонентов для приготовления 1 т. пластичной смазки:

$$C_{\text{к.п.п.с.}} = З_{\text{сыр}} + З_{\text{мыла}}, \quad (5.10)$$

где  $З_{\text{сыр}}$  – затраты на сырьё, руб.;  $З_{\text{мыла}}$  – затраты на приготовление дисперсной фазы (мыла), руб.

Затраты на сырьё для получения дисперсионной среды (очистку масла):

$$З_{\text{сыр}} = З_{\text{МЭА}} + З_{\text{Изоп}}, \quad (5.11)$$

где  $З_{\text{МЭА}}$  – затраты на моноэтаноламин, руб.;  $З_{\text{Изоп}}$  – затраты на изопропиловый спирт, руб.;

Затраты на приготовление мыла:

$$З_{\text{мыла}} = З_{12\text{ОСК}} + З_{\text{гид.лит.}}. \quad (5.12)$$

где  $З_{12\text{ОСК}}$  – затраты на приобретение 12 оксистеариновой кислоты, руб.;  $З_{\text{гид.лит.}}$  – затраты на приобретение гидроксида лития, руб.

Определение срока окупаемости рассчитывается по формуле:

$$S_{\text{ок}} = \frac{З_{\text{см.от.м.}}}{Э} \quad (5.13)$$

$$З_{\text{мыла}} = 20500 + 16100 = 36600 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{сыр}} = 800 + 300 = 1100 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{к.п.п.с.}} = 1100 + 36600 = 37700 \text{ руб.}$$

$$ЗП = 1 \cdot 60 \cdot 40 = 2400 \text{ руб.}$$

$$СВ = 2400 \cdot 0,3 = 720 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{проч}} = 2400 \cdot 0,03 = 72 \text{ руб.}$$

$$H_{ам} = \left(\frac{1}{8}\right) \cdot 100 \% = 12,5 \%$$

$$A_{опф} = \frac{25000 \cdot 12,5}{100} = 3125 \text{ руб}$$

$$Z_{сод} = 25000 \cdot 0,1 = 2500 \text{ руб.}$$

$$C_{п.п.с} = 2400 + 720 + 2500 + 3125 + 72 = 8817 \text{ руб.}$$

$$Z_{см.от.м.} = 25000 + 37700 + 8817 = 71517 \text{ руб.}$$

$$\mathcal{E}_c = 180000 - 71517 = 108483 \text{ руб/т.}$$

$$S_{ок} = \frac{71517}{108483} = 0,7 \text{ года}$$

Сведем результаты расчета затрат в таблицу 5.2

Таблица 5.2 – Расчетное значение приведенных затрат

№ п/п	Показатель	Обозначение	Значения
1	Затраты на приготовление дисперсной фазы, руб	$Z_{мыл}$	36600
2	Затраты на сырье для получения дисперсионной среды, руб	$Z_{сыр}$	1100
3	Стоимость компонентов для 1 т смазок, руб	$C_{к.п.п.с.}$	37700
4	Норма амортизации, %	$H_{ам}$	12,5
5	Амортизация основных производственных фондов, руб.	$A_{опф}$	3125
6	Затраты на содержание оборудования, руб	$Z_{сод}$	2500
7	Отчисления от фонда заработной платы, руб	$СВ$	720
8	Заработная плата рабочих, руб.	$ЗП$	2400
9	Себестоимость получения пластичной смазки, руб.	$C_{п.п.с.}$	8817
10	Затраты на изготовление и использование пластичных смазок, руб.	$Z_{см.от.м.}$	71517
11	Экономический эффект руб	$\mathcal{E}_c$	108483
12	Срок окупаемости, лет	$S_{ок}$	0,7

Экономический эффект от использования пластичных смазок на основе отработанных моторных масел составляет 108483 руб.

Срок окупаемости рассчитывался исходя из производства и использования 1 тонны пластичных смазок, с увеличением производства смазки, при увеличении парка тракторов, при организации межхозяйственной деятельности экономический эффект увеличивается, а срок окупаемости значительно уменьшается практически обратно пропорционально увеличению объемов производства смазок.

При внедрении бизнес – проекта производства пластичных смазок в ООО «ЗС ПРОМ-ОЙЛ» г. Иваново срок окупаемости внедрения технологии про-

изводства пластичных смазок на основе отработанных масел составил 0,1 года.

Применение пластичной смазки с улучшенными трибологическими свойствами позволяет снизить износ деталей узлов трения, а соответственно увеличить срок службы и наработку до капитального ремонта на 15%:

$$A'_{кр} = A_{кр} \cdot \kappa \quad (2.14)$$

где  $\kappa$  – коэффициент учитывающий увеличение наработки,  $\kappa = 1,5$  (коэффициент получен в результате стендовых и эксплуатационных испытаний);  $A'_{кр}$  – межремонтная наработка по данным ГНУ ГОСНИТИ,  $A'_{кр} = 4600$  мото · час.

$$A'_{кр} = 4600 \cdot 1,15 = 5290 \text{ мото} \cdot \text{час.}$$

Тогда количество капитальных ремонтов составит:

$$N_{кр} = \left( \frac{t_r}{A'_{кр}} \right) \cdot n \quad (2.15)$$

где  $t_r$  – средняя наработка за год машины,  $t_r = 835$  мото · час.;  $n$  – количество машин (принимая среднее количество тракторов, комбайнов и автомобилей в хозяйстве равно 40 ед.)

$$N_{кр} = \left( \frac{835}{5290} \right) \cdot 40 = 6,3$$

Отсюда определяем возможность снижения затрат на ремонт по парку:

$$Z'_{кр} = N_{кр} \cdot Z_p \quad (2.16)$$

где  $Z_p$  – затраты на ремонт узлов трения по данным ГНУ ГОСНИТИ (все кроме ДВС)  $Z_p = 30000$  руб.

$$Z'_{кр} = 6,3 \cdot 30000 = 189000 \text{ руб}$$

Соответственно экономический эффект за год по парку машин за счет снижения затрат на ремонт, составил:

$$\mathcal{E}_{кр} = Z_{кр} - Z'_{кр} \quad (2.17)$$

где  $Z_{кр}$  – по данным ФГДНУ ВНИИТиН составляет в среднем 300000 руб на ремонт узлов комбайнов и автомобильного парка из 40 машин

$$\mathcal{E}_{кр} = 300000 - 189000 = 111000 \text{ руб}$$

Общий экономический эффект использования пластичных смазок на основе отработанных масел:

$$\mathcal{E}_{об} = \mathcal{E}_c + \mathcal{E}_{кр} \quad (2.19)$$

$$\mathcal{E}_{об} = 108483 + 111000 = 219483 \text{ руб/год}$$

Общие экономические показатели формируются за счет снижения затрат на приготовление смазок и их использование взамен товарных, снижения затрат на ремонт машин, обеспечиваемых высокими противоизносными свойствами разработанных составов смазок.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Определено что для коагуляции загрязнений в отработанных маслах и последующего удаления примесей, смол дисперсного состава  $<1$  мкм целесообразно использовать разделяющие агенты в виде **спиртовых растворов карбамида и моноэтаноламина**, способные укрупнять частицы примесей **в 20-30 раз**.

2. Установлено, что процессы удаления примесей из отработанных масел зависят от скорости осаждения  $V_0$  и времени их удаления  $T_{оч}$  под действием разделяющих агентов с учетом коэффициента кратности увеличения примесей  $Y_k=20...30$  и замедления процесса осаждения за счет остаточного действия моюще - диспергирующих присадок, учитываемого коэффициентом замедления  $h' = 0,1 \dots 0,3$ , что позволило разработать новые способы очистки отработанных масел для их дальнейшего использования в качестве дисперсионной среды пластичных смазок.

3. Определен рациональный состав пластичных смазок, состоящий из **80 %** дисперсионной среды – очищенных отработанных моторных масел и **20%** дисперсной фазы, представляющий собой **7%** КОСЖК и **13%** щелочи для получения аналога смазки Солидол, и **81%** очищенного отработанного синтетического моторного масла и **19%** 12 - оксистеариновой кислоты с водным раствором гидроксида лития для аналога смазки Литол – 24.

4. Определен показатель эффективности работы смазки в узле трения, представляющий собой ресурс  $L$ , учитывающий свойства дисперсионной среды через коэффициент  $\alpha = 0,8 - 0,9$  и  $\beta = 0,3$ , режимы работы узла трения, противоизносные свойства смазки, определяемые экспериментально по диаметру пятна износа  $D$ .

5. Предложенная схема процесса приготовления смазок, позволяющая выполнить операции очистки отработанных масел, для их использования в качестве

дисперсионной среды, перемешивания дисперсионной среды и дисперсной фазой, нагрева, гомогенизации.

6. Экспериментально подтверждено, что внесение в отработанное масло **1%** карбамида и изопропанола при температуре **100 °С** позволяет увеличить дисперсный состав примесей **в 20-30 раз**, снизить содержание примесей **в 5 раз** за время отстаивания **60 мин.**, внесение в отработанное синтетическое моторное масло **1,5%** моноэтаноламина, нагрева до  $t = 70 - 115$  °С и отстаивания в течение **60 мин.** позволяет удалить из масла **90 %** смол, асфальтенов, карбенов, карбоидов, дополнительное смешивание с **1%** изопропиловым спиртом вызывает ослабление действия моюще – диспергирующих присадок, интенсифицирует процесс коагуляции и в конечном результате позволяет удалять примеси из отработанных масел.

Подтверждено, что рациональной концентрацией смешивания дисперсионной среды с дисперсной фазой являются пропорции 80/20 и 81/19, предварительная температура обработки **100±5 °С**, рациональное время обработки смеси **120 мин.**, окончательная обработка производится при температуре **230 °С**.

7. Оценка антикоррозионных и защитных свойств разработанных составов смазок показала их высокую способность обеспечивать защитную эффективность стальных поверхностей, при определении адгезионных свойств смазок установлено усилие на отрыв, составляющее **0,29 – 0,31 кН**, что характеризует высокие адгезионные свойства смазок. Прочностные характеристики экспериментальных смазок, оцениваемые напряжением на сдвиг, составляли **> 500 Па**, т.е. в 2 раза выше, чем у товарных смазок. Противоизносные свойства экспериментальных аналогов пластичных смазок, оцениваемые по диаметру пятна износа, на **15 – 20 %** выше, чем у сравниваемых товарных образцов. Содержание железа в смазках при испытаниях в подшипниках качения, в стендовых условиях не превышало **0,0007 г/кг**, что в **2 – 3 раза** меньше чем в испытанном товарном образце. Ресурс работы подшипников и смазки превышает на **20%** нормативное значение, и составляет **3.4 · 10<sup>11</sup>** мл. об.

8. Производственные испытания экспериментальных смазок в узлах жатки ПН-35 и комбайна Дон 680 М показали устойчивую работу узлов трения и снижения температуры их нагрева на **30 – 40 %**, снижение продуктов износа (железа) в экспериментальных смазках по сравнению с товарными образцами на **10 – 15 %**.

Составы, технология и оборудование для производства смазок приняты к серийному производству в **ООО «Завод смазок ПРОМ-ОИЛ»** г. Иваново и **ООО «МИПП ЭнергоОйл»** г. Мурманска.

Экономическая эффективность от использования разработанных составов смазок взамен товарных составляет **219483 руб.** в год при сроке окупаемости **0,7 года**, рассчитанном для условия производства **1 тонны** смазок в год.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бадышкова К.М., Берштадт Я.А., Богданов Ш.К., др. и. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: Справ. изд. [текст]. Москва: Химия, 1989. 432 с.
2. Фукс И.Г. Пластичные смазки [текст]. Москва: Химия, 1972. 160 с.
3. Ваиншток В.В., Фукс И.Г., Шехтер Ю.Н., Ю.Л. И. Состав и свойства пластичных смазок [текст]. Москва: ЦНИИТЭ-нефтехим, 1970. 86 с.
4. Назек А.Б.К.С. 05.17.07 Литиевые смазки на основе растительных масел и продуктов их переработки [текст]. Москва. 1999. 106 с.
5. Сеницын В.В. Пластичные смазки и оценка их качества. Зарубежные стандарты и спецификации [текст]. Москва: Издательство стандартов, 1975. 192 с.
6. Виппер А.Б., Виленкин А.В., Гайснер Д.А. Зарубежные масла и присадки [текст]. Москва: Химия, 1981. 192 с.
7. Ищюк Ю.Л. Технология пластичных смазок [текст]. Москва: Наукова думка, 1986. 147 с.
8. Остриков В.В., Белогорский В.В. Смазочные масла и контроль их качества [текст] // Техника в сельском хозяйстве. 2007. Т. №2. С. 40-41.
9. Остриков В.В., Нагорнов С.А., О.А. К., Курочкин И.М. Топлива, смазочные материалы и технические жидкости [текст]. Тамбов: ТГТУ, 2008. 304 с.
10. Ищюк Ю.Л. Состав, структура и свойства пластичных смазок [текст]. Киев: Наукова думка, 1996. 512 с.
11. Фукс И.Г., Шибряев С.Б., Лашхи В.Л., Сайдахмедов Ш.М. Улучшение трибологических свойств нефтяных масел добавлением синтетических компонентов [текст] // Теория и практика рационального использования ГСМ и РЖ в технике. Тезисы докладов VIII Научно-технологической конференции Челябинск. 1993. С. 12.

12. Фукс И.Г. Добавки к пластичным смазкам [текст]. Москва: Химия, 1982. 248 с.
13. Чичинадзе А.В., Браун Э.Д., Буше Н.А., др. и. Основы трибологии. 2-е изд. Москва: Машиностроение, 2001. 664 с.
14. Бакли Д. Поверхностные явления при адгезии и фрикционном взаимодействии. Пер. с англ. [текст]. Москва: Машиностроение, 1986. 360 с.
15. Заславский Ю.С. Трибология смазочных материалов [текст]. Москва: Химия, 1991. 240 с.
16. Юнусов М.Ю. 02.00.04 Физико-химические основы утилизации отработанных смазочных материалов [текст]. Душанбе, Дис. канд. техн. наук. 2006. 185 с.
17. Гришин Н.Н., Шибряев С.Б., Прокопьев И.А., Сайдахмедов И.М., Викторова Ю.С. Химмотология пластичных смазок [текст]. Москва: ГАНГ им. Губкина, 1994. 147 с.
18. Буше Н.А. Трение, износ и усталость в машинах [текст]. Москва: Машиностроение, 1987. 123 с.
19. Мамедьяров М.А. Химия синтетических масел [текст]. Ленинград: Химия, 1989. 240 с.
20. Ищюк Ю.Л. 02.00.04 Исследование влияния дисперсной фазы на структуру, свойства и технологию пластичных смазок [текст]. Москва, дис. док. техн. наук: ВНИИ НП, 1978. 311 с.
21. Великовский Д.С., Поддубный В.Н., Ваиншток В.В., Готовкин Б.Д. Консистентные смазки [текст]. Москва: Гостоптехиздат, 1966. 256 с.
22. Фукс И.Г., Шибряев С.Б. Состав свойства и производство пластичных смазок [текст]. ГАНГ им И.М. Губкина, 1992. 157 с.
23. Фукс И.Г. 02.00.04 Исследование и разработка пластичных смазок с присадками и наполнителями. Москва, дис. док. техн. наук.: МИНХиГП им И.М. Губкина, 1979. 312 с.

24. Косарская Ю.П. 02.00.04 Защитные свойства пластичных смазок и пути их улучшения [текст]. Москва, дисс. канд. хим. наук: МИНХиГП им И.М. Губкина, 1974. 161 с.
25. Кравченко А.Р., Кузнецов В.А., Ищук Ю.Л. Исследование защитных свойств смазок в динамических условиях [текст] // Химия и технология нефти и газа. 1979. № 5. С. 53-54.
26. Матвиевский Р.М., Лашхи В.Л., Буяновский И.А., Фукс И.Г. Смазочные материалы. Антифрикционные и противоизносные свойства. Методы испытаний. Справочник. Москва: Машиностроение, 1989. 217 с.
27. Ваиншток В.В., Умаров Н.К. Влияние смазочных материалов на абразивный износ поверхностей трения [текст]. Москва: ЦНИИТЭнефтехим, 1987. 60 с.
28. Шибряев С.Б., Немец В.Л., Голоднова И.А. Актуальные проблемы состояния и развития нефтегазового комплекса России [текст]. Москва: ГАНГ им И.М. Губкина, 1994. 326 с.
29. Остриков В.В., Уханов А.П., Клейменов О.А., Сафаров К.У., Нагорнов С.А., Прохоренков В.Д. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости [текст]. Ульяновск: УГСХА, 2009. 576 с.
30. Петров И.А. Автомобильные масла, смазки, присадки [текст]. Москва: Машиностроение, 2001. 250 с.
31. Сафонов В.В. Наноструктурные материалы в качестве компонентов смазочных композиций [текст]. Саратов: СГАУ, 2006. 324 с.
32. Наконечная М.Б. Комплексные кальциевые смазки, их состав, приготовление, структура и свойства [текст]. Москва, дис. канд.: МИНХиГП им И.М. Губкина, 1970. 167 с.
33. Сафаров К.У. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости [текст]. Ульяновск: УГСХ, 2001. 128 с.
34. Уразгалева Т.К., Остриков В.В. Топлива, смазочные материалы и технические жидкости [текст]. Уральск: ЗападноКазахстанский аграрно-

- технический университет имени Жангир хана, 2011. 402 с.
35. Алисин В.В., Алябьев А.Я., Архаров А.М., др. и. Трение, износ и смазка. Справочник [текст]. Т. I. Москва: Машиностроение, 1978.
  36. Алисин В.В., Асташкевич Б.М., Браун Э.Д. Трение, износ и смазка. Справочник [текст]. Т. II. Москва: Машиностроение, 1979. 358 с.
  37. Краельский И.В., Виноградова И.Э. Коэффициент трения. Справочное пособие [текст]. Тамбов: Машгиз, 1962. 220 с.
  38. Венцель С.В. Применение смазочных масел в двигателях внутреннего сгорания [текст]. Москва: Химия, 1974. 240 с.
  39. Венцель С.В. Применение смазочных масел в автомобильных и тракторных двигателях [текст]. Москва: Химия, 1969. 228 с.
  40. Лугт П.М. // EVOLUTION: [сайт]. [2012]. URL: <http://evolution.skf.com> (дата обращения: 10.Декабрь.2013).
  41. Cann P.M., Lubrecht A.A., "Bearing performance limits with grease lubrication: the interaction of bearing design, operating conditions and grease properties [text]," *Journal of Physics D: Applied Physics*, 2007. P. 40.
  42. Lugt P.M., Velickov S.H., and Tripp J.H., "On the chaotic behaviour of grease lubrication in rolling bearings [text]," *STLE Tribology Transactions*, 2009. P. 52.
  43. Воронкин В.А., Евланов В.В., "Малошумные подшипники качения и пластичные смазки для электромашин с требованиями по виброакустике [текст]," *Электротехника*, № 8-9, 1992. С. 17-21.
  44. Воронкин В.А., "Практика применения пластичных смазок для подшипниковых узлов судовых электромашин [текст]," *Вопросы электромеханики*, Т. 115, 2010. С. 9-14.
  45. «Ростсельмаш» Комбайн самоходный зерноуборочный РСМ 101 "вектор". Инструкция по эксплуатации и техническому обслуживанию [текст]. 4-е изд. Ростов-на-Дону. 355 с.
  46. Ларюшин Н.П. Сельскохозяйственные машины(раздел "Зерноуборочные

- комбайны"): учебное пособие [текст]. Пенза: РИО ПГСХА, 2011. 243 с.
47. Комбайн зерноуборочный самоходный РСМ-142 «ACROS». Инструкция по эксплуатации и техническому обслуживанию [текст]. 8-е изд. Ростов-на-Дону: ООО «Комбайновый завод «РОСТСЕЛЬМАШ». 399 с.
  48. Руководство по эксплуатации Беларусь 80.1/80.2/82.1/82.2/82 Р [текст]. 8-е изд. Минский тракторный завод, 2003. 129 с.
  49. Руководство по эксплуатации зерноуборочного комбайна Mega 350/360 Claas. [текст]. Германия: Claas. 422 с.
  50. Deere J, редактор. Техническое руководство John Deere [текст]. США. 1108 с.
  51. Фукс И.Г., Зелькинд И.Е., Шибряев С.Б. Повышение качества пластичных смазок. Москва: ВНИЦЕНТР, 1991. 147 с.
  52. Блохин Ю.И. и др., "Пластичная смазка [текст]," Изобретение 2076141, Март 27, 1997.
  53. Танотаров О.М. и Хабибулин И.Р., "Пластичная смазка [текст]," Изобретение 2163627, Февраль 27, 2001.
  54. Мельников В.Г., "Пластичная смазка [текст]," Изобретение 2391386, Июнь 10, 2010.
  55. Рашников В.Ф. и др., "Пластичная смазка и способ её производства [текст]," Изобретение 2177982, Январь 10, 2002.
  56. Еситашвили В.А. и др., "Пластичная смазка [текст]," Изобретение 2052495, Январь 20, 1996.
  57. Скобельцин А.С. 05.17.07 Использование отработанных моторных масел в качестве компонента дисперсионной среды пластичных смазок [текст]. Москва, Канд. техн. наук. 2006. 133 с.
  58. Миронова Ж.Л. 05.17.07 Разработка профилактической смазки "НИОГРИН" на базе продуктов нефтепереработки и нефтехимии [текст]. Уфа, канд. техн. наук. 2003. 230 с.

59. Ваиншток В.В., Обельченко Е.И., Чернявский А.А., Ящинская М.С. Совершенствование процессов производства пластичных смазок [текст]. Москва: ЦНИИТЭнефтехим, 1971. 68 с.
60. Фукс И.Г., Шибряе С.Б., Зелькинд И.Е. Состояние производства и пути улучшения качества пластичных смазок [текст]. Москва: ЦНИИТЭИМС, 1991. 51 с.
61. Ищюк Ю.Л., Кузьмичев С.П., Краснокутская М.Е., др. и. Состояние и перспективы развития производства и применения безводных и комплексных кальциевых смазок [текст]. Москва: ЦНИИТЭ, 1980. 72 с.
62. Джерихов В.Б. Автомобильные эксплуатационные материалы. Часть II. Масла и смазки [текст]. С-Петербург: ГАСУ, 2009. 225 с.
63. Итинская Н.И. Справочник по топливу, маслам и техническим жидкостям [текст]. Москва. 1982. 208 с.
64. Остриков В.В., Клейменов О.А., Баутин В.М. Смазочные материалы и контроль их качества в АПК [текст]. Москва: Росинформатех, 2003. 172 с.
65. Остриков В.В. и др., "Способ очистки отработанного синтетического моторного масла [текст]," Изобретение 2437923, Декабрь 27, 2011.
66. Остриков В.В. и др., "Способ очистки моторного масла от продуктов старения и загрязнений [текст]," Изобретение 2528421, Сентябрь 20, 2014.
67. Коваленко В.П. Загрязнение и очистка нефтяных масел [текст]. Москва: Химия, 1978. 304 с.
68. Остриков В.В. 05.20.03 Очистка отработанных моторных масел с использованием разделяющего агента [текст]. Москва, Канд. техн. наук. 1996. 265 с.
69. Шашкин П.И. Регенерация отработанных нефтяных масел [текст]. Москва. 1960. 304 с.
70. Кулиев А.М. Химия и технология присадок к маслам и топливам [текст]. Москва: Химия, 1985. 312 с.

71. Шихалев И.Н. Способ получения дисперсионной среды смазок на основе отработанных моторных масел и оценка эффективности работы пластичной смазки в узле трения [текст] // Наука в центральной России. 2015. № 5. С. 85-91.
72. Проскуряков В.А., Драбкин А.Е. Химия нефти и газа [текст]. Ленинград: Химия, 1983. 424 с.
73. Дияров И.Н., Батуева И.Ю. Химия нефти. Руководство к лабораторным занятиям [текст]. Ленинград: Химия, 1990. 240 с.
74. Прохоров В.А. Основы автоматизации аналитического контроля химических производств [текст]. Москва: Химия, 1984. 320 с.
75. Курганова А.М. Гидравлические расчёты систем водоснабжения и водоотведения [текст]. Ленинград: Стройиздат, 1986. 440 с.
76. Соколов В.И. Центрифугирование [текст]. Москва: Химия, 1976. 408 с.
77. Соколов В.И. Современные промышленные центрифуги [текст]. 2-е пер. и доп.-е изд.-е изд. Москва: Машиностроение, 1976.
78. Лышко Г.П. Топлива, смазочные материалы и технические жидкости [текст]. Москва: Колос, 1979. 256 с.
79. Коваленко В.П. Загрязнение и очистка нефтяных масел [текст]. Москва: Химия, 1978. 304 с.
80. Бутов Н.П. 05.20.03 Система восстановления и использования отработанных автотракторных масел в АПК [текст]. Зерноград, доктор техн. наук. 1998. 392 с.
81. Тимонин А.С. Основы конструирования и расчёта химико-технологического и природоохранного оборудования : справочник [текст]. Т. 1. Калуга: Н. Бочкаревой, 2002. 852 с.
82. Кравчик К. 05.02.04 Трибологическая идентификация самоорганизации при трении со смазкой [текст]. Ростов - на - Дону, доктор техн. наук. 2000. 280 с.
83. Полцер Г., Майсвер Ф. Основы трения и изнашивания [текст]. Москва:

- Машиностроение, 1984. 264 с.
84. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия [текст]. Москва: Мир, 1989. 510 с.
  85. Демкин Н.Б. Контактное шероховатых поверхностей [текст]. Москва : Наука, 1970. 266 с.
  86. Алисин В.В., Алябьев А.М., Балакин В.А.,. Трение износ и смазка [текст]. Т. 1-2. Москва: Машиностроение, 1978.
  87. Сумарокова В.В. 05.17.07 Разработка и исследование полужидких смазок для тяжело нагруженных узлов трения [текст]. Москва, канд. техн. наук. 2006. 108 с.
  88. Лахшин В.Л., Фукс И.Г., Шор Г.И. Коллоидная химия смазочных масел в условиях применения [текст] // Химия и технология топлив и масел. 1991. № 6. С. 16.
  89. Остриков В.В., Тупотилов Н.Н., Белогорский В.В. Информативность и взаимосвязь показателей качества работающих моторных масел [текст] // Техника в сельском хозяйстве. 2008. № 3. С. 45-47.
  90. Зимон А.Д. Адгезия жидкости и смачивания [текст]. Москва: Химия, 1974. 416 с.
  91. Кинлок Э. Адгезия и адгезивы: Наука и технологии [текст]. Москва: Мир, 1991. 484 с.
  92. Дерягин Б.В., Кротова Н.А., Смигла В.П. Адгезия твердых тел [текст]. Москва: Наука, 1973. 273 с.
  93. Поверхностные явления при адгезии и фрикционном взаимодействии [текст]. Москва: Машиностроение, 1986. 360 с.
  94. Остриков В.В., Сазонов С.Н. Эффективность использования нефтепродуктов в фермерских хозяйствах [текст] // Сельский механизатор. 2012. № 10. С. 32-33.
  95. Остриков В.В., Корнев А.Ю., Вязинкин В.С., Шихалев И.Н. Испытание

- трибодатчика для контроля уровня деградации масла [текст] // Наука в центральной России. 2013. № 4. С. 14-17.
96. Остриков В.В., Шихалев И.Н., Попов С.Ю. Дисперсионная среда пластичных смазок [текст] // Научная мысль. 2015. № 3. С. 15-21.
97. Соколов А.И. Изменение качества масла и долговечность автомобильных двигателей [текст]. Томск: Том. ун-т, 1976. 120 с.
98. Остриков В.В. 05.20.03 Повышение эффективности использования смазочных материалов путем разработки и совершенствования методов, технологии и технических средств [текст]. Тамбов, дис. док. техн. наук: ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии, 2000. 560 с.
99. Остриков В.В., Попов С.Ю., Шихалев И.Н., Дивин А.Г., Манаенков К.А. Дисперсионная среда пластичных смазок на основе отработанных масел [текст] // Наука в центральной России. 2015. № 2. С. 43-53.
100. Григорьев М.А. Очистка масла и топлива в двигателях внутреннего сгорания [текст]. Москва: Машиностроение, 1970. 217 с.
101. Зонтаг Г., Штрэнге К. Коагуляция и устойчивость дисперсных систем [текст]. Москва: Химия, 1973. 148 с.
102. Остриков В.В., Корнев А.Ю., Шихалев И.Н. Исследования по разработке технологических процессов получения пластичных смазок на основе глубокоочищенных отработанных масел [текст] // Начное обозрение. 2014. № 4. С. 211-215.
103. Остриков В.В., Корнев А.Ю., Вигдарович В.И., Шихалев И.Н. Получение пластичных смазок на основе отработанных масел [текст] // Наука в центральной России. 2013. № 4. С. 11-14.
104. R L. Synthetics, Mineral Oil, and Bio-Based Lubricants: Chemistry and Technology [текст]. Second Edition, 2013. 445 pp.
105. Дорогин А.Д., Якунин Н.Н. Автомобильные эксплуатационные материалы: Учебное пособие [текст]. ОГУ, 2001. 146 с.

106. Алтушер М.Я. Срабатываемость присадок и их дозированный ввод в моторные масла [текст]. Москва: Химия, 1979. 178 с.
107. Остриков В.В., Корнев А.Ю., Шихалев И.Н. Получение пластичных смазок на основе отработанных масел [текст] // Сборник научных докладов XVII Международной научно-практической конференции «Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства». 25 - сентября 2013. С. 227-228.
108. Остриков В.В., Корнев А.Ю., Шихалев И.Н., Сафонов В.В. Пластичные смазки на основе отработанных масел [текст] // Сельский механизатор. 2014. № 3. С. 30-31.
109. Шибряев С.Б., Фукс И.Г., Киташев Ю.Н. Пластичные смазки на смесях нефтяных и синтетических масел [текст]. Москва: ЦНИИТЭнефтехим, 1991. 75 с.
110. Виноградов Г.В., Сеницын В.В. Вязкостно-температурные свойства смазок [текст] // ДАН СССР. 1952. Т. 84. № 1. С. 80-85.
111. Федорова Т.В. Влияние состава дисперсионной среды на свойства литиевых смазок. Москва: ГАНГ им. И.М. Губкина, 1978, дисс, канд. 170 с.
112. Вознюк Ф.З. Состав дисперсионной среды и свойства смазок на оксистеарате лития. Автореферат [текст]. Кинев, дисс. канд. 1983. 25 с.
113. Ищук Л.П. Состав, структура и свойства смазок, загущенных оксистеаратом лития. Автореферат [текст]. Москва, канд. дис. 1973. 33 с.
114. Чадунели З.К., Шибряев С.Б., Еситашвили В.А., Фукс И.Г. Влияние щелочности на эффективность добавок в литиевых смазках [текст] // Химия и технология топлив и масел. 1987. № 1. С. 22-24.
115. Чадунели З.К., Фукс И.Г., Шибряев С.Б., Тихонов В.П. Влияние щелочи на структуру и свойства литиевых смазок с присадками [текст] // Пластичные

- смазки. Тезисы докладов IV Всесоюзной научно-технической конференции. Бердянск. 1985. С. 32.
116. Остриков В.В., Корнев А.Ю., Шихалев И.Н., Сафонов В.В. Технологический процесс приготовления аналогов пластичных смазок [текст] // Материалы Международного научно - технического семинара имени В.В. Михайлова «Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники». 2014. № 27. С. 18-142.
117. Чадунели З.К., Фукс И.Г., Медведев П.Р., Шюряев С.Б. Влияние щелочи на антифрикционные свойства литиевых смазок с добавками [текст] // Триботехника-машиностроению. Тезисы докладов III Московской научно-технической конференции. 1987. С. 97.
118. Подленных Л.В. Исследование структурообразования оксистеарата лития в процессе приготовления смазок. Автореферат [текст]. Киев, канд. дисс. 1982. 24 с.
119. Синицын В.В. Методы анализа и стендовых испытаний пластичных смазок [текст]. Москва: ЦНИИТЭнефтехим, 1975. 101 с.
120. Уварова Э.М. Исследование устойчивости литиевых смазок к окислению [текст]. Москва, канд. дисс.: МИНХиГП им. И.М. Губкина, 1974. 158 с.
121. Zackin J., Lin H., and Tu E. Exploratory studies of the sorption and extration of additives in libricating greases [текст] // NLGI Spokesmen. 1967. No. 2. pp. 43-48.
122. Немец В.Л. Разработка полужидких литиевых смазок и пути улучшения их триботехнических свойств [текст]. Москва, канд. дисс.: ГАНГ им. И.М. Губкина, 1993. 163 с.
123. Бонер К.Д. Производство и применение консистентных смазок. Москва: Гостептехиздат, 1958. 704 с.
124. Шебле Э.Ю. Литиевые смазки на смесях нефтяных и синтетических масел с добавками [текст]. Москва: МИНХиГП им. И.М. Губкина, 1986. 153 с.
125. Шибряев С.Б., Фукс И.Г., Тихонов В.П. Режим охлаждения и

- структурообразования литиевых смазок в присутствии стеариновой кислоты [текст] // Химия и технология топлив и масел. 1981. № 2. С. 54-55.
126. Остриков В.В., Шихалев И.Н., Попов С.Ю. Оценка защитных свойств пластичных смазок на основе отработанных масел [текст] // Научная мысль. 2015. № 3. С. 22-27.
127. Селиванов А.И. Основы теории старения машин [текст]. Москва: Машиностроение, 1970. 408 с.
128. Аллиев В.А. Техническая эксплуатация машино-тракторного парка [текст]. Москва: Агропромиздат, 1991. 367 с.
129. Серегина И.Е. Эффективность действия и принципы подбора ингибиторов коррозии к пластичным смазкам [текст]. Москва, канд. дисс.: ГАНГ им. И.М. Губкина, 1992. 143 с.
130. Фройштетер Г.Б., Трилисский К.К., Ищук Ю.Л., Ступак П.Н. Реологические и теплофизические свойства пластичных смазок [текст]. Москва: Химия, 1980. 176 с.
131. Трилисский К.К. Реология в технологии и химмотологии пластичных смазок. Автореферат док. дисс. [текст]. Москва. 1993. 47 с.
132. Остриков В.В., Шихалев И.Н. Адгезионные свойства пластичных смазок на основе отработанных масел [текст] // Сборник научных докладов XVIII Международной научно-практической конференции «Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции–новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства». 23-24 сентября 2015. С. 221-222.
133. Попов С.Ю. 05.20.03 Повышение эксплуатационных свойств ремонтно-восстановительных составов при их использовании в двигателях тракторов [текст]. Тамбов. 2014. 179 с.
134. Хебра М. Справочное по триботехнике. Теоретические основы [текст]. Т. 1,

2. Москва: Машиностроение, 1989. 397 с.
135. Кузьмин А.Н. Процессы и закономерности изменения технического состояния автомобилей в эксплуатации [текст]. Нижний Новгород. 2001. 202 с.
136. Гаркунов Д.Н. Триботехника [текст]. Москва: Машиностроение, 1989. 327 с.
137. Гаркунов Д.Н. Повышение износостойкости на основе избирательного переноса [текст]. Москва: Машиностроение, 1977. 215 с.
138. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы [текст]. Москва: Химия, 1988. 464 с.
139. Братков А.А. Теоретические основы химмотологии [текст]. Москва: Химия, 1985. 316 с.
140. Немец В.Л., Фукс И.Г., Шибряев С.Б., Нестеров А.В., Каминский С.Э. Трибологические свойства смазок с медьсодержащими наполнителями [текст] // Проблемы повышения износостойкости газонефтепромыслового оборудования. Тезисы докладов I Научно-технической конференции. Май 1989. С. 72-73.
141. Рябов Д.В. Влияние полиморфных превращений на структуру и свойства литиевых смазок. Москва, канд. дисс. 1987. 174 с.
142. Великовский Д.С. Теория и практика производства и применения консистентных смазок. Москва. 1969. 5-51 с.
143. Щеголев Г.Г. Микроструктура и свойства литиевых консистентных смазок [текст]. МОСКВА, КАНД. ДИСС.: ИФХ АН СССР, 1968. 156 с.
144. Остриков В.В., Корнев А.Ю., Тупотилов Н.Н., Шихалев И.Н., Сафонов В.В. Пластичная смазка на основе отработанного масла [текст] // Сборник трудов международной конференции "Актуальные направления научных исследований 21 века : теория и практика" ФГБОУ ВПО "Воронежская государственная лесотехническая академия". 2014. Т. 4. № 3. С. 447-451.
145. Бусин И.В. 05.20.03 Очистка работающего моторного масла от продуктов

- старения [текст]. Мичуринск - наукоград. 2014. 196 с.
146. Сорокин М.Ф., Лялюшко К.А. Практикум по химии и технологии пленкообразующих веществ [текст]. Москва: Химия, 1971. 264 с.
147. Зимин А.Г. Очистка рапсового масла и улучшение его противоизносных свойств для использования в сельскохозяйственной технике [текст]. Мичуринск. 2011. 227 с.
148. Карпушкин С.В., Краснянский М.В., Борисенко А.Б. Расчёты и выбор механических перемешивающих устройств вертикальных емкостных аппаратов [текст]. Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2009. 168 с.
149. Мау В.А., Узун В.Я. Российская экономика в 2014 году. Тенденции и перспективы [текст]. Москва: Фонд "Институт экономической политики им. Е.Т. Гайдара", 2015. 576 с. Монография.
150. Остриков В.В., Сазонов С.Н., Сазонова Д.Д. Доступность и повышение эффективности использования нефтепродуктов в сельском хозяйстве // АПК России. - 2014. № 68. С. 76-83.
151. Вигдарович В.И., Залиханов М.Ч., Остриков В.В., и др. Снижение экологической опасности отработанных масел путем их переработки и утилизации [текст]. Тамбов: Першина, Р.В.;, 2012. 164 с.
152. Остриков В.В., Нагорнов С.А., Клейменов О.А., Булавин С.А., Стребков С.В. Топливо, смазочные и консервационные материалы [текст]. Белгород: БГСХА, 2008. 262 с.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2554357

## СПОСОБ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАННОГО МАСЛА

Патентообладатель(ли): *Государственное научное учреждение  
Всероссийский научно-исследовательский институт использования  
техники и нефтепродуктов Российской академии сельскохозяйственных  
наук (ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии) (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2014131692

Приоритет изобретения 30 июля 2014 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре  
изобретений Российской Федерации 28 мая 2015 г.

Срок действия патента истекает 30 июля 2034 г.

Врио руководителя Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 554 357** (13) **C1**(51) МПК  
C10M 175/02 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

<p>(21)(22) Заявка: 2014131692/04, 30.07.2014</p> <p>(24) Дата начала отсчета срока действия патента: 30.07.2014</p> <p>Приоритет(ы): (22) Дата подачи заявки: 30.07.2014</p> <p>(45) Опубликовано: 27.06.2015 Бюл. № 18</p> <p>(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2078127 C1, 27.04.1997. Брай И. В. Регенерация трансформаторных масел, Москва, 1972, глава I; . Найдено [Online] в Интернет 17.02.2015, Депарафинизация с использованием карбамида, см. предпоследний абзац, <a href="http://necton-sea.ru/articles/Deparafinizatsiya_s_ispolzovaniem_karbamida_himicheskie_osnovy_protsesta">http://necton-sea.ru/articles/Deparafinizatsiya_s_ispolzovaniem_karbamida_himicheskie_osnovy_protsesta</a> (добавлено 28.02.2012). (см. прод.)</p> <p>Адрес для переписки: 392022, г.Тамбов, пер. Ново-Рубежный, 28, ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии, Зазуле А.Н.</p>	<p>(72) Автор(ы): Остриков Валерий Васильевич (RU), Корнев Алексей Юрьевич (RU), Попов Сергей Юрьевич (RU), Шихалев Илья Николаевич (RU)</p> <p>(73) Патентообладатель(и): Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов Российской академии сельскохозяйственных наук (ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии) (RU)</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

RU  
2 5 5 4 3 5 7  
C 1

## (54) СПОСОБ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАННОГО МАСЛА

(57) Реферат:

Изобретение относится к способу очистки отработанного масла путем предварительного нагрева масла и последующего отделения загрязнений, при этом в масло добавляют смесь изопропилового спирта и карбамида в соотношении 1:1, взятом в количестве 1,0%, в

расчете на сухой карбамид от массы очищаемого масла. Техническим результатом настоящего изобретения является повышение качества очистки отработанных масел с одновременным упрощением технологического процесса. 1 табл.

(56) (продолжение):

SU 1639042 A1, 10.01.1996 . RU 2163253 C2, 20.02.2001 . RU 2076898 C1, 10.04.1997 . RU 2246533 C2, 20.02.2005

RU  
2 5 5 4 3 5 7  
C 1

RU 2 554 357 C1

Изобретение относится к вторичному использованию нефтепродуктов и может быть использовано при очистке отработанных масел на маслоочистительных и регенерационных установках в различных отраслях народного хозяйства.

5 Известен способ очистки отработанного масла (патент РФ №2078127, МПК<sup>6</sup> C10M 175/02, от 1997 г.) с использованием в качестве коагулянта 30-50%-ного водного раствора карбамида, взятого в количестве 0,5-1% в расчете на сухой карбамид от массы очищаемого масла, добавляемого в предварительно нагретое масло с последующим удалением загрязнений.

10 Недостатком этого способа является то, что при очистке сильно загрязненных масел полного осаждения загрязнений не происходит, качество очистки снижается.

Наиболее близким из известных способов к заявленному по достигаемому эффекту является способ очистки отработанного масла от продуктов старения и загрязнений (патент РФ №2246533, МПК<sup>7</sup> C10M 175/02, от 2002 г.), заключающийся в том, что 15 загрязненное масло нагревают до температуры 70-75°C, затем в него добавляют водный раствор карбамида 0,5-1% в пересчете на сухое вещество и 2-2,5% этилового спирта и периодически перемешивают при заданной температуре в течение 1 часа.

Недостатком этого способа является длительное время обработки, сложность технологического процесса и недостаточное качество очистки.

20 Задачей изобретения является повышение качества очистки отработанных масел с одновременным упрощением технологического процесса

Поставленная задача достигается тем, что отработанное масло предварительно нагревают и добавляют в него смесь изопропилового спирта и карбамида в соотношении 1:1, взятом в количестве 1,0%, в расчете на сухой карбамид от массы очищаемого масла, 25 с последующим отделением загрязнений.

30 Известно, что карбамид, добавляемый в отработанное масло в качестве водного раствора, ориентируется в пространстве в виде спиральной структуры за счет водородных связей. Внутри этих спиралей образуются каналы, которые адсорбируют активные моющие присадки, препятствующие естественной коагуляции образующихся загрязнений. Однако при большом количестве загрязнений коагулирующее действие карбамида снижается. Для нейтрализации ингибирующего действия смол по отношению к карбамиду добавляют низшие спирты. Использование изопропилового спирта вместо этилового оправдано тем, что изопропиловый спирт обладает лучшими моющими свойствами, чем этиловый спирт.

35 Сущность предлагаемого способа очистки отработанного масла заключается в том, что масло предварительно нагревают и добавляют в него смесь изопропилового спирта и карбамида в соотношении 1:1, взятом в количестве 1,0%, в расчете на сухой карбамид от массы очищаемого масла.

40 Результаты опытов по очистке отработанного моторного масла по прототипу и предлагаемому способу представлены в таблице.

45

RU 2 554 357 C1

Таблица - Результаты сравнительных исследований способов очистки отработанного моторного масла М10Г<sub>2</sub>К после наработки 100 часов

Показатели	Работающее масло (исходное)	Очищенное по прототипу	Очищенное по предлагаемому способу
Вязкость кинематическая, мм <sup>2</sup> /с	16,3	15,8	15,9
Щелочное число, мг КОН/г	2,16	1,80	1,85
Кислотное число, мг КОН/г	1,12	0,1	0,08
Содержание загрязнений, %	0,8	0,03	0,01
Содержание воды, %	0,05	0,03	Отс.
Время очистки, мин	-	60	15-20

Таким образом, при использовании предлагаемого способа сокращается время обработки отработанного масла, уменьшается количество используемых реактивов и упрощается технологический процесс обработки масла. Повышается качество очистки отработанного масла. Об этом свидетельствует снижение количества загрязнений в очищенном масле, уменьшается его кислотное число, время очистки уменьшается в два раза.

#### Формула изобретения

Способ очистки отработанного масла путем предварительного нагрева масла и последующего отделения загрязнений, отличающийся тем, что в масло добавляют смесь изопропилового спирта и карбамида в соотношении 1:1, взятом в количестве 1,0%, в расчете на сухой карбамид от массы очищаемого масла.

## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2556221

СПОСОБ РЕГЕНЕРАЦИИ ОТРАБОТАННЫХ  
СИНТЕТИЧЕСКИХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ

Патентообладатель(ли): *Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов Российской академии сельскохозяйственных наук (ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии) (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2014125915

Приоритет изобретения 26 июня 2014 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 16 июня 2015 г.

Срок действия патента истекает 26 июня 2034 г.

Врио руководителя Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU**<sup>(11)</sup> **2 556 221**<sup>(13)</sup> **C1**(51) МПК  
C10M 175/00 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014125915/04, 26.06.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
26.06.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 26.06.2014

(45) Опубликовано: 10.07.2015 Бюл. № 19

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 2004584 C1, 15.12.1993 . RU 2076898  
C1, 10.04.1997 . SU 15312 A1, 31.05.1930 . UA  
47147 A, 15.06.2002 . SU 1351971 A1, 15.11.1987  
. US 4027685 A1, 07.06.1977 . EP 0377606 B1,  
25.11.1992 . RU 2015160 C1, 30.06.1994 . SU  
522227 A1, 25.07.1976

Адрес для переписки:

392022, г. Тамбов, пер. Ново-Рубежный, 28, ГНУ  
ВНИИТиН Россельхозакадемии, Зазуле А.Н.

(72) Автор(ы):

Остриков Валерий Васильевич (RU),  
Тупотилов Николай Николаевич (RU),  
Корнев Алексей Юрьевич (RU),  
Шихалев Илья Николаевич (RU),  
Вигдорович Владимир Ильич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Государственное научное учреждение  
Всероссийский научно-исследовательский  
институт использования техники и  
нефтепродуктов Российской академии  
сельскохозяйственных наук (ГНУ  
ВНИИТиН Россельхозакадемии) (RU)

RU 2 5 5 6 2 2 1 C 1

RU 2 5 5 6 2 2 1 C 1

## (54) СПОСОБ РЕГЕНЕРАЦИИ ОТРАБОТАННЫХ СИНТЕТИЧЕСКИХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ

(57) Реферат:

Настоящее изобретение относится к способу регенерации отработанных синтетических моторных масел путем обработки аминоспиртом в смеси с алифатическим спиртом с последующим перемешиванием полученной смеси при нагревании, удалением осадка, при этом в качестве коагулянтов используют 2 об.% аминоспирта - моноэтаноламина и 2 об.%

изопропилового спирта в расчете на исходное сырье, смесь нагревают до 130-150°C и удаляют осадок центрифугированием. Техническим результатом настоящего изобретения является повышение качества и расширение ассортимента регенерации отработанных моторных масел за счет использования коагуляции их загрязнений спиртами. 2 табл.

RU 2 556 221 C1

Изобретение относится к регенерации смазочных масел, в частности к стадии очистки моторных масел от продуктов «старения», механических загрязнений и может быть использовано на маслоочистительных установках промышленности и сельского хозяйства.

5 Известен способ очистки отработанных минеральных масел (ММО) аминоспиртами (триэтаноламинами) с добавлением алифатических спиртов (этанола, пропанола). Обработанное масло подвергают отстаиванию с последующим отделением очищенного масла и его дальнейшей доочисткой (Патент РФ 2004584, МПК C10M 175/02, 1993 года). Указанный процесс трудоемок, не подвергаются очистки отработанные синтетические  
10 моторные масла.

Наиболее близким из известных способов очистки отработанных моторных масел является способ, описанный в патенте РФ №2076898, МПК C10M 175/02, 2004 года. В способе регенерация отработанного смазочного масла осуществляется путем обработки аминоспиртом (триэтаноламином) 0,1-2,0% мас., в расчете на исходное сырье в смеси  
15 с изопропиловым спиртом в объемном соотношении 1,0:0,5 с последующим перемешиванием, нагреванием до 50°C, обработкой электромагнитным полем 0,5-1,5 Тл и последующим отстаиванием более 6 часов. Недостатком данного способа является невозможность очистки отработанных синтетических моторных масел, так как предлагаемые параметры обработки (нагрев до 50°C, обработка электромагнитным  
20 полем) не приводят к коагуляции загрязнений синтетических моторных масел, и они отстаиванием не отделяются. Кроме того, данным способом не отделяется вода и легкокипящие углеводородные фракции.

Целью изобретения является повышение качества и расширение ассортимента регенерации отработанных моторных масел за счет использования коагуляции их  
25 загрязнений спиртами.

Поставленная цель достигается тем, что в отработанное синтетическое моторное масло добавляют смесь коагулянтов: 2 об.% моноэтаноламина и 2 об.% изопропилового спирта в расчете на исходное сырье. При нагреве свыше 100°C из масла удаляется вода и легкие углеводородные фракции (топливо). При дальнейшем нагревании масла с  
30 коагулянтном до 130-150°C в масле образуются скоагулированные частицы загрязнений размером более 5 мкм, которые легко отделяют центрифугированием. В масле остается не более 0,01-0,05% загрязнений, оно становится прозрачным, коричневого цвета.

Механизм коагуляционных процессов в синтетическом ММО может быть следующим. Аминоспирт моноэтаноламин является электролитом (слабым основанием), способным  
35 оказывать дестабилизирующее действие на моющее-диспергирующие присадки синтетического моторного масла. Однако его действие, как поверхностно-активного вещества (ПАВ), не столь значительно, диспергирующие свойства присадок ослабляются на 10-20%. В то же время при смеси ионогенного ПАВ моноэтаноламина с неионогенным ПАВ изопропиловым спиртом их совместное коагулирующее действие усиливается  
40 так, что активность моющее-диспергирующих присадок в масле ослабляется на 80-90%, частицы загрязнений масла коагулируют почти полностью до размеров более 5 мкм, которые легко отделить центрифугированием до низких значений (0,01-0,05%). Раздельное использование в качестве коагулянтов моноэтаноламина и изопропилового спирта не обеспечивает необходимого коагуляционного эффекта для укрупнения  
45 загрязнений масла.

Для оценки коагулирующего эффекта использовались отработанные синтетические моторные масла как конкретного производителя: AMBRA MASTERGOLD HSP (SAE 15W-40) (№1), так и неорганизованные сборы отработанных синтетических моторных

RU 2 556 221 C1

масел из различных регионов: России (№2), Казахстана (№3), Израиля (№4). Было установлено, что коагуляционный эффект добавок зависит от температуры смешивания и остаточного содержания моющее-диспергирующих присадок в масле, оцениваемых по щелочному числу масла. Оптимальной температурой для начала коагуляционных эффектов является интервал в 130-150°C, а оптимальными концентрациями добавок моноэтаноламина и изопропилового спирта - 2-4 об.%, см. таблицу 1.

Таблица 1. Средние размеры частиц загрязнений в синтетических ММО при смешивании их с моноэтаноламином и изопропиловым спиртом (1:1) в количестве 2-4 % объемных и нагревании до различных температур.

Показатели	Температура, °С	Очищаемое масло							
		1		2		3		4	
		концентрация внесения							
		2 %	4 %	2 %	4 %	2 %	4 %	2 %	4 %
Щелочное число, мгКОН/г	-	4,0	4,0	2,7	2,7	1,2	1,2	1,5	1,5
Содержание мех. примесей, %	-	0,8	0,8	0,8	0,8	0,1-0,3	0,1-0,3	0,5-0,8	0,5-0,8
Размер частиц загрязнений, мкм	20	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	50	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	100	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	~1	1-2	~1	~1
	110	<0,01	<0,01	~1	~1	~1	1-5	1-5	1-5
	120	<0,01	~1	~1	~1	1-5	1-5	> 5	> 5
	130	~1	1-5	1-5	1-5	1-5	> 5	> 5	> 5
	140	~1	1-5	1-5	> 5	> 5	> 5	> 5	> 5
	150	1-5	> 5	1-5	> 5	> 5	> 5	> 5	> 5
160	1-5	> 5	> 5	> 5	> 5	> 5	> 5	> 5	

Результаты очистки данных масел после центрифугирования приведены в таблице 2.

После очистки смазывающие свойства масел, оцениваемые по пятну износа, улучшаются на 10-15%.

RU 2 556 221 C1

Таблица 2. Результаты очистки синтетических ММО смесью моноэтаноламина и изопропилового спирта (1:1), добавка 4 % об, нагрев до 130°C

Показатели	Пробы масла							
	1		2		3		4	
	исход	очищ	исход	очищ	исход	очищ	исход	очищ
Вязкость кинематическая при 100°C, мм <sup>2</sup> /с	12,7	12,5	13,3	13,1	9,5	9,8	9,1	10,2
Температура вспышки, °C	205	204	195	190	165	175	165	185
Щелочное число, мг КОН/г	4,0	4,3	2,7	2,8	1,2	1,3	1,5	2,8
Кислотное число, мг КОН/г	2,8	2,5	4,2	4,0	0,9	0,8	1,7	1,4
Содержание, % - мех. примеси	0,8	0,01-0,05	0,8	0,01	0,1-0,3	0,01	0,8	0,01
Содержание, % - вода	следы	отс	0,1	отс	0,1	отс	0,1	отс
Цвет, ед. ЦНТ	8, черн.	6,5 прозр. темн.	8 черн.	6 прозр. темн.	7 темно-корич.	5,5-6,0 рубин прозр.	7, серый непрозр.	6,0 светло-корич прозр.
Диаметр пятна износа на четырёхшариковой машине трения, мм	0,36	0,32	0,38	0,31	0,37	0,32	0,37	0,32

По основным физико-химическим показателям все очищенные масла можно использовать как альтернативное гидравлическое масло для различных технических средств. Данный способ позволяет очищать и отработанные минеральные моторные масла, также обеспечивая возможность их использования в качестве гидравлических масел. Так отработанное минеральное масло М10ДМ загрязненностью 0,1-0,3%, непрозрачное, цвет 5,5-6,0 ед. ЦНТ после предлагаемой обработки приобретает прозрачный светло-желтый цвет (3,5-4,0 ед. ЦНТ) и полностью очищается от механических примесей (0-0,01%).

Способ осуществляют следующим образом.

Отработанное моторное масло заливают в нагревательную емкость (реактор). В него вносят 2% объемных моноэтаноламина и 2% объемных изопропилового спирта в расчете на исходное сырье. Далее смесь нагревают до 130-150°C, затем масло пропускают через центрифугу для осаждения скоагулировавшихся частиц загрязнений. Для очистки можно использовать малооборотистые центрифуги (до 8000 об/мин). Время центрифугирования 10 минут. Выход очищенного масла более 90%.

Использование предложенного способа очистки отработанного моторного масла обеспечивает по сравнению с известным способом следующие преимущества: реализуется возможность очистки отработанных синтетических моторных масел; из очищаемого масла удаляются испарением легкокипящие углеводородные примеси и вода, исключается длительная стадия отстаивания смеси масла с коагулянтном, снижаются затраты на приобретение аминоспирта: цена моноэтаноламина в два раза меньше триэтаноламина.

RU 2 556 221 C1

## Формула изобретения

Способ регенерации отработанных синтетических моторных масел путем обработки аминспиртом в смеси с алифатическим спиртом с последующим перемешиванием  
5 полученной смеси при нагревании, удалением осадка, отличающийся тем, что в качестве  
коагулянтов используют 2 об.% аминспирта - моноэтаноламина и 2 об.%  
изопропилового спирта в расчете на исходное сырье, смесь нагревают до 130-150°C и  
удаляют осадок центрифугированием.

10

15

20

25

30

35

40

45

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2529857

**ПЛАСТИЧНАЯ СМАЗКА ДЛЯ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ  
УЗЛОВ ТРЕНИЯ**

Патентообладатель(ли): *Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов Российской академии сельскохозяйственных наук (ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии) (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № **2013130714**

Приоритет изобретения **04 июля 2013 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **08 августа 2014 г.**

Срок действия патента истекает **04 июля 2033 г.**

*Врио руководителя Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

*Л.Л. Кирий*



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 529 857** (13) **C1**

(51) МПК  
*C10M 101/02* (2006.01)  
*C10M 129/26* (2006.01)  
*C10M 159/04* (2006.01)  
*C10N 30/06* (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013130714/04, 04.07.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
04.07.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 04.07.2013

(45) Опубликовано: 10.10.2014 Бюл. № 28

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2163627 C1, 27.02.2001 . SU 1737006 A1, 30.05.1992 . RU 2160767 C1, 20.12.2000 . EP 0638633 B1, 22.03.2000 . В. В. Остриков, И. И. Тупотилов, А. Ю. Корнев, С. В. Власов: "Смазочная композиция на основе отработавшего моторного масла", Химия и технология топлив и масел, 2006, N 4, стр. 35-37

Адрес для переписки:

392022, г. Тамбов, пер. Ново-Рубежный, 28, ГНУ  
 ВНИИТиН Россельхозакадемии, Острикову  
 В.В.

(72) Автор(ы):

Корнев Алексей Юрьевич (RU),  
 Остриков Валерий Васильевич (RU),  
 Шихалев Илья Николаевич (RU),  
 Вигдорович Владимир Ильич (RU),  
 Казаринов Олег Геннадиевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Государственное научное учреждение  
 Всероссийский научно-исследовательский  
 институт использования техники и  
 нефтепродуктов Российской академии  
 сельскохозяйственных наук (ГНУ  
 ВНИИТиН Россельхозакадемии) (RU)

RU 2 529 857 C 1

RU 2 529 857 C 1

## (54) ПЛАСТИЧНАЯ СМАЗКА ДЛЯ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ УЗЛОВ ТРЕНИЯ

(57) Реферат:

Настоящее изобретение относится к пластичной смазке для тяжело нагруженных узлов трения, содержащей базовое масло, синтетические жирные кислоты и гидроокись кальция, при этом в качестве базового масла используют очищенное отработанное моторное масло, а в качестве синтетических жирных кислот - кубовые остатки производства синтетических жирных кислот, при следующем соотношении компонентов: очищенное отработанное моторное масло - 68-

70 масс.%, кубовые остатки производства синтетических жирных кислот - 27-30 масс.%, гидроокись кальция - 2-3 масс.%. Техническим результатом настоящего изобретения является повышение качества смазки и улучшение ее противоизносных свойств, снижение себестоимости, расширение сырьевой базы, утилизация отходов использования нефтепродуктов. 1 табл.

RU 2 529 857 C1

Изобретение относится к пластичным смазочным материалам и используется для смазывания тяжело нагруженных механизмов, в частности основных узлов трения автомобилей, тракторов, комбайнов, а также в металлургии и добывающей промышленности.

5 Известны пластичные смазки - солидолы, состоящие из минеральных масел, загущенных гидратированными кальциевыми мылами высших кислот синтетических или естественных жиров. Их применяют в различных механизмах при рабочих температурах до 60-70°C. Выпускаются три марки солидолов: солидол Ж, солидол С и пресс-солидол [Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение. Справочник под. Ред. В.М. Школьников. М.: Техинформ, 1999, с.319].

10 Недостатком данных смазок является их высокая себестоимость получения из-за высокой цены базовых минеральных масел.

Имеются сведения о добавлении в состав смазок отработанных масел, однако они выступают как компоненты в смеси масел, а не как основа смазки [Патент РФ №2177982, 15 С10М 169/04, С10М 177/00, С10М 169/04, С10М 129:30, С10М 129:40, С10М 159:08, С10М 159:04 от 03.04.2000 г.]. Недостатком является то, что использование неочищенного отработанного масла для приготовления смазок приводит к ухудшению качества получаемых смазок, разупрочнению их структуры и ухудшению объемно-механических свойств частицами загрязнений, продуктами окисления и старения.

20 Наиболее близкой по технической сущности и достигаемому результату к заявляемому изобретению является пластичная смазка [Патент РФ №2163627 С10М 169/02, С10М 169/02, С10М 101:02, С10М 159:04, С10М 129:56, от 06.10.1999 г.], предназначенная для смазывания узлов трения, качения и скольжения машин и механизмов, содержащая экстракт нефтяной в качестве базового масла, шлам сульфатных стоков производства синтетических жирных кислот (СЖК) и гидроокись кальция.

25 Недостатком прототипа является невысокая смазывающая способность, низкая температура каплепадения и соответственно максимальная температура применения, а также относительно высокая себестоимость.

30 Задача предлагаемого изобретения - улучшение качества и свойств смазки, увеличение смазывающей способности, расширение условий применения, дополнение сырьевой базы и улучшение ситуации с переработкой нефтеотходов за счет переработки и использования отработанного масла, подлежащего утилизации.

35 Поставленная задача достигается тем, что известная пластичная смазка, содержащая базовое масло, синтетические жирные кислоты и гидроокись кальция, согласно изобретению в качестве базового масла используют очищенное отработанное моторное масло, а в качестве синтетических жирных кислот используют кубовые остатки производства синтетических жирных кислот, при следующем соотношении компонентов: очищенное отработанное моторное масло - 68-70 масс.%, кубовые остатки производства синтетических жирных кислот - 27-30 масс.%, гидроокись кальция - 2-3 масс.%.

40 Предлагаемая смазка готовится следующим образом. На первой стадии проводится очистка отработанного моторного масла по следующей технологии. В загрязненное отработанное масло при постоянном перемешивании вносят 1-2% водного раствора карбамида (1:1), после чего температуру смеси поднимают до 100-105°C и при постоянном перемешивании выпаривают всю воду. За счет реакции находящегося в 45 растворе карбамида с загрязняющими масло агентами происходит их укрупнение и осаждение. В результате удаляются механические примеси, а также продукты старения масла - асфальтены, карбены, карбоиды и др. Оставшиеся микрочастицы карбамида положительным образом влияют на смазывающую способность масла. Кроме того,

RU 2 529 857 C1

подобный способ очистки сохраняет в масле оставшиеся присадки, количество которых может составлять 20-30% от первоначального в зависимости от степени наработки масла. Они также улучшают физико-химические свойства масляной основы.

5 Далее в реактор загружается половина расчетного количества очищенного отработанного моторного масла и весь объем КОСЖК. После чего включается перемешивающее устройство и производится подогрев смеси до 70-80°C при постоянном перемешивании.

10 Параллельно производится подготовка гидроокиси кальция. Готовится смесь извести «пушонки» и воды - известковое тесто с соотношением компонентов 1:3 соответственно. Готовое известковое тесто загружается в реактор, где проводится омыление жировых компонентов при температуре 95-100°C в течение 1,5-2 часов. По мере надобности в реакционную смесь небольшими порциями добавляется вода.

15 В ходе процесса омыления отбираются пробы с периодичностью 20-30 мин для определения кислотного числа и/или содержания свободной щелочи как основных показателей завершения процесса омыления. Итоговое содержание свободной щелочи должно составлять не более 0,2% в пересчете на NaOH, содержание воды не более 2-3%.

20 После завершения омыления нагрев выключается и в смесь при перемешивании добавляется оставшееся количество (1/2) очищенного отработанного масла и, если необходимо, вода, что приводит к снижению температуры смеси до 60-70°C, после чего перемешивание выключают. По прошествии 20-24 часов остывшую смазку гомогенизируют, после чего проводят контрольные анализы физико-химических характеристик (таблица 1).

25 Как видно из полученных данных, смазка отвечает основным требованиям, предъявляемым к смазкам типа солидол, а по некоторым превосходит их. Например, температура каплепадения достигает 120°C, что расширяет температурный интервал применения смазки.

30 Смазывающая способность, характеризуемая диаметром пятна износа, определяемым на четырехшариковой машине трения (ЧШМТ), как при 25°C, так и при 60°C выше, чем у прототипа. Это способствует меньшему износу пар трения и отражает лучшие противоизносные свойства предлагаемой смазки.

Таблица 1

Показатели	Прототип	Предлагаемый состав	ГОСТ 4366-76
35 Содержание свободной щелочи (на NaOH), %	не более 0,2	0,1-0,2	Соответств.
Содержание свободных органических кислот, %	0	0	Соответств.
Содержание воды, %	до 3	до 3	Соответств.
Содержание мех. примесей, %	0,05-0,2	0-0,05	Соответств.
Температура каплепадения, °C	85-90	90-120	Соответств.
Кислотное число, мг КОН/г	0	0	Соответств.
40 Диаметр пятна износа на ЧШМТ при 25°C, мм	0,47	0,33	Соответств.
Диаметр пятна износа на ЧШМТ при 60°C, мм	0,52	0,34	Соответств.
Внешний вид	Однородная мазь коричневого цвета		

Использование в качестве базового масла очищенного отработанного масла позволяет снизить себестоимость производства, расширить сырьевую базу и частично решить проблему утилизации отходов нефтепродуктов.

45 Предлагаемое изобретение может быть реализовано в нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности, сельском хозяйстве, отраслях, связанных с переработкой отходов нефтепродуктов, а именно в производстве пластичных смазок, которые используются для смазки тяжело нагруженных механизмов автотранспортной,

RU 2 529 857 C1

сельскохозяйственной техники, агрегатов в машиностроении и металлургии.

#### Формула изобретения

Пластичная смазка для тяжело нагруженных узлов трения, содержащая базовое  
5 масло, синтетические жирные кислоты и гидроксид кальция, отличающаяся тем, что  
в качестве базового масла используют очищенное отработанное моторное масло, а в  
качестве синтетических жирных кислот - кубовые остатки производства синтетических  
жирных кислот, при следующем соотношении компонентов:  
10 очищенное отработанное моторное масло - 68-70 масс.%,  
кубовые остатки производства синтетических жирных кислот - 27-30 масс.%,  
гидроксид кальция - 2-3 масс.%.  
15  
20  
25  
30  
35  
40  
45

Утверждаю

Главный инженер

Колхоза ПЗ им. Ленина  
Тамбовского района  
Тамбовской области



Попов А. В.

2015г.

**Акт производственных испытаний  
пластичных смазок на основе отработанных масел  
в узлах сельскохозяйственной техники**

Комиссия в составе: председателя комиссии главного инженера колхоза ПЗ им. Ленина Тамбовского района, Тамбовской области Попова А. В. и членов комиссии: зав. лабораторией использования смазочных материалов и отработанных нефтепродуктов ФГБНУ ВНИИТиН Острикова В.В., старшего научного сотрудника ФГБНУ ВНИИТиН Попова С.Ю., научного сотрудника ФГБНУ ВНИИТиН Вязинкина В.С., аспиранта ФГБНУ ВНИИТиН Шихалева И.Н., механизаторов колхоза ПЗ им. Ленина Тамбовского района, Тамбовской области Понкратова Ю.Ю., Калашникова П.Н., Волкова В.В. рассмотрела результаты производственных испытаний экспериментальных образцов пластичных смазок аналогов Солидол Ж и Литол – 24 в узлах трений жатки ПН – 35 и Комбайна Дон 680 М в период эксплуатации июль – август 2015 года.

На основании протокола производственных испытаний комиссия считает, что разработанные аспирантом Шихалевым И.Н. аналоги пластичных смазок Солидол – Ж и Литол – 24 имеют высокие эксплуатационные свойства и способны снизить износ деталей трения на 5 – 15 % по сравнению с товарными образцами пластичных смазок Солидол Ж и Литол – 24.

Комиссия рекомендует ускорить вопрос оформления технических условий на смазки для их серийного производства и широкого применения в сельскохозяйственной технике.

Зав. лабораторией №8 ФГБНУ ВНИИТиН  
Старший научный сотрудник ФГБНУ ВНИИТиН  
Научный сотрудник ФГБНУ ВНИИТиН  
Аспирант ФГБНУ ВНИИТиН  
Механизатор колхоза ПЗ им. Ленина  
Механизатор колхоза ПЗ им. Ленина  
Механизатор колхоза ПЗ им. Ленина

	Остриков В.В.
	Попов С.Ю.
	Вязинкин В.С.
	Шихалев И.Н.
	Понкратов Ю.Ю.
	Калашников П.Н.
	Волков В.В.

**Протокол производственных испытаний  
пластичных смазок в узлах сельскохозяйственной техники**

Комиссия в составе: председателя комиссии главного инженера колхоза ПЗ им. Ленина Тамбовского района, Тамбовской области Попова А. В. и членов комиссии: зав. лабораторией использования смазочных материалов и отработанных нефтепродуктов ФГБНУ ВНИИТиН Острикова В.В., старшего научного сотрудника ФГБНУ ВНИИТиН Попова С.Ю., научного сотрудника ФГБНУ ВНИИТиН Вязинкина В.С., аспиранта ФГБНУ ВНИИТиН Шихалева И.Н., механизаторов колхоза ПЗ им. Ленина Тамбовского района, Тамбовской области Понкратова Ю.Ю., Калашникова П.Н., Волкова В.В. провела анализ результатов испытаний аналогов пластичных смазок Солидол Ж и Литол – 24 приготовленных на основе отработанных масел в узлах трения жатки ПН – 35 агрегируемой с трактором Беларусь МТЗ 82.1 и агрегатах и узлах комбайна Дон 680 М работающих на уборке сенажа и силосной массы в колхоза ПЗ им. Ленина Тамбовского района, Тамбовской области в период июль – август 2015 года.

Испытания проводились в сравнительном режиме товарных и экспериментальных смазок.

Экспериментальная смазка аналог Солидола Ж заправлялась в опорный подшипник мотвила жатки ПН – 35 с одной стороны а с другой стороны товарный Солидол Ж.

Смазка производилась ежедневно перед началом работы (смены).

В течении времени работы, через каждый час, измерялась температура на поверхностях опорных подшипников прибором инфракрасный пирометр Питон 106.

После завершения смены (8 часов) из узлов отбиралась проба смазки для проведения анализа на содержание железа, загрязненности (иных примесей – под микроскопом) и температуры каплепадения в условиях химической лаборатории ФГБНУ ВНИИТиН.

В таблице 1 представлены результаты сравнительных испытаний смазок.

Испытания проводились в течении всего периода работы агрегата т. е. 12 дней. Результаты замеров анализа смазок заносились в журнал наблюдений.

По результатам испытаний установлено, что экспериментальный образец смазки Солидол Ж по своим эксплуатационным характеристикам не уступает товарной смазке Солидол Ж а в некоторых случаях превосходит их.

Таблица - 1 Результаты сравнительных испытаний смазок

Показатели	Товарная смазка Солидол Ж								Экспериментальная смазка							
	Наработка															
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
Температура поверхности узла трения, °С	19	22	24,5	26	27	28	29	29,5	18	20	21,5	23	24	24,5	25	25,5
Содержание железа мг/кг	0,0015	0,01	0,018	0,025	0,027	0,04	0,05	0,06	0,001	0,005	0,007	0,01	0,016	0,0195	0,02	0,03
Температура каплепадения	106	103	100	98	95	92	90	89	106	106	104	101	99	99	98	97
Загрязненность, %	1	2	2,5	3	4	6	8	10	0,5	0,8	1,1	1,6	2	2,5	3	4

Так определено что температура нагрева узлов трения в процессе работы экспериментальной смазки была на 5 ... 15 °С ниже чем в узлах трения (опорном подшипнике) работающим на товарной смазке.

Оцениваемый в конце каждой смены «выброс смазки показал, что экспериментальный образец практически весь оставался в узле трения, в то время как узел заправляемый товарным Солидолом имел на своей поверхности выдавленную смазку.

Расход заправляемой смазки (в начале каждой смены) отличался 30 ... 40%.

Испытания экспериментальной смазки Литол – 24 проводились в узлах комбайна Дон 680 М:

- ведомый привод левого торсиона жатки;
- правый подшипник привода жатки;
- привод барабана жатки;
- подшипник режущего механизма;
- ускоритель выгрузки;
- привод жатки (ведомый шкив питающего аппарата).

Испытания проводились в период комбайновой уборки кукурузы на силос.

В ходе испытаний контролировалась температура узлов трения, содержания железа в смазке в начале и конце смены, температура каплепадения смазки до ее внесения и в конце 8 часов работы, содержание примесей (под микроскопом) в конце смены.

В таблице 2 представлены усредненные результаты испытаний смазок в вышеперечисленных узлах в течении 8 дней работы комбайнов.

Таблица - 2 Результаты испытаний смазок в узлах комбайна

Показатели	Узлы трения											
	Товарная смазка Литол - 24						Экспериментальная смазка					
	Ведомый привод левого торсiona жатки	Правый подшипник привода жатки	Привод барабана жатки	Подшипник режущего механизма	Ускоритель выгрузки	Ведомый шкив питающего аппарата	Ведомый привод левого торсiona жатки	Правый подшипник привода жатки	Привод барабана жатки	Подшипник режущего механизма	Ускоритель выгрузки	Ведомый шкив питающего аппарата
Температура поверхности на	49	35	52	38	51	45	40	28	29	28	39	34
Содержание железа мг/кг (на начало и конец смены)	0,14	0,08	0,082	0,13	0,157	0,12	0,12	0,07	0,068	0,1	0,095	0,098
Загрязненность смазки	8	9	13	18	16	14	5	7	10	14	12	11
Температура каплепадения (на начало и конец смены)	180	177	171	162	165	168	185	182	174	168	170	169

Проведенными испытаниями установлено что экспериментальный образец Литол 24 изготовленный на основе очищенного отработанного синтетического моторного масла обладает более высокими эксплуатационными свойствами. Способен более рационально удерживаться в узле трения, имея более длительный срок службы и способен снижать износ поверхностей трения.

Вместе с общей положительной оценкой результатов испытаний смазок следует отметить следующие замечания:

1. Пред началом и в конце испытаний не оценивалось состояние подшипников;
2. Испытания следовало провести в более расширенном диапазоне узлов трения.

Имеющие место замечания по решению комиссии включающей специалистов инженерной службы хозяйства, механизаторов в целом носят рекомендательный характер, а разработанные смазки превосходят известные товарные образцы.

Рекомендуется расширить практику применения смазок, организовать их серийное производство.

Также на основании представленного технологического процесса получения смазок установлена адекватность их получения в условиях сельхозпредприятия.

Председатель комиссии:

Главный инженер колхоза ПЗ им. Ленина

 Попов А. В.

Члены комиссии колхоза ПЗ им. Ленина

Механизатор колхоза ПЗ им. Ленина

 Понкратов Ю.Ю.

Механизатор колхоза ПЗ им. Ленина

 Калашников П.Н.

Механизатор колхоза ПЗ им. Ленина

 Волков В.В.

Члены комиссии ФГБНУ ВНИИТиН:

Зав. лабораторией №8 ФГБНУ ВНИИТиН

 Остриков В.В.

Старший научный сотрудник ФГБНУ ВНИИТиН

 Попов С.Ю.

Научный сотрудник ФГБНУ ВНИИТиН

 Вязинкин В.С.

Аспирант ФГБНУ ВНИИТиН

 Шихалев И.Н.

### Проведение аппроксимации целевых функций

Векторы значений концентраций и времени можно представить в виде

$$C := \begin{pmatrix} 0.2 \\ 0.5 \\ 0.8 \end{pmatrix} \quad \tau := \begin{pmatrix} 10 \\ 20 \\ 30 \\ 40 \\ 50 \\ 60 \\ 70 \end{pmatrix}$$

Сформируем матрицу планирования  $X$ , строки которой соответствуют сочетаниям независимых переменных  $C$  и  $\tau$ .

```
X :=
| n ← 0
| for i ∈ 0..rows(C) - 1
|   for j ∈ 0..rows(τ) - 1
|     for k ∈ 0..1
|       | Xn,k ← Ci if k = 0
|       | Xn,k ← τj if k = 1
|     n ← n + 1
| X
```

	0	1
0	0.2	10
1	0.2	20
2	0.2	30
3	0.2	40
4	0.2	50
5	0.2	60
6	0.2	70
7	0.5	10
8	0.5	20
9	0.5	30
10	0.5	40
11	0.5	50
12	0.5	60
13	0.5	70
14	0.8	10
15	0.8	...

Соответствующие экспериментальные значения температуры и мощности:

Продолжение приложения 5

T :=	32	N :=	0.28
	42		0.38
	61		0.45
	78		0.5
	89		0.55
	97		0.57
	101		0.58
	35		0.33
	46		0.48
	65		0.59
	81		0.71
	92		0.77
	100		0.8
	105		0.85
	38		0.37
	50		0.75
	68		0.99
	87		1.22
	98		1.34
	105		1.45
	110		1.49

Функция суммы квадратов отклонений

$$E(A, x, y) := \sum_{i=0}^{\text{rows}(X)-1} \left( T_i - g(X_{i,0}, X_{i,1}, A, x, y) \right)^2$$

Функция K, возвращающая локальный минимум функции E при начальном приближении в точке (A, x, y)

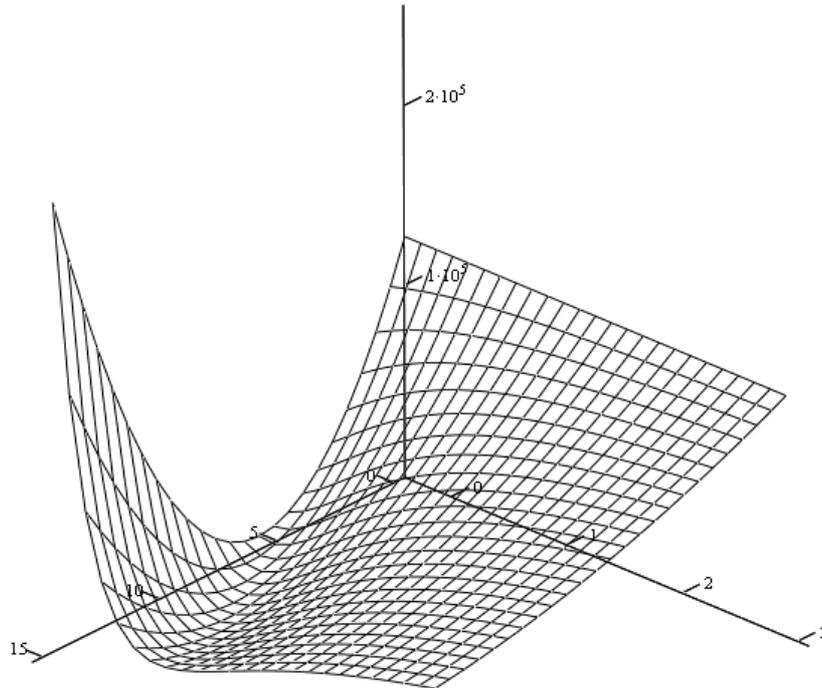
Given

$$K(A, x, y) := \text{Minimize}(E, A, x, y)$$

Предварительные построения выявили овражность функции квадратов отклонений E. Ниже приведен график зависимости данной функции от двух переменных A и x при фиксированном значении y=0,6.

$$E3(x1, x2) := E(x1, x2, 0.6)$$

$$M2 := \text{CreateMesh}(E3, 0, 15, -0.3, 3, 25, 25)$$



M2

Для минимизации подобных функций предпочтительнее использование квази-ньютоновского метода [5], реализуемого системой Mathcad.

Given

$$K(A, x, y) := \text{Minimize}(K, A, x, y)$$

$$E2(K) := E(K_0, K_1, K_2)$$

эпизация случайного

$$Mstart := \begin{cases} m \leftarrow 10 \\ \text{for } i \in 0 \\ \quad x1 \leftarrow \\ \quad x2 \leftarrow \end{cases}$$

Context menu options:

- Примечание для выбранного фрагмента...
- Автовыбор
- Линейные
- Нелинейные
  - Метод Левенберга-Марквардта
  - Метод сопряженных градиентов
  - Квази-Ньютон
  - Дополнительные параметры
- ✂ Вырезать
- 📄 Копировать
- 📄 Вставить
- 🔗 Свойства...
- 🚫 Отключить вычисление
- 🔧 Оптимизировать

Для поиска глобального экстремума функции без ограничений одним из наиболее эффективных является метод случайного мултистарта[6]. Суть метода заключается в многократном поиске локального экстремума из различных начальных приближений, которые выбираются случайным образом.

Ниже приведена реализация метода случайного мултистарта.

Введем для удобства функцию:

$$E2(K) := E(K_0, K_1, K_2)$$

```

Mstart :=
  m ← 1010
  for i ∈ 0..100
    x1 ← rnd(20)
    x2 ← rnd(20) - 10
    x3 ← rnd(20) - 10
    if E2(K(x1, x2, x3)) < m
      m ← E2(K(x1, x2, x3))
      A ← x1
      x ← x2
      y ← x3
  (A)
  (x)
  (y)

```

В данном случае количество начальных приближений составляет 101. Компоненты  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  вектора начального приближения ограничены интервалами  $[0; 20]$ ,  $[-10; 10]$  и  $[-10; 10]$  соответственно. Выбор данных интервалов обусловлен сходимостью квазиньютоновского метода в данной области.

Лучшее начальное приближение составило

$$Mstart = \begin{pmatrix} 8.583 \\ 0.261 \\ 0.623 \end{pmatrix}$$

Коэффициенты аппроксимирующей функции, соответствующие глобальному минимуму функции  $E$

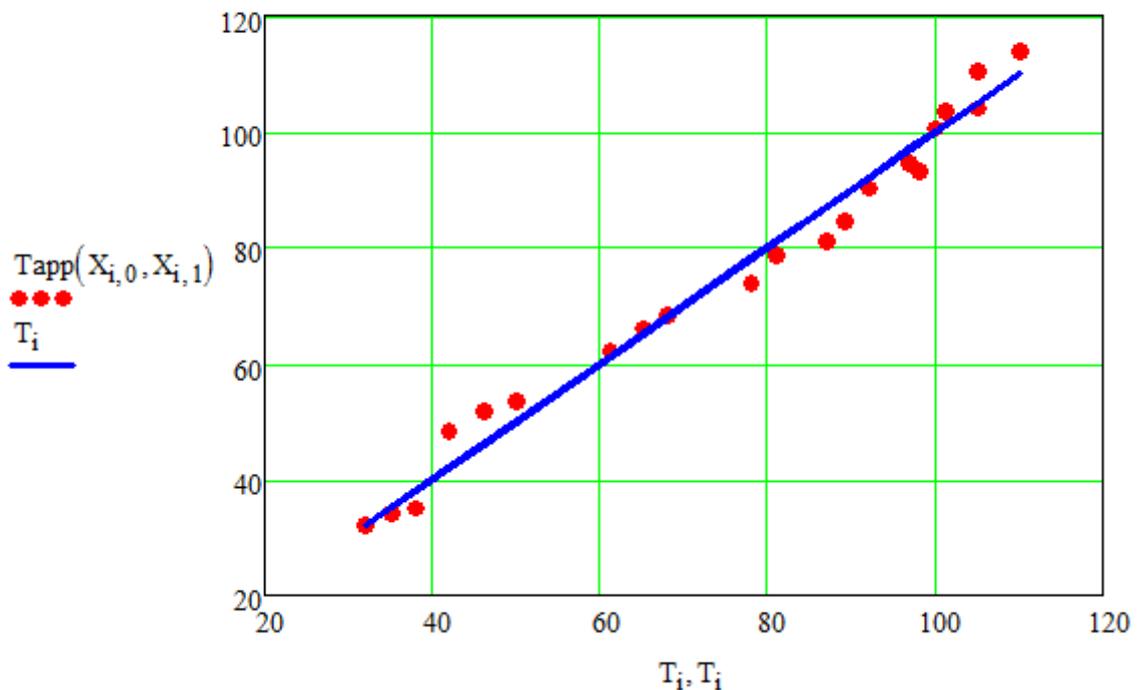
$$\begin{pmatrix} A \\ x \\ y \end{pmatrix} := K(Mstart_0, Mstart_1, Mstart_2) = \begin{pmatrix} 8.871 \\ 0.069 \\ 0.605 \end{pmatrix}$$

Таким образом, целевая функция для температуры примет вид

$$T_{app}(C, \tau) := g(C, \tau, A, x, y) \rightarrow 8.8707774776592228 \cdot C^{0.068740883552559778} \cdot \tau^{0.60486486991508548}$$

Для визуальной проверки достоверности аппроксимации построим график, на оси абсцисс которого отложим экспериментальные значения температуры, на оси ординат – значения аппроксимирующей функции в тех же точках. Таким образом, чем ближе окажутся точки к диагонали, тем достовернее аппроксимация.

$$i := 0..rows(X) - 1$$



Согласование поверхности отклика с экспериментальными данными удовлетворительное.

Значение суммы квадратов отклонений составляет

$$E(A, x, y) = 263.428$$

Аппроксимация функции мощности выполняется аналогичным образом. Ниже приведен листинг Mathcad без комментариев.

$$E(A, x, y) := \sum_{i=0}^{\text{rows}(X)-1} \left( N_i - g(X_{i,0}, X_{i,1}, A, x, y) \right)^2$$

Given

$$K(A, x, y) := \text{Minimize}(E, A, x, y)$$

$$E2(K) := E(K_0, K_1, K_2)$$

```

Mstart :=
  m ← 1010
  for i ∈ 0..100
    x1 ← rnd(20)
    x2 ← rnd(20) - 5
    x3 ← rnd(10)
    if E2(K(x1, x2, x3)) < m
      m ← E2(K(x1, x2, x3))
      A ← x1
      x ← x2
      y ← x3
  (
  A
  x
  y
  )

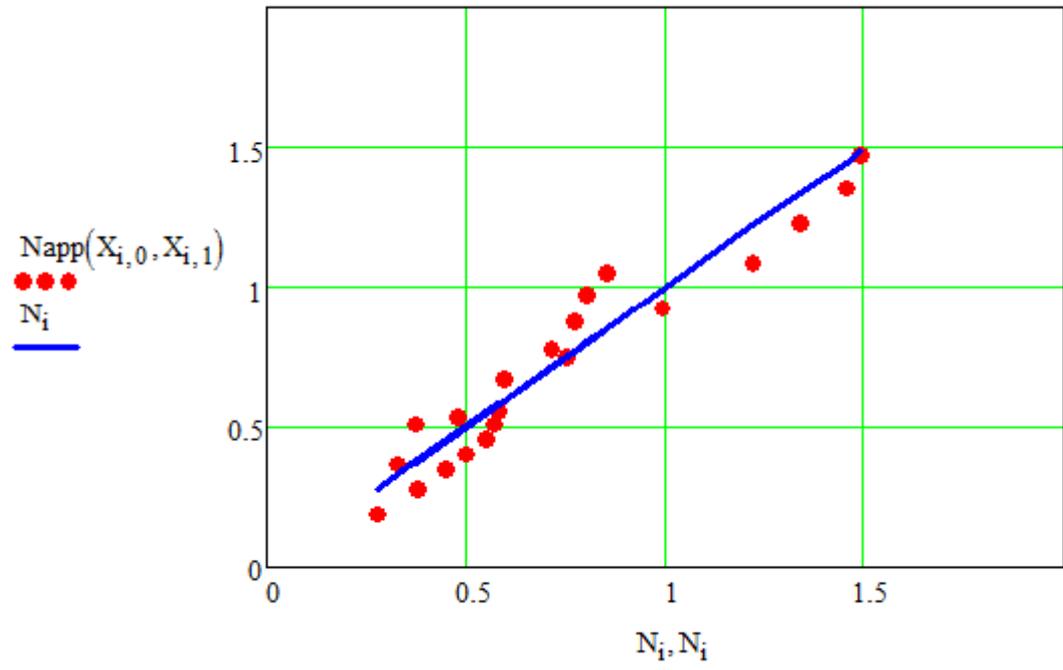
```

$$Mstart = \begin{pmatrix} 2.364 \\ 6.773 \\ 1.737 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} A \\ x \\ y \end{pmatrix} := K(Mstart_0, Mstart_1, Mstart_2) = \begin{pmatrix} 0.172 \\ 0.713 \\ 0.543 \end{pmatrix}$$

$$E(A, x, y) = 0.212$$

$$Napp(C, \tau) := g(C, \tau, A, x, y) \rightarrow 0.17194838315434052 \cdot C^{0.71274641094011792} \cdot \tau^{0.5433484634562602}$$



### Решение задачи многокритериальной оптимизации

Для формирования скалярной целевой функции, реализующей стратегию минимакса, найдем минимальные и максимальные значения каждого из критериев. При этом будем решать задачу минимизации критериев. Поскольку для функции температуры требуется найти максимум, то вспомогательные функции запишем в виде

$$f1(x) := -Tapp(x_0, x_1) \quad f2(x) := Napp(x_0, x_1)$$

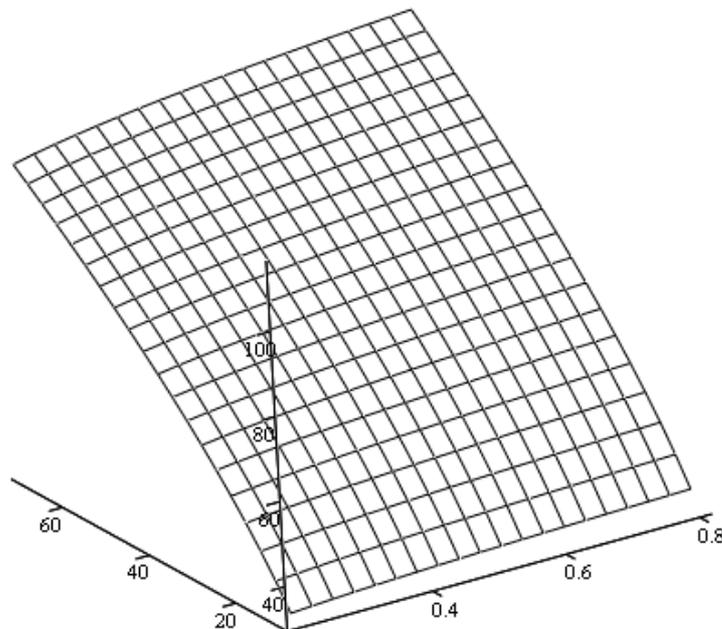
Границы варьируемых переменных:

$$a1 := 0.2 \quad b1 := 0.8 \quad a2 := 10 \quad b2 := 70$$

Построим поверхности отклика для каждого из критериев.

Для температуры поверхность отклика имеет вид, близкий к линейному:

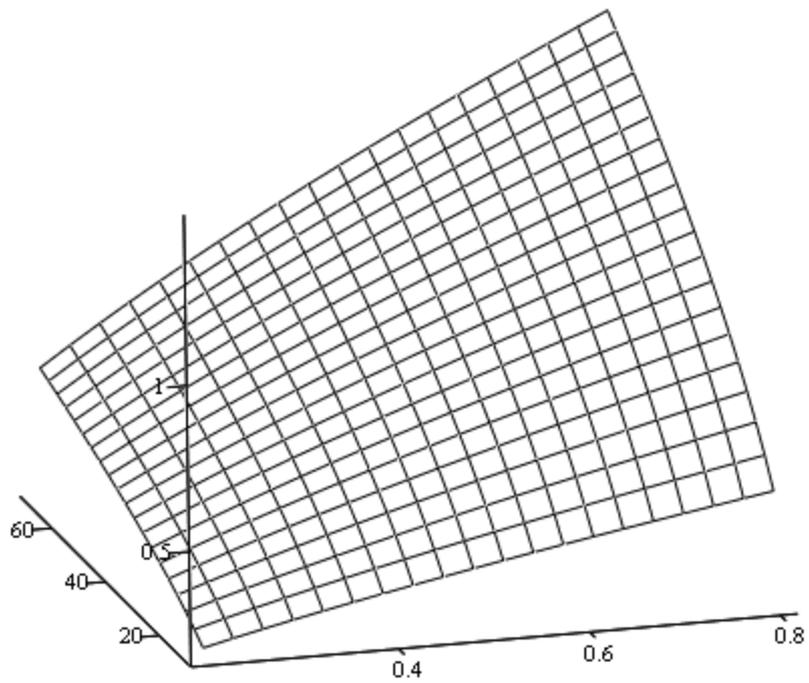
$$M := \text{CreateMesh}(Tapp, a1, b1, a2, b2)$$



M

Поверхность отклика для мощности:

$$M := \text{CreateMesh}(Napp, a1, b1, a2, b2)$$



М

Минимальные значения критериев:

$$f_{\min_0} := f1(\text{Mesh}(\text{Tapp}, "max", a1, b1, a2, b2)) = -114.113$$

$$f_{\min_1} := f2(\text{Mesh}(\text{Napp}, "min", a1, b1, a2, b2)) = 0.191$$

Максимальные значения критериев:

$$f_{\max_0} := f1(\text{Mesh}(\text{Tapp}, "min", a1, b1, a2, b2)) = -31.973$$

$$f_{\max_1} := f2(\text{Mesh}(\text{Napp}, "max", a1, b1, a2, b2)) = 1.475$$

Введем векторный критерий, компонентами которого являются скалярные критерии отрицательной температуры и мощности.

$$f(x1, x2) := \begin{pmatrix} -\text{Tapp}(x1, x2) \\ \text{Napp}(x1, x2) \end{pmatrix}$$

Весовые коэффициенты критериев:

$$c_0 := 0.5 \quad c_1 := 1 - c_0 = 0.5$$

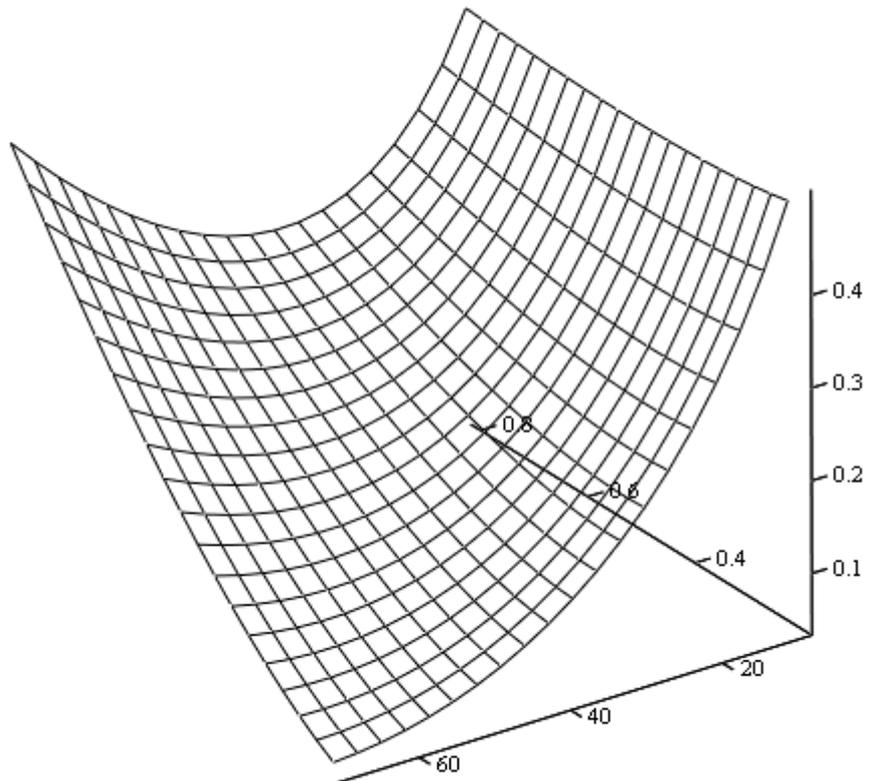
Скалярная целевая функция, реализующая минимаксную стратегию

$$P(x_1, x_2, c) := \sum_{i=0}^1 \left[ c_i \cdot \left( \frac{f(x_1, x_2)_i - f_{\min}_i}{f_{\max}_i - f_{\min}_i} \right)^2 \right]$$

Построим график поверхности целевой функции. Для этого введем вспомогательную функцию Pc с фиксированными весовыми коэффициентами:

$$Pc(x_1, x_2) := P(x_1, x_2, c)$$

$$M := \text{CreateMesh}(Pc, a_1, b_1, a_2, b_2)$$



M

Оптимум целевой функции:

$$\text{Opt} := \text{Mesh}(\text{Pc}, "min", a1, b1, a2, b2) = \begin{pmatrix} 0.2 \\ 70 \\ 726 \end{pmatrix}$$

Значения критериев в точке оптимума:

$$\text{Tapp}(\text{Opt}_0, \text{Opt}_1) = 103.741$$

$$\text{Napp}(\text{Opt}_0, \text{Opt}_1) = 0.549$$

Таким образом, для значений весовых коэффициентов  $c=0,5$  найдено «компромиссное» решение, при котором температура максимальна, а мощность минимальна.

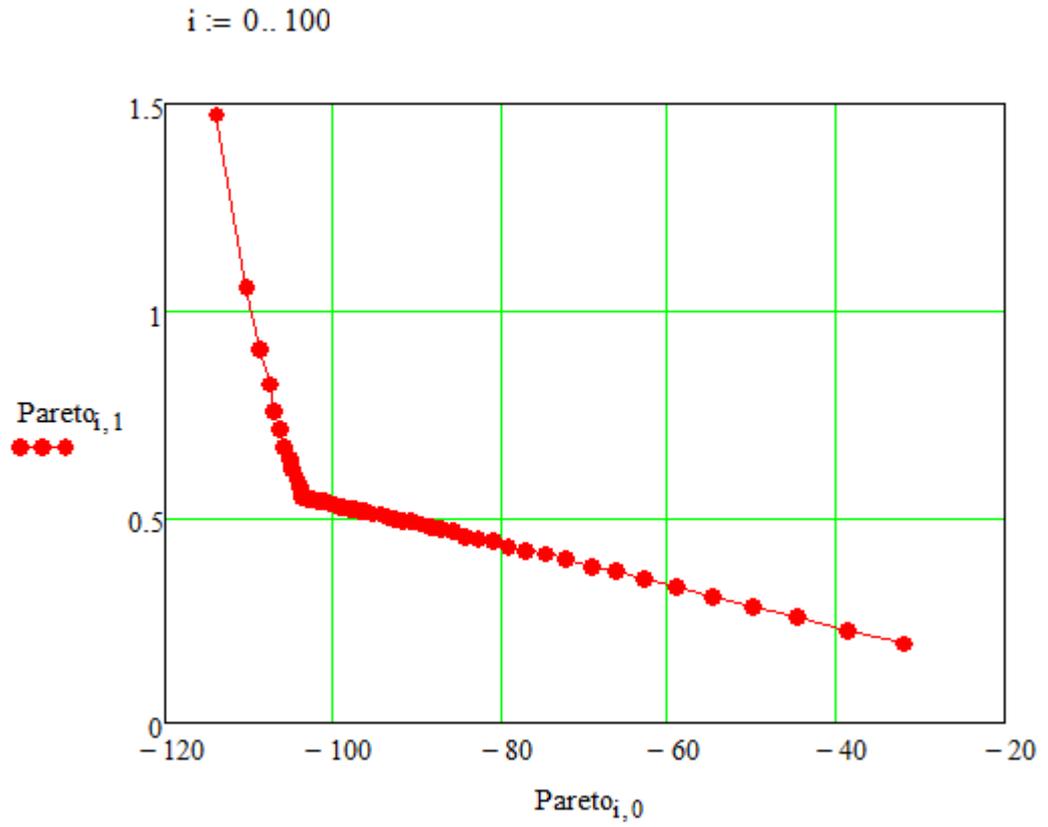
Варьируя вектором весовых коэффициентов  $c$ , можно получить множество неулучшаемых альтернатив – множество Парето.

```
Pareto :=
  for i ∈ 0.. 100
  |
  |   c0 ←  $\frac{i}{100}$ 
  |   c1 ← 1 - c0
  |   par(x1, x2) ← P(x1, x2, c)
  |   opt ← Mesh(par, "min", a1, b1, a2, b2)
  |   paretoi,0 ← -Tapp(opt0, opt1)
  |   paretoi,1 ← Napp(opt0, opt1)
  |
  | pareto
```

Множество Парето для 2-критериальной задачи оптимизации изображается в виде графика, на оси абсцисс которого откладываются значения первого критерия (в данном случае – отрицательной температуры), на оси ординат – второго критерия (мощности). Нанесенные точки образуют линию, называемую множеством Парето. Значения критериев в точках множества не могут быть улучшены без ухудшения другого критерия. Любая точка множества Парето мо-

Окончание приложения 6

жет быть выбрана в качестве оптимальной. Окончательное решение принимается экспертом или на основе задания весовых коэффициентов.



Утверждаю  
 Генеральный директор  
 ООО «МПП ЭнергоОйл»  
 Мурманск  
 Мякинин И.А.  
 \_\_\_\_\_ 2015г.



### Акт внедрения технологии получения пластичных смазок на основе очищенных отработанных масел

На основании договора о научно – техническом сотрудничестве между ФГБНУ ВНИИТиН и ООО «Мурманское инновационное перерабатывающее предприятие ЭнергоОйл» г. Мурманск в 2014 – 2015 году в ООО «МПП ЭнергоОйл» внедрена технология получения пластичных смазок Литол – 24 разработанная при непосредственном участии инженера Шихалева И.Н..

Смазки изготавливаются по следующему технологическому процессу: очистка отработанного масла; обогащения и перемешивания с дисперсионной фазой и присадками; гомогенизация.

90 % процентов оборудования применяемого при приготовлении смазок разработано и изготовлено в ФГБНУ ВНИИТиН.

В 2015 году начато серийное производство смазок Литол – 24 по ТУ ФГБНУ ВНИИТиН.

На начало III квартала изготовлено и реализовано заказчику 1560 кг смазки.

Генеральный директор

Мякинин И.А.

Таблица 1 - Технологический процесс приготовления пластичной смазки Лито-24 на основе отработанного синтетического масла

№ п/п	Наименование операции	Параметры	Состав операции	Оборудование	Химические реагенты и препараты	Время,
1	2	3	4	5	6	7
Подготовка сырья						
1	Слив отработанного моторного масла	-	Сливаем отработанное синтетическое моторное масло ОСММ с трактора в емкость для предварительного отстаивания (механических примесей, воды)	Установка для слива отработанного масла из двигателей, коробок . Емкость для ОСММ	-	24 часа
1.1	Оценка свойств отработанного масла	Щелочное число: 3,4 мгКОШ/г кислотное число: 2,15 мгКОН/г содержание нерастворимого осадка 0,9%	Отбирается капельная проба масла и в результате оцениваются его физико-химические свойства	Экспрес лаборатория ФГНУ ВНИИПТИН	Дистиллированная вода, изопропиловый спирт, толуол, фильтровальная бумага, индикаторная бумага	10 мин
Получение дисперсионной среды пластичных смазок						
2	Очистка ОСММ	1% моноэтаноламина от объема изопропанола от объема	Отработанное масло заливается в бак смесителя и нагревается до температуры 80°С. После чего в масло вносятся разделяющий агент и температуру поднимают до 115°С	Бак-смеситель	моноэтаноламин, изопропиловый спирт	30 мин
2.1	Отстаивание	-	Масло перекачивается из бака-смесителя в емкость для отстаивания. Время отстаивания составляет 2 часа	Насос, бак -смеситель, емкость для отстаивания	-	5 мин
2.2	Оценка свойств отработанного масла	Щелочное число: 3,1 мгКОШ/г кислотное число: 1,99 мгКОН/г содержание нерастворимого осадка 0,29 %	Отбирается капельная проба масла и в результате оцениваются его физико-химические свойства	Экспрес лаборатория ФГНУ ВНИИПТИН	Дистиллированная вода, изопропиловый спирт, толуол, фильтровальная бумага, индикаторная бумага	10 мин
Приготовление пластичной смазки						
3	Подготовка бак-смесителя к работе	-	Проводится очистка бака смесителя от продуктов очистки отработанного масла	Ветosh	-	15 мин
3.1	Перемешивание	80 % ОСММ, 20% мыльного загустителя	Очищенное масло заливается в бак смесителя и смешивается при 20°С	Насос, бак - смеситель	мыльный загуститель	10 мин
3.2	Предварительная температурная обработка	-	Смесь масла и мыльного загустителя нагревают при постоянном перемешивании до 100°С в течении 2 часов	Бак-смеситель	-	2,5 часа

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
3.3	Оценка свойств смеси	но число	Отбирается проба смеси и оцениваются кислотное число (не выше 0,25 мгКОН/г)	Колба Кн-1-100-29/32 Холодильник ХТП-1-400-14/23, Бюретка по НГД типов 1-2-25 бак смеситель	Спарт этиловый ректификационный по ГОСТ 18300. титр гидроокиси калия, плитка	10 мин
3.4	Окончательная температурная обработка	-	Смесь нагревается до температуры 230°C, выдерживается 10 минут.		-	30 мин
3.5	Оценка свойств расплава	но число гКОН/г кашлепадение 170 °С	Отбирается проба смеси и оцениваются основные показатели.	прибор для определения кашлепадения (АКП-02У) Колба Кн-1-100-29/32 Холодильник ХТП-1-400-14/23, Бюретка по НГД типов 1-2-25	Спарт этиловый ректификационный по ГОСТ 18300. титр гидроокиси калия, плитка	10 мин
3.6	Охлаждение пластичной смазки	До температуры 90 °С	Расплавленную пластичную смазку перекачивают в емкость для охлаждения.	бак-смеситель, насос, емкость для охлаждения	-	10 мин
3.7	Гомогенизация	15 мин	При температуре 90 °С смазка гомогенируется по замкнутому циклу	Экспериментальный гомогенизатор	-	20 мин
3.8	Расфасовка	-	Смазку после гомогенизации перекачивается в товарные емкости малого объема (20-40 литров)	насос	-	20 мин
3.9	Оценка свойств расплава	но число гКОН/г кашлепадение 170 °С	Отбирается проба смеси и оцениваются основные показатели.	прибор для определения кашлепадения (АКП-02У) Колба Кн-1-100-29/32 Холодильник ХТП-1-400-14/23, Бюретка по НГД типов 1-2-25	Спарт этиловый ректификационный по ГОСТ 18300. титр гидроокиси калия, плитка	10 мин
4	Сдача на склад	-	Емкости со смазкой отправляются на склад для до созревания	кар-погрузчик	-	20 мин

Таблица 1 - Технологический процесс приготовления пластичной смазки Солидол на основе отработанного минерального масла

№ п/п	Наименование операции	Параметры	Состав операции	Оборудование	Химические реагенты и препараты	Время,
1	2	3	4	5	6	7
Подготовка сырья						
1	Слив отработанного моторного масла	-	Сливаем отработанное минеральное моторное масло ОМММ с трактора в емкость для предварительного отстаивания (механических примесей, воды)	Установка для слива отработанного масла из двигателей, коробок. Емкость для ОМММ	-	24 часа
1.1	Оценка свойств отработанного масла	Щелочное число: 2,8 мгКОШ/г кислотное число: 1,95 мгКОН/г содержание нерастворимого осадка 0,9%	Отбирается капельная проба масла и в результате оцениваются его физико-химические свойства	Экспрес лаборатория ФГНУ ВНИИТИН	Дистиллированная вода, изопропиловый спирт, толуол, фильтровальная бумага, индикаторная бумага	10 мин
Получение дисперсионной среды пластичных смазок						
2	Очистка ОММ	0,5% карбамида 0,5% изопропанола от объема	Отработанное масло заливается в бак смеситель и нагревается до температуры 95°C. После чего в масло вносится разделяющий агент и температуру поднимают до 130°C	Бак-смеситель	карбамид, изопропиловый спирт	30 мин
2.1	Отстаивание	-	Масло перекачивается из бака-смесителя в емкость для отстаивания. Время отстаивания составляет 1 часа	Насос, бак -смеситель, емкость для отстаивания	-	5 мин
2.2	Оценка свойств отработанного масла	Щелочное число: 2,5 мгКОШ/г кислотное число: 1,2 мгКОН/г содержание нерастворимого осадка 0,05%	Отбирается капельная проба масла и в результате оцениваются его физико-химические свойства	Экспрес лаборатория ФГНУ ВНИИТИН	Дистиллированная вода, изопропиловый спирт, толуол, фильтровальная бумага, индикаторная бумага	10 мин
Приготовление пластичной смазки						
3	Подготовка бак-смесителя к работе	-	Проводится очистка бака смесителя от продуктов очистки отработанного масла	Ветош	-	15 мин
3.1	Перемешивание	80% ОСММ, 10% КОСЖК	Очищенное масло заливается в бак смеситель и смешивается при 60°C	Насос, бак - смеситель	мыльный загуститель	10 мин
3.2	Предварительная температурная обработка	10% водный раствор молочной извести	В смесь масла и мыльного загустителя нагревают при постоянном перемешивании до 80°C и вносится раствор молочной извести. После чего смесь перемешивается в течение 10 минут	Бак-смеситель	-	20 мин

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
3.3	Выпаривание	-	Температуры смеси поднимают постепенно до 115°C (температура обезвоживания)	Бак-смеситель	-	40 мин
3.4	Оценка свойств смеси	кислотное число	Отбирается проба смеси и оцениваются кислотное число (не выше 0,25 мКОН/г)	Колба Кн-1-100-29/32 Холодильник ХТП-1-400-14/23, Бюретка по НГД типов 1-2-25 бак смеситель	Старт этиловый ректификованный по ГОСТ 18300, титр гидроокиси калия, плитка	10 мин
3.4	Окончательная температурная обработка	-	Смесь выдерживается при температуре 110°C, в течение 20 минут.		-	30 мин
3.5	Оценка свойств расплава	кислотное число 0,20 мКОН/г каплепадение 90 °С	Отбирается проба смеси и оцениваются основные показатели.	прибор для определения каплепадения (АКП-02У) Колба Кн-1-100-29/32 Холодильник ХТП-1-400-14/23, Бюретка по НГД типов 1-2-25	Старт этиловый ректификованный по ГОСТ 18300, титр гидроокиси калия, плитка	10 мин
3.6	Охлаждение пластичной смазки	До температуры 90 °С	Расплавленную пластичную смазку перекладывают в емкость для охлаждения.	бак-смеситель, насос, емкость для охлаждения	-	10 мин
3.7	Гомогенизация	15 мин	При температуре 90 °С смазка гомогенизируется по замкнутому циклу	Экспериментальный гомогенизатор	-	15 мин
3.8	Расфасовка	-	Смазку после гомогенизации перекладывается в товарные емкости малого объема (20-40 литров)	насос	-	20 мин
3.9	Оценка свойств расплава	кислотное число 0,20 мКОН/г каплепадение 90 °С	Отбирается проба смеси и оцениваются основные показатели.	прибор для определения каплепадения (АКП-02У) Колба Кн-1-100-29/32 Холодильник ХТП-1-400-14/23, Бюретка по НГД типов 1-2-25	Старт этиловый ректификованный по ГОСТ 18300, титр гидроокиси калия, плитка	10 мин
4	Сдача на склад	-	Емкости со смазкой отправляются на склад для до созревания	кар-погрузчик	-	20 мин

Утверждаю  
 Генеральный директор  
 ООО «Завод смазок ПРОМ-ОИЛ»  
 Иваново  
 Яковлев Д.А.  
 от \_\_\_\_\_ 2015г.



**Акт внедрения в серийное производство пластичных смазок  
 изготавливаемых на основе отработанных масел**

На основании договора о научно – техническом сотрудничестве между ООО «Завод смазок ПРОМ-ОИЛ» и ФГБНУ ВНИИТиН проведены работы по организации производства пластичных смазок на основе отработанных очищенных масел.

Разработанный состав и представленные образцы смазок проверены на предмет соответствия их свойств, требованиям ГОСТ.

Установлено, что по всем показателям, аналог соответствует или превосходит заявленные требованиям НТД.

ООО «Завод смазок ПРОМ-ОИЛ» в IV квартале 2015 года планирует произвести по представленному технологическому производству около 5 – 6 тонн смазки Литол – 24

Начальник производства  
 ООО «Завод смазок ПРОМ-ОИЛ»  
 Начальник отдела снабжения  
 ООО «Завод смазок ПРОМ-ОИЛ»



Богатиков С. Н.

Репин Д. Л.