

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (СИБАДИ)»

На правах рукописи



МАЧЕХИН НИКОЛАЙ ЮРЬЕВИЧ

**ВЛИЯНИЕ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР НА РАЦИОНАЛЬНЫЙ
ВЫБОР И ПЕРИОДИЧНОСТЬ ЗАМЕНЫ МОТОРНЫХ МАСЕЛ
ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ АВТОМОБИЛЕЙ**

Специальность 05.22.10 – «Эксплуатация
автомобильного транспорта»

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
кандидат технических наук, доцент
Жигadlo Александр Петрович

Омск – 2019

Оглавление

Введение.....	5
1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	11
1.1 Обзор научных исследований по эффективности использования масла для смазки узлов и агрегатов силовой установки автомобилей в эксплуатации.....	11
1.2 Анализ отказов автомобильной техники.....	33
1.3 Возможные причины отказов двигателей автомобилей.....	39
Выводы по главе 1.....	53
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫБОРА И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРИОДИЧНОСТИ ЗАМЕНЫ МОТОРНОГО МАСЛА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНИКИ.....	54
2.1 Методика обоснования выбора моторного масла.....	54
2.2 Определение периодичности замены моторного масла в автомобилях.....	63
Выводы по главе 2.....	64
3 МЕТОДИКИ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОТОРНЫХ МАСЕЛ НА ПОДКОНТРОЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ.....	66
3.1 Организация материально-технического обеспечения испытаний.....	66
3.2 Подготовка автомобилей.....	67
3.2.1 Выбор подконтрольных автомобилей.....	67

3.2.2	Предварительный отбор проб моторного масла.....	69
3.3	Методика исследования.....	70
3.3.1	Контролируемые показатели моторных масел	70
3.3.2	Методики лабораторных исследований.....	80
	Выводы по главе 3.....	81
4	ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОДКОНТРОЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И ПАРАМЕТРОВ МОТОРНОГО МАСЛА.....	82
4.1	Цель и задачи экспериментальных исследований.....	82
4.2	Контроль технического состояния двигателей.....	82
4.2.1	Проверка давления начала подъема иглы и качества распыла топлива.....	83
4.2.2	Контроль давления газов в конце такта сжатия.....	86
4.2.3	Контроль давления масла в главной масляной магистрالي.....	87
4.2.4	Контроль количества газов, прорвавшихся в картер.....	89
4.2.5	Контроль дымности отработанных газов.....	91
4.3	Мероприятия технического обслуживания исследуемого образца.....	93
4.3.1	Отбор проб моторного масла.....	95
4.3.2	Выполнение работ технического обслуживания.....	97
4.3.3	Контрольно-диагностические операции.....	97
4.3.4	Контроль отложений в центробежном фильтре очистки масла.....	98

4.3.5	Изменение характеристик двигателей в процессе испытаний.....	100
4.4	Результаты обработки данных лабораторных анализов проб масел.....	104
4.4.1	Статистические оценки параметров работавших масел.....	104
4.4.2	Динамика изменения параметров работающих масел.....	118
	Выводы по главе 4.....	134
	5 ТЕХНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИССЛЕДОВАНИЯ.....	135
5.1	Корректирование нормативов с учетом конкретных условий эксплуатации подвижного состава	135
5.2	Определение расчетных пробегов до технического обслуживания.....	136
5.3	Диагностика технического состояния автомобилей.....	138
	Выводы по главе 5.....	139
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	140
	Список литературы.....	142
	Приложения.....	156

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Эффективность эксплуатации автомобильного транспорта существенно зависит от расходов на техническое обслуживание. На современном этапе развития науки проблема реализации технического потенциала автомобильного транспорта возможна при правильном использовании эксплуатационных материалов, которые полностью обеспечивают заданные эксплуатационные свойства их конструкций.

Одним из способов повышения эффективности эксплуатации автомобилей можно считать рациональное использование свойств и возможностей эксплуатационных материалов. Периодичность технического обслуживания, рекомендованная заводами-изготовителями автомобильной техники, не учитывает свойства и фактическое состояние эксплуатационных материалов, которое зависит от множества факторов. Эксплуатационные материалы, как правило, заменяются или преждевременно, или с опозданием, что приводит в первом случае к их перерасходу, во втором случае – к повышенному износу деталей и преждевременным отказам автомобильной техники. Решение данной актуальной технической задачи сдерживается отсутствием знаний о закономерностях изменения показателей качества моторных масел при эксплуатации автомобилей в условиях низких температур.

Это позволит повысить энерго-ресурсосбережение на автомобильном транспорте, используемом в условиях холодного климата и сократить поток отказов двигателей в зимнее время.

Степень разработанности темы исследования. Вопросами рационального использования и контроля показателей качества моторного масла занимались многие ученые: С.Г. Арабян, Б.М. Бунаков, Л.С. Васильева, С.В. Венцель, Ю.А. Власов, М.А. Григорьев, А.А. Гуреев, Д. А. Дрючин, С.В. Корнеев, Е.С. Кузнецов, С.К. Курегян, В.Л. Лашхи, В.В. Лосиков, Г.Л. Лышко, К.К. Папок, А.А. Петелин,

Л.Г. Резник, В.Д. Резникова, В.И. Сарбаев, М.И. Трейгер, И.Г. Фукс, В.М. Школьников, Е.С. Якунин, M.G. Jennings, M. Verlinder др.

Диссертация соответствует следующим пунктам паспорта специальности 05.22.10 Эксплуатация автомобильного транспорта: п. 12 (Эффективность и качество эксплуатационных материалов), п. 13 Технологические процессы и организация технического обслуживания, ремонта и сервиса; методы диагностики технического состояния автомобилей, агрегатов и материалов).

Объектом исследования является оценка изменения состояния моторного масла, используемого в условиях низких температур.

Предмет исследования: изучение процесса изменения параметров моторного масла, характеризующих их эксплуатационные свойства в условиях низких температур.

Целью диссертационного исследования является повышение эффективности эксплуатации автомобилей, которое может быть достигнуто за счет рационального выбора и определения оптимальных сроков технического обслуживания двигателей, выполняемых с учетом обводнения моторных масел и экспериментально определённых зависимостей изменения основных показателей их качества в процессе использования.

Рабочая гипотеза. Совершенствование процессов и организации технического обслуживания автомобилей, заключающееся в рациональном выборе и уточнении периодичности замены моторного масла в двигателях, эксплуатирующихся в условиях низких температур, позволит научно обоснованно производить выбор моторного масла применительно к условиям использования и производить его замену, близкую к замене по фактическому состоянию.

Для выполнения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать теоретические предпосылки повышения эффективности эксплуатации автомобилей на основе рационального выбора и определения рациональных сроков технического обслуживания их двигателей из-за особенностей условий эксплуатации при низких температурах.

2. Выявить зависимости изменения показателей работоспособности моторных масел при эксплуатации автомобилей в условиях низких температур. Разработать алгоритм выбора моторного масла с учетом влияния низких температур на эксплуатацию автомобиля.

3. На основе выявленных зависимостей разработать методику определения рациональных сроков замены моторного масла при техническом обслуживании автомобилей с учетом условий эксплуатации на основе показателя, наиболее значимого при оценке работоспособности моторного масла.

4. Произвести экспериментальную оценку теоретических зависимостей. Проверить адекватность теоретических и экспериментальных данных.

5. Определить корректирующий коэффициент периодичности замены моторного масла. Провести техническую оценку результатов исследования.

Научная новизна диссертационной работы заключается в:

– разработке алгоритма предварительного выбора масла для смазывания силовой установки автомобилей на основе существующих классификаций с учетом климатических и эксплуатационных факторов;

– получении закономерностей изменения основных показателей качества моторного масла и в обосновании наиболее значимого показателя для оценки его работоспособности при эксплуатации автомобилей в условиях низких температур;

– разработке методики определения рациональных сроков технического обслуживания с учетом эксплуатации автомобильной техники в условиях низких температур.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в:

– применении разработанного алгоритма и методики предварительного выбора моторного масла для автомобилей, эксплуатируемых в условиях низких температур;

– обосновании наиболее значимого показателя оценки технико-эксплуатационных свойств моторного масла для автомобилей, эксплуатирующихся в условиях низких температур;

– использовании методики определения рациональных сроков замены моторного масла в автомобилях при техническом обслуживании с учетом эксплуатации в условиях низких температур.

Методология и методы исследования. При выполнении диссертационной работы использовались широко апробированные известные методы технической эксплуатации автомобилей; методы диагностики технического состояния моторных масел и методы математического и физического моделирования; решение задач базируется на экспериментальных данных и известных теоретических положениях гидродинамических и трибологических исследований, статистических методах обработки данных, на базе инженерного анализа.

Положения, выносимые на защиту:

- алгоритм и методика предварительного выбора моторного масла;
- основной значимый показатель оценки технико-эксплуатационных свойств моторных масел для автомобилей, эксплуатирующихся в условиях холодного климата;
- разработанная методика определения рациональных сроков замены моторного масла при техническом обслуживании с учетом эксплуатации автомобильной техники в условиях низких температур.

Степень достоверности научных положений, выводов и рекомендаций обеспечена:

- применением методов статистической обработки результатов, теорией вероятности и математической статистики;
- корректностью принятых допущений;
- корректным использованием методов математического моделирования и достаточным объемом экспериментальных данных;
- адекватностью результатов теоретических и экспериментальных исследований;
- использованием широко известных результатов ранее апробированных научных исследований.

Апробация результатов исследования проходила в форме докладов по теме диссертации на ежегодных семинарах кафедры «Нефтехимические технологии и оборудование» ФГБОУ ВО ОмГТУ, на XIII Международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные исследования» (г. Новосибирск, 2014 г.), XI Международной IEEE конференции «Динамика систем, механизмов и машин» (г. Омск, 2014 г.), X юбилейной Всероссийской научно-технической конференции с участием иностранных специалистов «Трибология-машиностроению», институт машиноведения Российской академии наук им. А.А. Благонравова (г. Москва, 2014 г.), VII Всероссийской научно-практической конференции «Инновационные технологии, системы вооружения и военной техники, науки и образования» «Броня-Омск-Рембат-2014» (г. Омск, 2014 г.), IX Всероссийской научно-практической конференции «Инновационные технологии, системы ВВТ» «Броня-Омск-Рембат-2016» (г. Омск, 2016 г.), IV Межвузовской научно-практической конференции «Совершенствования системы эксплуатации вооружения и военной специальной техники» (г. Омск, 2017 г.), VIII Международной научно-технической конференции «Техника и технология» ОмГТУ (г. Омск, 2018 г.), VII Межвузовской научно-практической конференции «Совершенствования системы эксплуатации вооружения, военной и специальной техники» (г. Омск, 2018 г.), V Международной научно-практической конференции «Информационные технологии и инновации на транспорте» (г. Орел, 2019 г.).

Публикации. По материалам диссертации и результатам проведенных исследований опубликовано 12 статей, из них 3 - в изданиях рекомендованных списком ВАК РФ, одна публикация - в издании, индексируемом в базах WoS и Scopus. Получено свидетельство о регистрации электронного ресурса.

Результаты работы использованы в подразделениях ОАО «Сургутнефтегаз», на базе которых выполнялось исследование, ООО «Лаборатория транспорта» и СТО «А– Моторс», а также используются в учебном процессе, а именно при изучении дисциплин «Химмотология» и «Эксплуатационные материалы». Приложения В, Г и Д

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы.

Общий объем диссертации составляет 160 страниц и содержит 75 рисунков, 13 таблиц, список литературы из 132 наименований, и приложений.

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Обзор научных исследований по эффективности использования масла для смазки узлов и агрегатов силовой установки автомобилей в эксплуатации

Эффективности использования масел для смазывания узлов и агрегатов силовой установки автомобилей посвящено много работ [3, 4, 12, 13, 15, 16, 41, 42, 43, 44].

В работе [87] описан путь снижения затрат на эксплуатацию автомобильной техники за счёт внедрения оптимальной периодичности замены масла для смазывания узлов и агрегатов силовой установки автомобилей с учетом использования в сезонных условиях. Исследована последовательность изменения качества и свойств масла для смазывания узлов и агрегатов силовой установки автомобилей в различных сезонных условиях. Автор предлагает использовать в качестве исследуемого масла – моторное масло М10Г2к, которое не является единственно правильным для условий эксплуатации в Тюменской области. В работе раскрыты сезонные факторы эксплуатации автомобильного транспорта, принципиально влияющие на качество и происходящие изменения в масле для смазки узлов и агрегатов силовой установки автомобилей. Установлены зависимости влияния наиболее значимого сезонного фактора, такого как среднесуточная температура региона, который накладывает свой отпечаток на интенсивность изменения свойств масла для смазывания узлов и агрегатов силовой установки автомобилей.

В работах [39, 121] авторы говорят о том, что при содержании загрязняющих примесей масла для смазывания узлов и агрегатов силовой установки автомобилей выше допустимой нормы стремительно лишаются своих моющих и диспергирующих свойств. Методика искусственного загрязнения масла для смазки узлов и агрегатов силовой установки автомобилей, применяемая в данных работах, является исследовательской, так как российские и иностранные

стандарты и спецификации [6] не предусматривают искусственного загрязнения и старения моторного масла. К настоящей методике обращался при тестировании масла для смазывания узлов и агрегатов силовой установки автомобилей отдел экспертиз журнала, и в дальнейшем был выявлен ее упадок. Ключевые производители смазочных материалов, такие как Motul, Chevron, впоследствии подали несколько исков к журналу.

В работе [48] автор рекомендует применять технологии, которые позволяют исследовать влияние качества смазочного материала на долговечность коренных подшипников коленчатого вала, а также разработал методику управления состоянием масла в агрегатах силовой установки автомобилей.

Автор предлагает теоретическим путем определить влияние технических эксплуатационных свойств масла для смазывания узлов и агрегатов силовой установки в частности на долговечность коренных подшипников коленчатого вала. Рекомендуется методика контроля над состоянием масла для смазывания узлов и агрегатов силовой установки автомобилей в заданных условиях эксплуатации. Одна из существенных задач, которая стоит перед автором – это исследование эффективности способов управления свойствами масла для смазки узлов и агрегатов силовой установки автомобилей при эксплуатации.

На протяжении периода использования двигателей на изменение состояния масла для смазывания узлов и агрегатов силовой установки автомобилей оказывает влияние большое количество факторов, таких как климатические и дорожные условия, скоростной и нагрузочный режимы, качество вождения, регулировки топливной аппаратуры и многие другие. Все эти факторы воздействуют на смазочный материал постоянно, из-за чего в масле накапливаются различные вредные вещества. Увеличение процентного содержания примесей влечет за собой срабатываемость присадок, что ухудшает все эксплуатационные свойства масла для смазывания узлов и агрегатов силовой установки автомобилей и влияет на снижение долговечности [20, 25].

Общим подходом к выбору наиболее значимых показателей моторного масла для определения их работоспособности будут показатели интенсивности

накопления примесей и срабатываемость присадок таблице 1.1 представлены основные показатели моторного масла, влияющие на качество, предварительно выбранные на основании проведенного обзора ранее выполненных работ [19, 22, 24, 26, 93, 109, 111, 131]. На основании определения перечисленных показателей можно оценить работоспособность моторного масла.

Таблица 1.1 – Предварительно выбранные показатели качества масла

Причины изменения качества масла	Показатели качества масла
Загрязненность масла механическими примесями, С	Содержание кремния, Si
	Нерастворимые примеси, НП
	Оптическая плотность, Л
	Зольность, З
	Содержание продуктов износа, Cu, Fe, Al
Срабатываемость присадок, Сп	Водородный показатель, рН
	Щелочное число, ЩЧ
	Диспергирующая способность, ДС
Загрязнение продуктами окисления масла	Кислотное число, КЧ
	Кинематическая вязкость, ν
	Плотность, ρ

Исходя из данных таблицы 1.1, срабатываемость присадок и загрязненность масла оцениваются несколькими показателями, поэтому целесообразным решением будет выбор наиболее значимых из них.

Для того чтобы решить данный вопрос, необходимо изучить взаимосвязи в системе «ДВС – масло» [86]. Систему «ДВС – масло» можно отобразить в виде трехмерной взаимосвязанной системы (рисунок 1.1).

Одно из важнейших свойств этой системы – авторегулирование.

Данное свойство является следствием добавления не на постоянной основе свежего масла из-за появления угара и наличия фильтра в масляной системе [85].

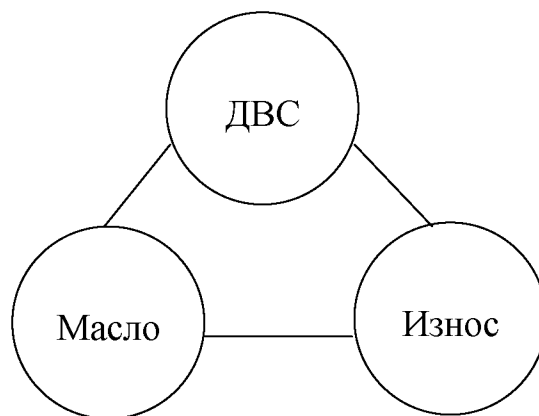


Рис 1.1 – Наглядная схема системы «ДВС – масло»

Также оно приводит к стабилизации всей системы и поддержанию на протяжении длительного периода на стабильном уровне интенсивности старения масла и износа деталей двигателя. Стабилизация нарушается только в том случае, если возникают значительные изменения состояния одного из элементов системы, но нужно учитывать, что степень влияния изменений, происходящих в подсистемах, различна [88, 120].

Перемены в качественном состоянии силовой установки в короткий срок приводят к изменению показателей качества эксплуатируемого моторного масла. Воздействие используемого моторного масла, характеристики которого претерпели изменения, на надежность и долговечность техники проявляются далеко не сразу, данное явление можно объяснить более долгосрочным воздействием смазочного материала на двигатель. Также положение затрудняется определением состояния показателей, влияющих на техническое состояние силовой установки, что приводит к такому состоянию, когда в ходе использования силовой установки невозможно своевременно определить и тем более заметить изменения, которые происходят и влияют на её надежность и долговечность [46, 53, 87, 115, 123].

В системе смазки силовой установки идет непрерывная работа по накоплению и удалению различных нежелательных примесей. После смены используемого моторного масла, при определённой наработке, концентрация общих примесей стабилизируется и определяется соотношением [85]:

$$C = Q - (Q_{\phi} + Q_{\nu}) \quad (1.1)$$

$$c = Q - (Q_{\phi} + Q_y), \quad (1.1)$$

где c – концентрация общих примесей;

Q – интенсивность поступления примесей;

Q_{ϕ} – интенсивность удаления примесей масляным фильтром;

Q_y – интенсивность удаления примесей с угаром масла.

Для конкретного двигателя в определённых пределах наработки моторного масла скорость удаления загрязнений масляным фильтром можно считать постоянной, а расход масла изменяется незначительно [85]:

$$Q_{\phi} + Q_y = \text{const.} \quad (1.2)$$

Такой паритет в масляной системе смазки силовой установки поддерживается некоторое время, но как только проходит определенный период времени – нарушается паритет. В результате значительной наработки моторного масла происходит накопление нерастворимых примесей, находящихся в системе смазки силовой установки в мелкодисперсном состоянии (не отфильтрованное), а также происходит накопления продуктов окисления. Вследствие чего общая концентрация примесей увеличивается и имеет место быть зависимость [87]:

$$c > Q - (Q_{\phi} + Q_y). \quad (1.3)$$

В данный период происходит перенасыщение жидкой фазы моторного масла твердыми нерастворимыми частичками различных примесей и начинается собственно сама коагуляция. Частицы, находящиеся в дисперсной фазе, объединяются и выпадают в осадок по всей системе смазки силовой установки. Данные частички, вступая во взаимодействие с горячими деталями силовой установки, образуют различные лаковые и нагарообразные отложения, которые, в свою очередь, способствуют и провоцируют на выход из строя узлов и механизмов силовой установки. Во избежание возникновения процесса коагуляции и обеспечения чистоты деталей силовой установки моторное масло в период нарушения равновесия должно заменяться на новое или же должна вводиться порция свежего масла. Явление коагуляции замедляется путем ввода в моторное масло моющих и диспергирующих присадок, которые воспрепятствуют

состоянии, а также нейтрализовать кислые продукты [85]. В ходе использования моторного масла присадки, присутствующие в масле, срабатываются путем вступления в химические реакции с различными веществами. Данный вид износа присадок в масле приводит к ускорению явления коагуляции [88, 124].

В докладе [70, 71, 87] рассмотрено нарушение обеспечения устойчивости системы «ДВС – масло» при превышении в значительной мере сроков работы масла, то есть при естественном старении моторного масла. Если же в ходе использования возникает ситуация, предшествующая полному отказу деталей силовой установки (при попадании в моторное масло большого количества окиси кремния или при значительной наработке силовой установки с начала эксплуатации), то процесс перехода состояния масла от «работоспособного» в «неработоспособное» будет проходить в более короткий промежуток времени. Моторное масло утратит свою «работоспособность» значительно быстрее, чем при естественном старении, если скорость поступления загрязнений будет превышать скорость их удаления.

Таким образом, одним из основных критериев пригодности моторного масла к дальнейшему использованию считают степень его влияния на скорость износа, а также появление лака и отложений в узлах силовой установки. Как рассмотрено выше, на темп износа основных узлов и деталей силовой установки, образование лака и различных отложений в ней наибольшее влияние оказывают:

- значительные накопления нерастворимых примесей;
- падение щелочного числа и рост кислотного числа моющих и диспергирующих присадок;
- концентрация продуктов окисления [77, 131].

Определение наличия нерастворимых примесей в масле является непростым и высокостоящим методом центрифугирования, в связи с этим большинство исследователей [112, 113, 119, 120] предлагает считать нерастворимые примеси по значению оптической плотности, которая наиболее точно показывает взаимосвязь с наличием нерастворимых примесей. Для анализа загрязнения масла

нерастворимыми примесями в данной работе также выбирается показатель оптической плотности.

Количественное определение изменения концентрации присадок в масле теоретически затруднено, так как практически невозможно разделить их компоненты на активные и сработавшиеся. Оценивается изменение щелочного числа как характеристики моющих присадок.

Одна из важных ролей в работе системы «ДВС – масло» отводится вязкости масла. Она влияет не только на работоспособность масла и на пусковые износы деталей цилиндропоршневой группы, а также косвенно на загрязненность масла органическими примесями и окисленностью углеводородов. В связи с этим данный параметр обязательно выбирается для оценки качества масла [36, 38, 87, 110, 122].

Витогеизучения работы системы «ДВС – масло» были найдены и взяты ключевые показатели масла, к которым относятся:

- содержание нерастворимых примесей;
- щелочное число, связанное с водородным показателем;
- кинематическая вязкость.

Цели в виде обеспечения долговечности и безотказности системы «ДВС – масло» выполняются с помощью комплексной информации об изменении состояния системы на любой заданный момент времени. Её получают посредством комплексного показателя качества масла, который может быть собран на основе обозначенных показателей, в связи с тем, что они характеризуются основными изменениями качества масла.

При изучении работы [87] было выявлено, что параметры оптической плотности вовсе не являются однозначными, потому что цвет масла не может быть объективным показателем, если рассматривается оценка качества масла, из-за того что производитель имеет право менять цвет моторного масла в зависимости от присущих ему технических требований (рисунок 1.2). На вязкостные свойства моторных масел влияет повышенное содержание продуктов окисления [85, 124].

В статье [3] авторы говорят о значительном изменении свойств масла силовой установки от различных условий использования и характера движения как при эксплуатации автомобиля с частыми остановками и пусками двигателя, так и при движении с высокими скоростями и сильным нагревом масла. Щелочность масла, изменение вязкости и диспергируемость предлагается использовать в качестве браковочных показателей. Но авторы не учитывают тот факт, что такой показатель, как щелочность, для работавших масел некорректно применять вообще, так как кислотное число используется для оценки свойств «работавшего масла».



а)

б)

Рисунок 1.2 – Влияние пакета присадок на оптическую плотность свежих моторных масел:

а) – GazpromneftSuper 10W-40, APISG/CD(с пакетом присадок Lubrizol);

б) – GazpromneftSuper 10W-40, APISG/CD (с пакетом присадок Нафтан)

В технике существуют два термина, которые характеризуют качество масел [40]:

– работавшие – моторные масла, – масла, полностью израсходовавшие свои свойства (слитые из двигателя);

– работающие – моторные масла, – масла, которые используются в двигателе внутреннего сгорания.

В работе [57] авторы предлагают откорректировать регулярную повторяемость замены масел в соответствии с условиями эксплуатации в Тюменском регионе на примере использования сезонных смазочных материалов в автобусах ЛиАЗ-5256.70, оборудованных силовыми агрегатами КамАЗ 74006 и КамАЗ 7408.

В перечисленной литературе [81,84, 92,99, 108] предлагают упростить работу выбора масла для силовой установки, используя зарубежные и отечественные классификации (SAE, API, ААИ, ГОСТ, JASO).

Для подбора более качественного смазочного материала с одинаковыми классификациями по SAE, API, ААИ, ГОСТ, JASO авторы должны учитывать основные технико-эксплуатационные показатели: индекс вязкости, щелочное число, температура вспышки, сульфатная зольность, температура застывания, но они этого не делают.

В работах [21, 78, 91, 108, 126] авторы пытаются ответить на вопросы изготовления базы, то есть основы любого масла, и рассказывают о принципах производства базовых масел. Минеральные масла получают с помощью извлечения из нефтяных фракций благодаря очистке с помощью всевозможных физических и химических методов. Синтетические масла – продукты синтеза органических соединений. Автор разъясняет, в чем различие и почему синтетическое масло лучше минерального.

Из сырой нефти (смеси различных углеводородов) можно получить не более 10% очищенных фракций, которые были бы пригодны для изготовления масел [82, 83], в связи с тем, что исходная нефть является слишком сложным продуктом, к тому же стоит учесть, что место добычи сказывается различным образом на качестве и свойствах добываемого продукта. Качество и свойства минерального базового масла, получаемого из сырой нефти, напрямую связаны с качеством сырой нефти.

Вследствие этого, одинаковые, как казалось бы на первый взгляд наименования, полученные из нефти, добытой, к примеру, в Тюменском регионе и в Саудовской Аравии, – это абсолютно разные продукты.

Изготовление базового масла с неизменными свойствами и идентичного качества из различных сортов и мест добычи нефти – задача достаточно сложная. На практике она решается за счет больших капиталовложений.

Крупнейшие мировые производители брендов моторных масел используют базовые масла, получаемые из нефти, добытой в одном и том же регионе. Наибольшей стабильностью свойств обладают те моторные масла, которые производят на нефтеперерабатывающих заводах, принадлежащие компаниям, которые одновременно являются и нефтедобывающими. В этом случае имеются условия действенного контроля и возможность своевременно корректировать всю технологическую цепочку, начиная от разведки, добычи нефти и заканчивая реализацией изготовленного масла [48, 127].

Помимо этого деятельность по переработке нефти с целью производства базы выполняет своего рода корректировку свойства масел [49].

В работе [101, 118, 128, 129] рассмотрен характер изменения свойств масел, проведен анализ способов восстановления свойств масел силовых установки дальнейшая возможность применения этих способов в эксплуатирующихся организациях. Существующая плано-предупредительная система дает возможность вести учет изменения условий эксплуатации машин с помощью корректировки сроков их проведения [58]. Но при этом всё есть существенный недостаток – в ходе корректировки любого нормативного значения соответствующая величина будет установлена для всех машин одинаковой марки без учета состояния отдельной машины.

В связи с этим исследования многих ученых в области обеспечения надежности машин продолжаются и предлагаются различные способы повышения эффективности техники, учитывая изменчивый характер условий внешней среды. Рекомендуется включать и нормативно-техническую, и

конструкторскую документацию, показатели их приспособленности к наиболее характерным условиям различных регионов [7, 17, 18, 29, 31, 63,107].

Одним из таких направлений является изучение интенсивности старения моторных масел в различных условиях использования и продления их срока [58].

В настоящее время срок использования масел измеряется в моточасах работы силовой установки и километрах пробега автомобиля [105, 106, 107], но данные измерения далеко не всегда показывают действительную степень физико-химических свойств масла. В связи с этим целесообразно своевременно знать истинное состояние масла и в случае нецелесообразности его дальнейшего использования предпринять меры по его замене, основываясь на критические показатели. Рассматривая процесс перехода масла из состояния работоспособного в неработоспособное, было определено, что его характеристикой является совокупность нескольких критериев, каждый из которых в разной мере оказывает влияние на процесс появления предельного состояния. По большому счету, можем зафиксировать следующие показатели масла [83]:

- кинематическую вязкость;
- наличие механических примесей;
- наличие воды;
- щелочное число.

После достижения предельных показателей масла силовых установок могут быть воссозданы [95].

Регенерация отработанных масел может производиться только на нефтеперерабатывающих заводах, при наличии вакуумной ректификационной колонны, куда они сдаются в установленном порядке [27, 28, 95].

Недостатком в данном способе является смешивание различных марок масел. Из-за данной ситуации возникает затруднение процесса восстановления, что, в свою очередь, увеличивает стоимость восстановленного масла и снижает его качество. Достижение одним или несколькими показателями предельного состояния дает право проводить частичное восстановление масла. Данное действие может быть достигнуто в условиях отдельного транспортного

предприятия. Помимо этого, не играет роли, на каких постах (стационарных или передвижных) было проведено техническое обслуживание транспортных средств.

Разработаны и используются различные лаборатории по контролю качества масел силовых установок [58].

По полученным объективным данным об интенсивности и характере накопления механических примесей в свежих маслах, чье содержание увеличивается по мере роста наработки силовой установки, были определены отрицательные факторы, оказывающие деструктивное влияние на концентрацию механических примесей в масле: внутренний фактор – поступление продуктов износа при приработке деталей; внешний фактор – поступление двуокиси кремния из-за сильной запыленности местности, в условиях которой работает техника [56].

Анализируя характер зависимости старения масел силовых установок в течение работы, напрашивается вывод, что быстрее всего критического значения достигает концентрация механических примесей в маслах [55].

Снижение влияния механических веществ в маслах силовой установки на качество работы техники обеспечивается совершенной системой фильтрации масла, а также своевременным доливом используемой марки масла.

Опираясь на конечные данные эксперимента, можно установить, что механические примеси оказывают самое большое воздействие на скорость изнашивания деталей силовой установки автомобилей. Например, скорость изнашивания в среднем в 4 раза больше, чем при работе на относительно чистом свежем масле при содержании в нем механических примесей в концентрации 0,016% [54].

Применение различных технологических операций, основу для которых составляют физические, физико-химические и химические процессы, уверенно подходит для восстановления свойств масел, отработавших свой ресурс [95]. Удаление из масла продуктов износа, старения и загрязнения является сутью его обработки. Для наглядного изучения возьмем алгоритм технологии очистки масла в следующей последовательности:

- механическая очистка (удаление из масла свободной воды и твердых загрязнений);
- теплофизическая очистка (выпаривание, вакуумная перегонка);
- физико-химическая очистка (коагуляция, адсорбция).

В том случае, когда этих решений недостаточно, можно использовать химические способы регенерации масел, связанные с применением более сложного оборудования и требующие больших материальных затрат.

Одним и наиболее простым механическим методом очистки масла является отстаивание. Этот метод основан на способности естественного осаждения механических частиц и воды под действием гравитационных сил Земли [90].

В зависимости от времени, отведенного на очистку, и степени загрязнения масла отстаивание применяется как метод, который предшествует фильтрации или центробежной очистке масла. Главным минусом этого способа является большая продолжительность по времени оседания частиц до полной очистки и удаление только наиболее крупных частиц размером 50 – 100 мкм [60].

Фильтрация – метод, который подразумевает удаление частиц механических примесей с помощью пропускания масла через пористые или сетчатые перегородки фильтров [94].

Также широкое применение нашли физико-химические методы [100]. Относятся к ним следующие способы: адсорбция, коагуляция и селективное растворение содержащихся в масле загрязнений. В качестве разновидности адсорбционной очистки выступает ионно-обменная очистка [5].

Укрупнение частиц загрязнений (коагуляция), которые находятся в масле в коллоидном или мелкодисперсном состоянии, происходит за счёт специальных веществ – коагулятов. К ним можно отнести: поверхностно-активные вещества (ПАВ), коллоидные растворы и гидрофильные высокомолекулярные соединения, электролиты неорганического и органического происхождения, которые не обладают электролитическими свойствами [98, 101].

Суть ионно-обменной очистки заключается в способности ионитов (ионно-обменных смол) задерживать загрязнения, диссоциирующие в растворенном состоянии на ионы [58].

Селективная очистка отработанных масел основана на избирательном растворении отдельных веществ, загрязняющих масло: кислородных, сернистых и азотных соединений, а также при необходимости полициклических углеводородов с короткими боковыми цепями, ухудшающих вязкостно-температурные свойства масел [95].

Фурфурол, фенол и его смесь с крезолом, нитробензол, различные спирты, ацетон, метилэтиловый кетон наиболее часто употребляют в качестве селективных растворителей. Селективная очистка проводится, как правило, в аппаратах типа «смеситель-отстойник» [32].

Обработка пропаном является разновидностью селективной очистки. При такой обработке углеводороды масла растворяются в пропане, а продукты окисления, асфальтены и смолы, находящиеся в коллоидном состоянии, выпадают в осадок [95, 130].

Основа химических методов очистки определяется взаимодействием веществ, загрязняющих отработанные масла и вводимые в эти масла реагенты. В результате образуются соединения, которые можно легко удалить из масла. К химическим методам очистки относятся кислотная и щелочная обработки и различные другие методы [58].

Важно отметить, что в ходе регенерации масел можно получать базовые масла, близкие по качеству, первоначальному изготовлению. Причем выход, если рассматривать качество сырья, составляет до 80 – 90%. Вывод: базовые масла можно и нужно регенерировать, но это достигается только с помощью реализации современных технологических процессов очистки масла [37, 95].

В связи с перенасыщением рынка различными типами и марками моторных масел, о характере изменения свойств которых в ходе их работы очень сложно дать какие-либо характеристики, а проведение комплексных исследований

является весьма дорогостоящим мероприятием, возможно утверждать, что эксплуатирующая техника предприятия поставлена в довольно сложные условия.

Наиболее технологически оправданным способом сохранения работоспособности моторных масел является постоянный контроль их показателей качества [66].

Возможность целесообразно использовать и экономить моторные масла является важнейшей мерой для каждого автотранспортного предприятия, именно поэтому организовывается пост по контролю их качества.

Концентрация механических примесей – это основной фактор ухудшения качества масел. Физические методы очистки являются наиболее простыми. При их использовании они не требуют значительных материальных и трудовых затрат. Применение центробежной очистки масел позволяет [95]:

- увеличить период использования моторных масел в 2, а то и в 3 раза в зависимости от условий использования;
- повысить надежность и долговечность работы смазочных устройств за счёт обеспечения благоприятных условий;
- снизить эксплуатационные затраты и за счет этого повысить эффективность использования техники.

Учитывая, что в мире используется огромное количество масел, которые часто попадают в окружающую среду [58, 95,], необходимы работы по предотвращению загрязнений.

Актуальными становятся работы по повышению эффективности использования смазочных материалов, увеличению сроков их работы, повышению надёжности используемой техники [10].

Изучение интенсивности старения моторных масел при различных условиях использования и увеличения их срока использования как раз и является одной из таких задач.

В работе [10] авторами подчеркивается, что в настоящее время нашли свою популяризацию два подхода, с помощью которых можно оценить долговечность материалов трибосопряжений.

Во-первых, это использование предполагаемого молекулярно-механической теорией трения математического описания модели усталостного разрушения поверхности вследствие изнашивания.

Во-вторых, это, базирующийся на работах Фляйшера Г., Бекманка Г., Клейса И, Машукова Ю.К. и др., энергетический подход. Износ, согласно первому автору, стоит рассматривать в виде итога превышения (в процессе контактного взаимодействия) критической плотности энергии при деформации и трении. Именно данная ситуация является характеристикой материала при определенных условиях такого взаимодействия.

Чтобы оценить долю накопления повреждений из-за износа, необходимо добавить составляющую, характеризующую данное накопление, в уравнение для определения деформационно-кинетического критерия. Ее можно использовать в виде отношения циклической плотности энергии к суммарной плотности энергии за предполагаемый ресурс [51].

Авторы работы [52] подразумевают под совместимостью трибосистем возможность реализовывать оптимальное состояние с помощью выбранных критериев в заданном режиме и условиях работы.

В качестве примера выберем создание возможности работы совместимых трибосистем транспортной техники, а именно устойчивой долговечной системы «подшипник – коленчатый вал» дизелей тепловозов. Их совместимость достигается в приработочном периоде, когда осуществляется режим смешанного трения в граничной и жидкостной фазе. Оптимизация проводилась по трем направлениям: материалам вкладыша и впады, конструкции подшипников, режимам обкатки дизелей.

Для одного из наиболее распространенных двигателей типа 10Д100 были предложены взамен бронзо-баббитовых вкладышей сталеалюминевые подшипники (сплав АО20-1) и проведена нормализация чугуна с глобулярным графитом. Применение биметаллических подшипников в 3 – 4 раза увеличивает их ресурс, десятки раз сокращается расход вкладышей, по существу, достигается безремонтная эксплуатация. Однако большая твердость и, следовательно,

меньшая податливость затрудняют ход приработки трущихся поверхностей и, соответственно, не всегда достигается совместимость трибосистемы [11, 33, 104, 114,50].

Для достижения совместимости в период приработки с помощью растравливания алюминиевой матрицы образован разупрочненный поверхностный слой, обогащенный оловом. Это мероприятие существенно повысило задиростойкость трибосистемы [114].

Исходя из того, что говорят авторы в работе [32], следует, что современные смазочные материалы являются многокомпонентными смесями, имеющими в своем составе множество разнообразных присадок, взаимодействие которых может приводить к синергизму либо антагонизму. При исследовании такого рода смесей важно иметь более разнообразную информацию о состоянии смазочных слоев по сравнению с получаемой стандартизованными формализованными методами.

Оценка эффективной толщины смазочного слоя складывается из суждений об особенностях надмолекулярной структуры разделительных пленок, которые позволяют электрические методы диагностики [114].

Чтобы провести анализ электрических характеристик смазочного слоя (активного сопротивления и емкости) была создана экспериментальная установка, использующая метод измерения активного сопротивления с помощью кварцевого диэлькометра. Диэлектриком являлась исследуемая пара трения со смазочным материалом.

На базе трибометра со схемой трения и «палец-диск» была собрана измерительная система, позволяющая проводить измерения активного сопротивления смазочного слоя и силы трения при нагрузках в диапазоне 0,2–1,0 На присутствии смазочных материалов на основе минерального масла [32].

В качестве материалов паров трения были выбраны закаленная сталь ШХ15 (палец) и закаленная легированная сталь Р6М5 (диск). Смазочные материалы на основе минерального масла подверглись испытанию. В качестве трибоактивных

присадок к очищенному вазелиновому маслу применяли группу веществ, относящихся к каламитным мезогенам, некоторые из которых имеют характерную молекулярную структуру: ядро типа краун-эфир и развитые латеральные фрагменты.

В работе [68] изложены результаты сравнительных испытаний на машине СМЦ-2 пар трения «серый чугун (НВ 215-225) - хром гальванический плотный». В качестве базового использовалось масло ShellX100, к которому добавлялись присадки отечественного производства РиМЕТ, СУРМ, Royaleffect, Алкон и Ресурс. Выбор пар трения, состава смазочных композиций и условий испытаний производился применительно к условиям работы деталей цилиндропоршневой группы судовых и тепловозных двигателей.

Сравнительный анализ износостойкости трибосопряжений указал на значительную защитную способность смазочных композиций (СК) с присадками, состоящих из ультрадисперсных металлических порошков. В состоянии жесткого трения при $f_{тр}=0,56...0,23$ работоспособность оказывается достаточно высокой при наличии топких сервовитных пленок из металлических частиц в смазках с присадками типа РиМЕТ.

Авторами в работе [90] были исследованы эксплуатационные свойства автомобильных масел. В дирекции по техническому развитию АО «АВТОВАЗ» создан комплекс лабораторных, моторно-стендовых испытаний на двигателе ВАЗ-2106 и на натуральных узлах трансмиссии и коробках перемены передач.

Лабораторное оборудование, представлявшее собой целую палитру всеохватывающих машин трения и специализированных стендов, которые позволяют проводить анализ противоизносных и антифрикционных свойств автомобильных масел в незначительный период времени, отражающих или моделирующих режимы эксплуатации деталей, узлов двигателя или трансмиссии. Помимо всего этого исследования проводятся с помощью определения физико-химических показателей масел независимо (в том числе и как экспертные).

Учитывая испытательный комплекс, была обозначена эффективность использования моторных масел следующих марок: «НовОйл-Мотор», ShellHelix,

М8ГИ, «Рексол Универсал», которые допустили к применению на автомобилях ВАЗ.

Работа [80] отразила анализ единых структурно-энергетических позиций в комплексе с технологическими аспектами надежности оборудования. Были выявлены вопросы моделирования происходящих процессов изнашивания компактных материалов, газотермических и гальванических покрытий, а также деталей, упрочненных наплавкой, термической и химико-термической обработкой.

Существенное количество экспериментальных данных выполнено на стендах, которые имитируют достаточно суровые условия работы деталей цилиндропоршневой группы форсированных двигателей внутреннего сгорания и на действующих дизелях в условиях использования, приближенных к естественным.

Акцент особого внимания заострен на актуальности вопросов воздействия различных присадок в моторных маслах на работоспособность трибосопряжений. Чересчур высокий износ уплотнительных и маслосъемных колец цилиндропоршневой группы силовой установки обрисовывается большим прорывом отработавших газов в картере, это в свой черед способствует загрязнению моторного масла, в том числе неорганическими и органическими примесями. Причем топливо играет большую роль в появлении загрязняющих примесей, чем само масло. Резкое (до 10 раз и более) снижение степени загрязнения масла и деталей при переводе двигателей с жидкого на газообразное топливо. При одинаковой тепловой и механической напряженности двигателей указывают на возможность преимущественного влияния топлива на количество поступающих в масло неорганических и органических загрязнений. Доказано экспериментально, что при работе карбюраторной силовой установки на пониженном тепловом режиме около 94% всех органических примесей в моторном масле являются продуктами неполного сгорания бензинового топлива [30, 34, 41, 64, 75, 76].

Повышение содержания кремния в моторном масле возникает за счёт отсутствия или нарушения очистки воздуха воздухоочистителем, это негативно сказывается на концентрации металлов (возникает резкое увеличение), причиной чего является усиление абразивного воздействия соединениями кремния на трущиеся детали [119].

Большое количество исследований посвящено вопросам установления периодичности рациональных сроков замены масел силовых установок и определения показателей, характеризующих качества масел. Это, несомненно, подчеркивает важность данных вопросов. В большой степени в исследование и развитие этого направления вложили ученые такие: Арабян С.Г. [3, 4], Бунаков Б.М. [41], Васильева Л.С. [12,13], Венцель С.В. [15, 16], Горбунов С.П. [19, 23], Григорьев М.А. [41, 42, 43, 44], Гуреев А.А. [45], Кузнецов Е.С. [65], Кузмин В.Н. [67], Кюрегян С.К. [68], Лосиков В.В. [69], Лышко Г.Л. [72,73], Папок К.К. [81, 82], Петелин Н.А. [84, 85,86], Резников В.Д. [96,97, 98], Сарбаев В.И. [79, 102, 103], Трейгер М.И. [108], Школьников В.М. [109] и др.

Изменение вязкостных характеристик моторного масла силовой установки создает повышенный износ узлов и деталей, приводит к падению мощности, увеличению расхода топлива и масла на угар и т.д. [15].

На вязкостные свойства масел оказывает значительное влияние концентрация продуктов окисления. В работе [122] указывается, как происходит серьезное увеличение вязкости масла при движении с частыми пусками и остановками, с высокими скоростями и сильным нагревом масла в двигателе. Ступенчатость масла расценивалось исходя из изменения вязкости от пробега. За «Точку разрушения» вязкости принималась точка, соответствующая стремительному увеличению наклона прямой. Исходя из точек зрения большинства авторов [10, 75, 76], наиболее верной оценкой действительного состояния масла служит оценка по комплексу показателей, которые бы учитывали изменение основных свойств масел. Но стоит отметить, что опираться на данный способ бывает затруднительно, так как разные научные организации и исследователи рекомендуют различные комплексы показателей и их предельные

значения. На основании работ [86, 98, 120] в таблицах 1.2 и 1.3 представлены комплексы показателей и их браковочные значения, разработанные фирмами и институтами.

Исходя из представленных данных, можно сказать, что оценка моторных масел осуществляется с помощью параметров, которые изложены в ГОСТ. В дальнейшем, если есть цель провести исследование, нужно ответить на следующий вопрос: подходят ли эти параметры или нет?

Таблица 1.2 – Рекомендации по браковочным концентрациям элементов индикаторов

Элемент	Фирма «Лубризол» [2]	Морозова Т.С. [1]			Фирма «Комацу» [1]		
	предельные содержания, г/т	нормальное содержание, г/т	стадия предупреждения, г/т	предавварийная стадия, г/т	нормальное содержание, г/т	стадия предупреждения, г/т	Предавварийная стадия, г/т
		До		Более	До		Более
Cr	25	5	5–10	10	5	5–25	25
Fe	100	100	100–200	200	45	49–95	95
Pb	40	10	10–30	30	25	25–80	80
Si	20	40	40–80	80	20	20–40	40
Sn	25	5	5–15	15	–	–	–
Cu	50	40	40–80	80	15	15–45	45
Al	30	30	30–70	70	8	8–16	16

Таблица 1.3 – Рекомендации по браковочным значениям физико-химических параметров масла [3,14]

Наименование критерия	Значение критерия	
	Минимальное	Максимальное
1	2	3
Вязкость кинематическая, мм ² /с	снижение 20% 10,0	повышение 35% 22,0
Температура вспышки в открытом тигле, 0С, не менее	снижение 20% 160	–

Продолжение таблицы 1.3

Щелочное число, мг КОН, не менее	снижение 50% 3,5	–
Кислотное число, мг КОН	–	5
Содержание воды, %, не более	–	0,2
Содержание водорастворимых кислот и щелочей	–	–
Водородный показатель	–	–
Диспергирующая способность	0,35	–
Содержание мех примесей, %		3

Обобщая, следует отметить, что:

- качество моторного масла оказывает влияние на долговечность и безотказность силовой установки, в том числе и автомобиля в целом;

- качество моторных масел характеризуется рядом параметров, которые изменяются в процессе эксплуатации автомобильного двигателя;

- на надежность автомобильных двигателей оказывают существенное влияние номинальные (начальные) значения параметров технико-эксплуатационных свойств свежих моторных масел и их изменение в процессе эксплуатации;

- технико-эксплуатационные свойства моторных масел подвергаются воздействию со стороны множества факторов, таких как высокие температуры, окисление, накопление продуктов износа, а также загрязнений, которые попадают в масло из внешней среды. Помимо этого вода, появляющаяся в масле (от конденсации водяных паров, прорвавшихся в картер отработавших газов и паров воды, всегда имеющих в воздухе) также содействуют образованию веществ, сказывающихся на качественном уровне моторного масла.

В процессе эксплуатации необходимо контролировать качество моторного масла и менять его при достижении критериев предельного состояния:

- каждое моторное масло индивидуально и обладает совокупностью индивидуальных технико-эксплуатационных свойств;

– возможно продлевать ресурс моторного масла за счет внедрения мероприятий по его очистке и введению пакета присадок.

1.2 Анализ отказов автомобильной техники

Эксплуатация автомобильной техники в суровых климатических условиях Сургутского района Ханты-Мансийского автономного округа сопровождается изменением надежности агрегатов машин.

Надежность автотракторной техники определяется комплексом свойств: прежде всего безотказностью, долговечностью, ремонтпригодностью и сохраняемостью.

В современные автомобили закладывается необходимый уровень эксплуатационных свойств. Тем не менее, у потребителей, эксплуатирующих автомобильную технику, возникают нарекания на качество сборки, особенно техники отечественного производства, несмотря на постоянное обновление парка, эксплуатируется значительное количество техники с пробегами, близкими к предельному.

Применение современных эксплуатационных материалов позволяет обеспечить эксплуатационную надежность техники при соблюдении рекомендаций по применению их в конкретных условиях.

Для полноценной оценки условий эксплуатации автомобильной техники и разработки рекомендаций по повышению её надежности было проведено исследование, имеющее целью выявление наиболее распространенных неисправностей двигателей автомобилей.

Исследование проведено на базе ОАО «Сургутнефтегаз». На основе данных заявок, на запасные части служб эксплуатации автотракторной техники подразделений УМиТ-5 СМТ-1, СНДСР, УТТ-3 и УМиТ-7 СМТ-1 можно выделить две основные причины, приводящие к отказу двигателей: износ подшипников коленчатого вала двигателя и износ цилиндропоршневой группы (таблица 1.4).

Предполагалось, что основной причиной данных отказов было неудовлетворительное качество моторного масла «Экойл-Турбодизель», используемого в подразделениях для смазывания двигателей отказавшей техники.

Таблица 1.4 – Основные неисправности двигателей, приводящие к отказам

Подразделение	Количество отказов автомобилей	Основные отказы (установленные в подразделениях характеры отказов)	Возможная причина
1. УМиТ-5 СМТ-1	6	- повернуты коренные вкладыши в постелях блока цилиндров;	качество масла
2. СНДСР	4	- заклинивание двигателя; - стук двигателя;	режим масляного голодания
3. УТТ-3	25	- износ деталей цилиндропоршневой группы; - износ деталей ГРМ; - износ шеек коленчатого вала;	неудовлетворительное качество моторного масла
4. УМиТ-7 СМТ-1	18	- заклинивание двигателя; - стук двигателя; - задиры гильз цилиндров; - падение давление масла	наличие отложений в каналах системы смазки двигателя

Данное утверждение основано на следующих факторах:

- наличие нагара и отложений на поверхностях головок блоков цилиндров и деталях газораспределительного механизма (рисунок 1.3);
- наличие отложений в каналах и ловушках коленчатого вала продуктов коксования масла (рисунок 1.4);
- наличие отложений в канавках поршневых колец (рисунок 1.5);
- накопление значительного количества продуктов старения и загрязнения масла в роторах центробежных фильтров очистки моторного масла (рисунок 1.6).

На основе анализа данных неисправностей и признаков можно сделать вывод о накоплении в моторном масле продуктов, которые сначала забивают масляный фильтр и ротор фильтра центробежной очистки, а затем, когда включаются перепускные клапаны, загрязнения, проникают в каналы системы смазки.

В качестве гипотезы о причинах, приводящих к возникновению данных процессов, предлагается следующее заключение службы эксплуатации: недостаточная эффективность работы моторного масла «Экойл-Турбодизель» SAE 10W-40 в части моющих (детергентно-диспергирующих) и смазывающих (противоизносных, противозадирных, антифрикционных) свойств масла. При работе двигателя образуются отложения в виде лаков, нагаров, шламов, которые приводят к загрязнению каналов системы смазки, отлагаются на деталях газораспределительного механизма, оседают на сетке маслоприемника масляного насоса, осаждаются в роторе центробежного фильтра очистки масла.

В результате загрязнения каналов системы смазки уменьшается подача масла к парам трения, что повышает износ деталей кривошипно-шатунного механизма, цилиндропоршневой группы, деталей газораспределительного механизма, и, как следствие, возрастает эксплуатационный расход масла. Отложение продуктов загрязнения моторного масла в каналах коленчатого вала вызывает режим масляного голодания в подшипниках коленчатого вала двигателя, что приводит к их значительному изнашиванию, задире, схватыванию и проворачиванию в посадочных местах. В тоже время выявленные выходы из строя двигателей являются результатом комплексного воздействия множества факторов, которые могли привести к вышеуказанным последствиям.



Рисунок 1.3 – Отложения на поверхностях головок блока цилиндров и деталях ГРМ



Рисунок 1.4– Отложения в ловушке коленчатого вала двигателя

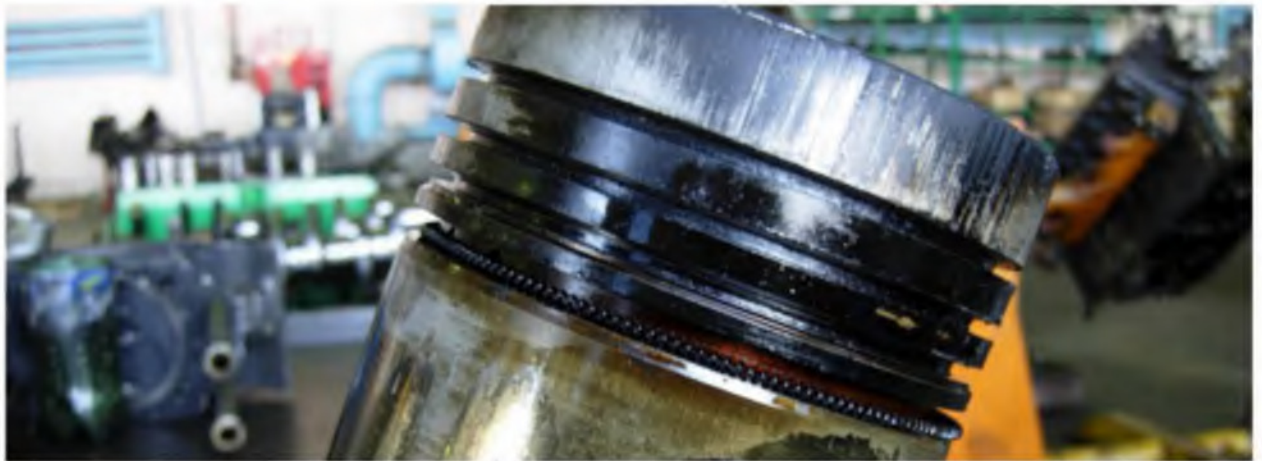


Рисунок 1.5– Отложения на поверхностях деталей ЦПГ



Рисунок 1.6– Отложения на стенках ротора фильтра центробежной очистки масла

Среди таких факторов можно выделить:

- недостаточная конструктивная надежность двигателей техники, эксплуатируемой в рассматриваемых условиях (возможные неисправности элементов систем смазки, охлаждения или топливоподачи);
- нарушение технологии технического обслуживания;
- нарушение технологии ремонта.

Таким образом, выше перечисленные признаки не позволяют однозначно сделать вывод о недостаточном уровне качества применяемого моторного масла.

Кроме того, среди представленных данных есть ссылки на выходы из строя двигателей, вызванные прогаром прокладок головок блоков цилиндров, неисправностями резинотехнических изделий двигателя и операциями по замене головки блока цилиндров. Данные отказы не имеют непосредственного отношения к качеству моторного масла, поэтому при дальнейшем рассмотрении учитывать их нецелесообразно.

1.3 Возможные причины отказов двигателей автомобилей

Как отмечалось выше, отказы автотракторной техники связаны в основном с износом цилиндропоршневой группы и подшипников коленчатого вала.

Анализ данных, представленных службами эксплуатации, показывает:

- пик отказов двигателей автотракторной техники подразделений приходится на зимние месяцы эксплуатации (рисунок 1.7);
- автомобили, данные о которых представлены в отчетах, имеют значительный разброс по наработке от 45 000 км до 690 000 км (рисунок 1.8);
- средняя наработка автомобилей до капитального ремонта (КР) (ресурс) составляет около 180 000 км (рисунок 1.9);

- более половины отказов среди двигателей автомобилей, эксплуатирующихся на моторном масле «Экойл-Турбодизель», имеет пробег меньше 20 000 км (рисунок 1.10);
- около 70 % автомобилей, упоминающихся в отчетах, имеют 1 и более капитальный ремонт (рисунок 1.10).

Зимняя эксплуатация техники в районах с суровыми климатическими условиями при отрицательных температурах характеризуется значительным изменением свойств конструкционных и эксплуатационных материалов.

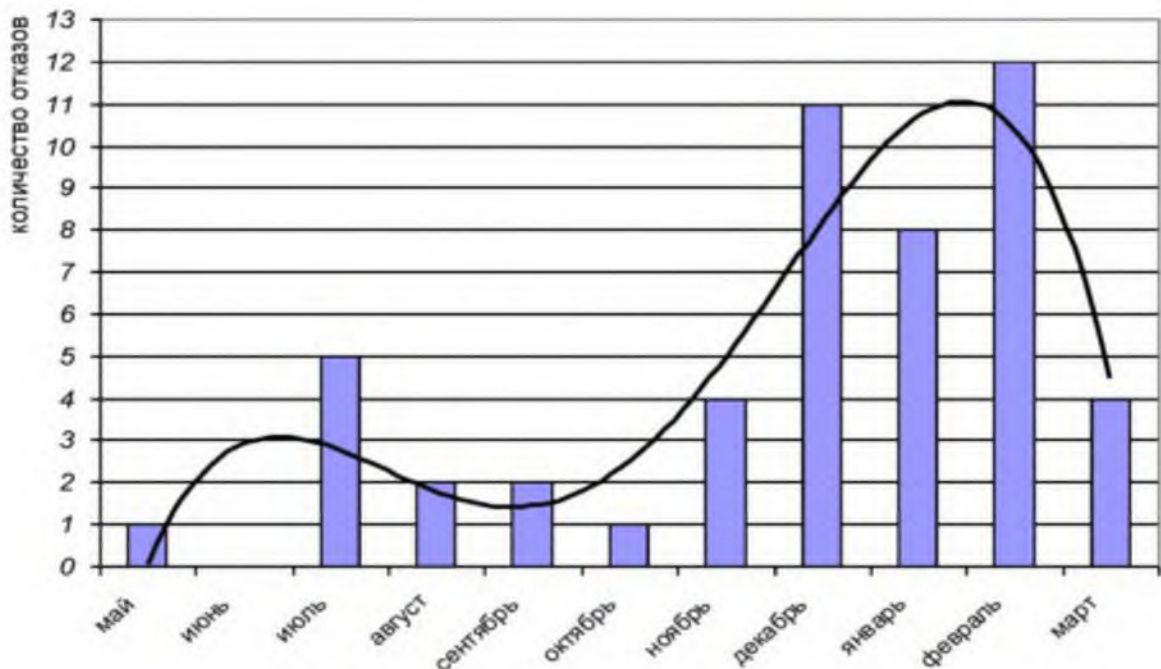


Рисунок 1.7 – Распределение отказов ДВС по месяцам года за отчетный период

Здесь особое значение приобретает соответствие качеств применяемого моторного масла.

При отрицательных температурах изменяется вязкость моторного масла, это способствует снижению его прокачиваемости по каналам системы смазки и ухудшает условия смазки деталей. При этом даже высокое давление не позволяет с уверенностью говорить о подводе моторного масла к парам трения. Эти процессы приводят к масляному голоданию подшипников скольжения и их интенсивному износу.

При холодных пусках проявляются конструктивные особенности системы смазки двигателей. Система смазки любого двигателя устроена таким образом, что в первую очередь смазочное масло из поддона картера подается масляным насосом в масляный фильтр. Каждый масляный фильтр оборудуется предохранительным клапаном, который пропускает смазочное масло в обход фильтра в случае повышения давления сверх установленного значения (в зависимости от конструкции давление не должно превышать 1,5 – 4 кг/см²). В эксплуатации избыточное давление в масляной магистрали возникает обычно, если фильтр забит продуктами загрязнения, а также на режиме холодного пуска. В этих случаях детали двигателя смазываются неочищенным маслом.

Следовательно, чем чаще возникают такие условия, тем больше загрязнений попадает в каналы системы смазки, забивая их. Особенно часто такие ситуации возникают по истечении срока замены масляного фильтра. В этот период масляный фильтр уже накопил значительное количество загрязнений, что снизило его пропускную способность, а значит, повысило давление на входе в фильтр. С наработкой может повышаться вязкость масла (при исправной системе питания) за счет накопления продуктов износа, окисления, неполноты сгорания топлива, вследствие чего может возрастать давление в масляной магистрали.

Таким образом, с приближением срока замены моторного масла, складываются неблагоприятные условия, при которых частота и продолжительность работы двигателя на неочищенном масле увеличиваются.

При отрицательных температурах окружающего воздуха требуется особое внимание уделять операциям подготовки двигателя к пуску и прогреву двигателя перед началом движения, в соответствии с инструкциями завода-изготовителя.

В период холодного пуска в результате контакта горячих влагонасыщенных газов, прорывающихся из камеры сгорания, с холодными стенками картера и поверхности масла происходит интенсивная конденсация

паров воды и ее накопление в поддоне картера. При взаимодействии воды с моторным маслом происходит гидролиз присадок, выпадение их в осадок, что способствует образованию низкотемпературных шламов. При нагревании масла вода испаряется, и часть присадок вновь растворяется в моторном масле, однако восстановление свойств происходит не полностью. Периодическое повторение таких процессов влечет значительную потерю свойств масла и приводит к накоплению в поддоне картера двигателя низкотемпературных шламов, откуда они подаются масляным насосом в каналы системы смазки и могут забивать их. Результат – масляное голодание подшипников коленчатого вала, недостаточная подача масла к деталям цилиндропоршневой группы.

Однако процесс накопления таких продуктов в моторном масле значительно растянут по времени, и частично его негативные последствия могут компенсироваться периодической очисткой центробежного фильтра и сокращением сроков работы моторного масла при использовании автомобилей в условиях низких температур Крайнего Севера.

Отложения, представленные на рисунках 1.3, 1.4, 1.5, могут также являться отложениями продуктов старения, образовавшимися при эксплуатации на различных моторных маслах. При заправке свежего моторного масла с высокими моющими свойствами эти загрязнения «вымываются» из каналов, оседают в поддоне картера, откуда подаются масляным насосом в масляный фильтр и забивают сначала его, а затем каналы системы смазки.

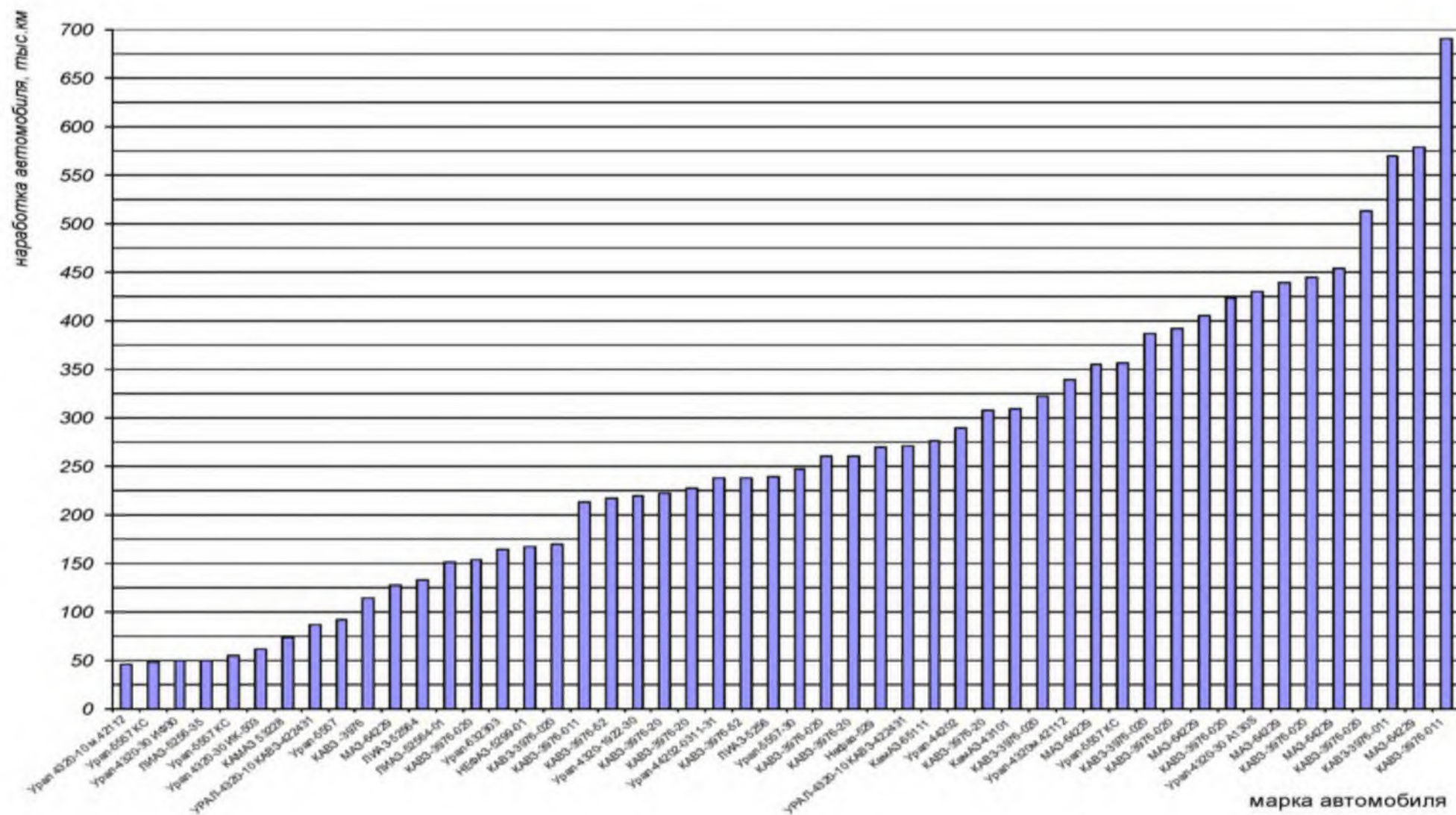


Рисунок 1.8 – Нарботка автомобилей до зафиксированных отказов

Наработка на отказ

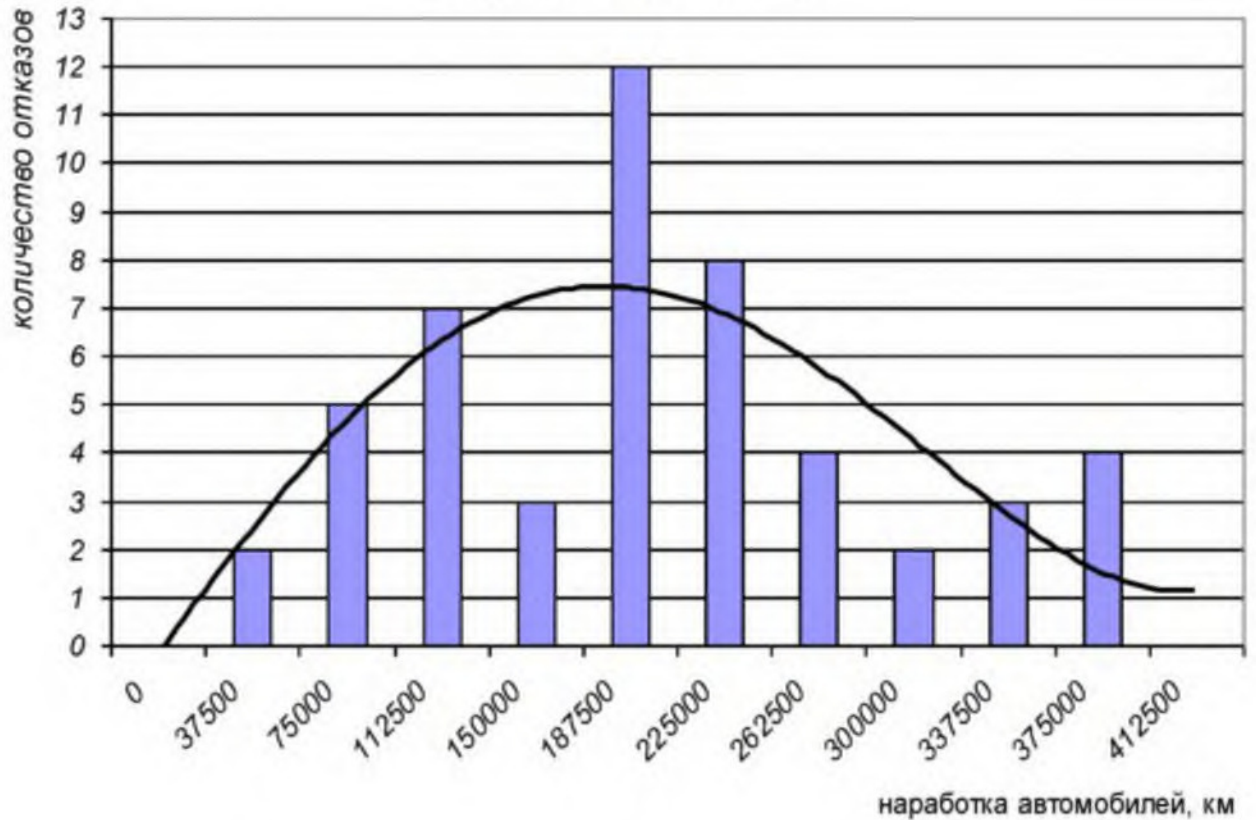


Рисунок 1.9 – Распределение отказов автомобилей по наработке

Распределение отказов автомобилей по наработке

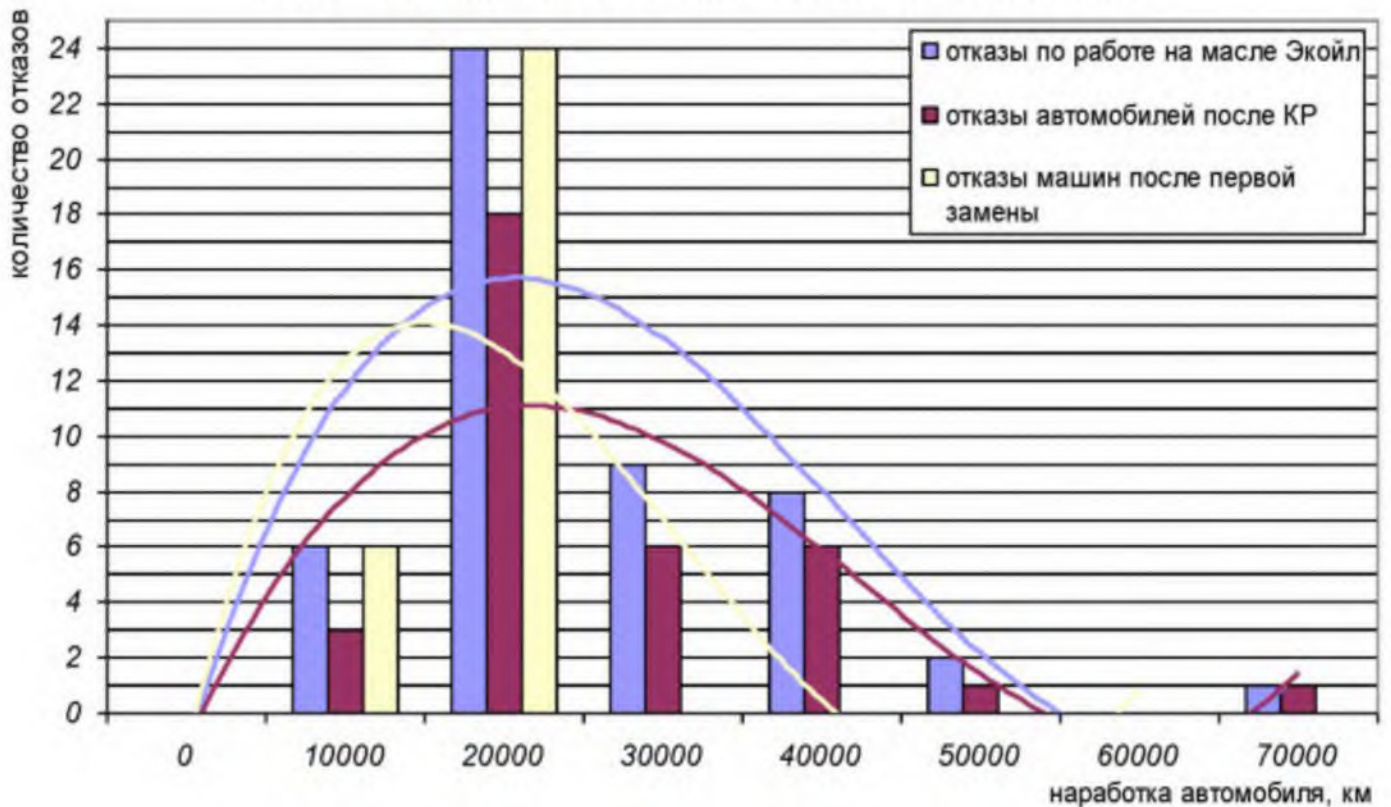


Рисунок 1.10 – Распределение отказов автомобилей по наработке на масле «Экойл-Турбодизель»

Данные условия работы системы смазки характерны в период сразу после перехода на новую марку моторного масла. Сначала накопленные отложения разрыхляются, затем вымываются, часть из них остается в полнопоточном фильтре очистки масла, часть попадает в центробежный фильтр, остальное оседает в поддоне картера. При этом происходит активное накопление данных продуктов в фильтрах, это в конечном итоге приведет к их засорению и поломке (отключения перепускными клапанами). Если произошло отключение фильтров, двигатель также будет смазываться неочищенным маслом, что может приводить к загрязнению масляных каналов.

После первой замены масла «вымываемые» загрязнения практически полностью удаляются с отработавшим маслом и фильтром. При дальнейшей работе процессы стабилизируются.

Данный вывод основан на том, что большая часть отказавших двигателей эксплуатировалась на моторном масле «Экойл-Турбодизель» не более 10% от общей наработки (рисунок 1.10). В большинстве случаев наработка техники на данной марке моторного масла до возникновения отказа не превышала 20 000 км, что соответствует пробегу между заменами масла. Обращает на себя внимание и характер распределения отказов: при 10 000 км пробега после замены масла только 6 автомобилей, а к 20 000 км (срок замены масла) – уже 24 автомобиля.

Также к интенсивному старению моторного масла и накоплению в нем загрязнений может приводить взаимодействие с газами, прорывающимися из камеры сгорания. При износе цилиндропоршневой группы происходит увеличение расхода картерных газов через картерное пространство, что приводит к развитию окислительных процессов и быстрому старению моторного масла. Износ поршневых колец приводит к попаданию моторного масла в зазоры поршневых колец, где оно окисляется, а образующийся лак вызывает залегание колец и усугубляет процесс износа.

Данное утверждение можно проиллюстрировать рисунком 1.10. Из рисунка видно, что большинство отказов произошло в интервале от 187 500 км, причем 33 автомобиля имеют наработку более 200 000 км, а 24 автомобиля прошли более 250 000 км.

Кроме того, при средней наработке до зафиксированных отказов около 180 000 км, выходы из строя автомобилей с большим пробегом закономерны и вызваны общим техническим состоянием автомобилей.

Необходимо также отметить, что большая часть двигателей прошли 1 и более капитальных ремонтов, то есть зафиксированные отказы могут также являться следствием низкого качества ремонтных работ.



Рисунок 1.11 – Отложения из поддона картера двигателя

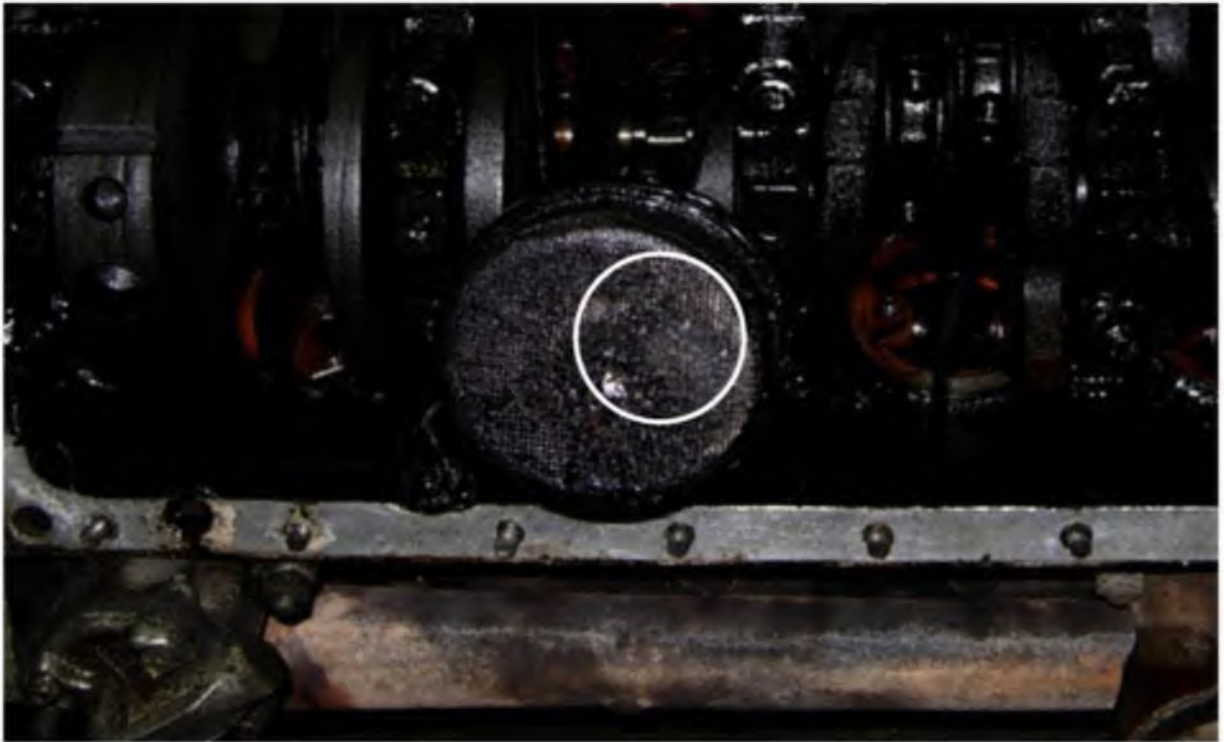


Рисунок 1.12 – Отложения на сетке маслоприемника



Рисунок 1.13 – Инеродные загрязнения (фрагменты герметика в системе смазки)



Рисунок 1.14 – Применение недопустимых методов ремонта

В ходе проведения работ при осмотре отказавших двигателей, отказы которых были охарактеризованы претензиями по качеству масла, были обнаружены следующие нарушения технологии ремонта:

– в результате анализа загрязнений из каналов системы смазки и поддона отказавшего двигателя, пробы которых были взяты для исследования на УМиТ-7 СМТ-1, обнаружено значительное количество инородных механических загрязнений, в основном остатки герметика, фрагменты разрушенных деталей (рисунки 1.11, 1.12, 1.13), которые также могли способствовать загрязнению каналов системы смазки и сетки маслоприемника, снижению подачи масла к парам трения, их интенсивному износу и выходу двигателя из строя;

– при осмотре отказавших двигателей СМТ-2, УМиТ-5 обнаружено применение недопустимых методов ремонта (рисунок 1.14): фиксирование механизмов регулировки тепловых зазоров клапанов газораспределительного механизма при помощи сварки, что делает невозможным проведение регулировочных работ, входящих в регламент ТО. Подобные нарушения

могут приводить к работе двигателя с несоответствующими тепловыми зазорами, что приведет к выходу из строя элементов газораспределительного механизма, снижению эффективности работы двигателя, нарушению условий работы смеси в камере сгорания, в конечном итоге попаданию продуктов неполного сгорания или несгоревшего топлива в масло, нарушению теплового режима работы двигателя, что естественно должно сказываться на свойствах моторного масла и на долговечности работы самого двигателя.

Как уже отмечалось, попадание воды в моторное масло вызывает снижение его качества (за счет снижения эффективности присадок в моторном масле). Поступление воды и механических загрязнений в моторное масло может происходить не только в процессе производства и использования в двигателях, но и при хранении и раздаче масла в условиях несоблюдения правил хранения и промышленной чистоты.

В частности, хранение бочек с моторным маслом в непредназначенных для этого местах, в непосредственной близости с элементами отопления (рисунок 1.15 а) вызывает конденсационные процессы и накопление воды в таре в период хранения. Также к обводнению приводит несоблюдение правил промышленной чистоты (рисунки 1.15 б, 116, 119).



Рисунок 1.15 – Хранение бочек с моторным маслом

- а) несоблюдение правил открытых бочек с маслом вблизи батарей при хранении (наличие воды) б) несоблюдение правил промышленной чистоты



Рисунок 1.16 – Хранение бочек с моторным маслом (ДРСУ г. Лянтор)

При последующей раздаче моторного масла также возможно его загрязнение механическими загрязнениями из емкостей и маслораздаточного оборудования (рисунок 1.17), смешение с другими сортами масел или маслами других марок (рисунок 1.18).

Таким образом, на основе имеющейся информации невозможно однозначно установить связь между эксплуатационными качествами моторного масла и отказами двигателей автомобилей. В тоже время собранная информация выявила недостатки системы технического обслуживания и ремонта автотракторной техники в подразделениях, которые могут приводить к вышеуказанным последствиям.

На основании проведенной работы разработана структурная схема общей методики исследования Приложение А.



Рисунок 1.17 – Использование грязной тары для доливки моторного масла в двигатели



Рисунок 1.18 – Использование общей тары для масел различных сортов и марок



Рисунок 1.19 – Несоблюдение чистоты маслораздаточного оборудования

Выводы по главе 1:

1. В исследовании необходимо разработать теоретические предпосылки повышения эффективности эксплуатации автомобилей на основе рационального выбора и определения рациональных сроков технического обслуживания их двигателей из-за особенностей условий эксплуатации при низких температурах.

2. Необходимо выявить закономерности изменения показателей работоспособности моторных масел при эксплуатации автомобилей в условиях низких температур. Разработать алгоритм выбора моторного масла с учетом влияния низких температур на эксплуатацию автомобиля.

3. На основе выявленных закономерностей нужно разработать методику определения рациональных сроков замены моторного масла при техническом обслуживании автомобильной техники с учетом условий эксплуатации на основе выявленного показателя наиболее значимого при определении его работоспособности.

4. На основе полученных данных произвести экспериментальную оценку теоретических зависимостей. Проверить адекватность теоретических и экспериментальных данных и дать технико-экономическую оценку результатов исследования.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫБОРА И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРИОДИЧНОСТИ ЗАМЕНЫ МОТОРНОГО МАСЛА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНИКИ

2.1 Методика обоснования выбора моторного масла

Методический подход по подбору моторных масел с учетом выводов и результатов первой главы производится в две стадии:

- предварительный подбор масла на основе существующих классификаций;
- окончательный выбор марки масла для силовой установки по величине наиболее значимого параметра числового значения определяющего технико-эксплуатационные свойства масла.

Многообразие номенклатуры моторных масел усугубляется разбросом цен и эксплуатационных показателей.

При отборе масла для силовой установки необходимо руководствоваться требованиями инструкции предприятия-изготовителя конкретной модели единицы автомобильной техники. Прежде всего, это требование относится к новым автомобилям в течение гарантийного срока эксплуатации.

Далее, при отсутствии четких указаний на конкретного производителя масла, руководствоваться рекомендациями производителя по классам API, ACEA, ILSAC, JASODH-1, ГОСТ, ААИ. Данные классификации регламентируют назначение масла по типу силовой установки (способу организации рабочего процесса), условиям эксплуатации, году выпуска автомобиля и т.п.

Следует заметить, что, требования, разработанные в разных странах, отличаются друг от друга, это обусловлено конструктивными различиями, характерными для производителей техники.

Нужно отметить, что двигатели европейских производителей характеризуются более нагруженными механизмами сложных конструкций.

Американские двигатели чаще имеют простые, проверенные временем инженерные решения.

Вследствие чего необходимо учитывать, что отвечающие, например, североамериканским стандартам, моторные масла не всегда подходят для использования европейскими автомобилями.

Однако следует отметить, что в последние годы различия в конструкциях двигателей нивелируются, а требования к маслам унифицируются. Но пока конструктивные различия как эксплуатационный фактор необходимо учитывать [35, 40].

Предварительный отбор масел на основе существующих классификаций

В начале, в соответствии с требованиями инструкции по эксплуатации от завода-изготовителя автомобиля, указан перечень требований изготовителя по использованию моторных масел, эксплуатант в лице эксплуатирующей организации выбирает возможный перечень масел в следующей последовательности:

– по содержанию эксплуатационным и вязкостно-температурным свойствам;

– по содержанию эксплуатационных свойств, где присущи следующие варианты:

а) изготовитель автомобиля может рекомендовать моторное масло в соответствии с классификациями API, ACEA, ILSAC, JASODH-1, ГОСТ, ААИ и подвергнуть дополнительным испытаниям согласно своим спецификациям;

б) изготовитель автомобиля может посоветовать моторное масло конкретной товарной марки и определенного производителя моторных масел при наличии указания возможного содержания эксплуатационных свойств. Если возникает ситуация, когда этого масла нет в наличии, то эксплуатирующая организация выбирает моторное масло, которое подходит по классификациям API, ACEA, ILSAC, JASODH-1, ГОСТ, ААИ и соответствует требованиям изготовителя двигателя;

в) если фирма-изготовитель не имеет своих требований на моторное масло, то она предписывает по использованию моторных масел в системах автомобиля

только в соответствии с классификациями API, ACEA, ILSAC, JASODH-1, ГОСТ или ААИ.

Важно отметить, что для техники североамериканского производства целесообразно использовать моторные масла, которые прошли сертификацию по классификации API. Для техники, чье производство значится в странах старого света, целесообразно использовать моторные масла, опираясь на классификацию ACEA. Легковым автомобилям японского производства с бензиновыми двигателями будет разумным рекомендовать использовать масла в соответствии с классификацией ILSAC (для дизельных двигателей целесообразно использовать JASODH-1).

По вязкостно-температурным свойствам масла возможны следующие варианты.

Отобрав марку моторного масла для силовой установки, эксплуатирующая организация выбирает варианты классов вязкости по классификации SAE, предлагаемые изготовителем техники. Изготовитель моторного масла для силовой установки с идентичными характеристиками по API, ILSAC или ACEA предлагает несколько вариантов с разными классами вязкости по SAE.

Эксплуатирующему предприятию необходимо иметь в виду планируемые пробеги автомобиля. Если они незначительные и осуществляются в течение всего года равномерно, то целесообразно использовать всесезонное моторное масло, например SAE 10W-40. Если пробеги значительные, то целесообразно использовать моторные масла сезонного использования, в частности, зимой применяется SAE 5W-30, летом – SAE 20W-50.

Впоследствии нужно оценить подлинность приобретаемого моторного масла по сопроводительной документации.

Поставщику моторного масла должны быть выданы паспорт на партию масла и сертификат соответствия.

В первом документе моторного масла должны быть указаны:

- кинематическая вязкость при 100 °С, мм²/сек;
- массовая доля фосфора;

- температура вспышки, определяемая в открытом тигле, °С;
- щелочное число, мг КОН на 1 г масла;
- сульфатная зольность, %;
- стандарт или технические условия, в соответствии с которыми выпускается (соответствует им) данное моторное масло.

В сертификате соответствия должны быть указаны:

- срок действия сертификата;
- наименование подразделения, занимающегося сертификацией и выдавший данный сертификат соответствия;
- точное наименование моторного масла;
- стандарт или технические условия, в соответствии с которыми выпускается (соответствует им) данное моторное масло;
- наименование изготовителя масла;
- наименование юридического лица (продавца), которому выдан данный сертификат;
- наименование испытательного центра, где производилась проверка данного моторного масла.

Важно обязательно сопоставить данные, указанные в паспорте моторного масла и в сертификате соответствия.

Данный порядок выбора моторных масел для автомобилей можно представить в виде алгоритма (рисунок 2.1) [116, 117].

Как правило, предварительного отбора вполне хватает для мелких розничных закупок.

Масштабным оптовым закупкам необходим дополнительный этап (окончательный выбор по технико-экономическому критерию).

Окончательный выбор моторных масел по результатам обобщенного параметра технико-эксплуатационных свойств в соответствии с ГОСТ Р 51634-2000 характеризуются следующими параметрами:

- КВ100 - кинематическая вязкость при 100°С, сСт;
- ТВО - температура вспышки, определяемая в открытом тигле, °С;

- МДФ - массовая доля фосфора, %;
- СЗ - сульфатная зольность, %;
- ЩЧ - щелочное число, мг КОН на 1 г масла.

Для каждой марки моторных масел (в соответствии с инструкцией изготовителя автомобиля) назначается периодичность его замены и в зависимости от качества – стоимость масла (1).

В связи с этим для обоснованного заключительного выбора моторного масла в эксплуатации обязательно применять технико-экономический критерий, который представлен в виде (2.1):[116, 117]

$$C_m^{np.yd} = \frac{C_m}{L \cdot V} \cdot K \rightarrow \min \quad (2.1)$$

где $C_m^{np.yd}$ – приведенная удельная стоимость моторного масла, руб/(л·тыс.км);

C_m – стоимость моторного масла, руб/л;

L – пробег автомобиля до замены моторного масла, км;

V – функция, характеризующая качество моторного масла;

K – коэффициент, который отражает реализацию технико-эксплуатационных свойств моторных масел при использовании.

Марка моторного масла и целесообразность его замены определяются технико-экономической документацией.

В общем виде функция V может быть представлена следующим образом:

$$V = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (2.2)$$

где x_1, x_2, \dots, x_n - наиболее важные технико-эксплуатационные параметры моторного масла.

Технико-эксплуатационные особенности моторного масла и основной определяющий параметр (V_i) должны отражать совокупное влияние показателей технико-эксплуатационных свойств.

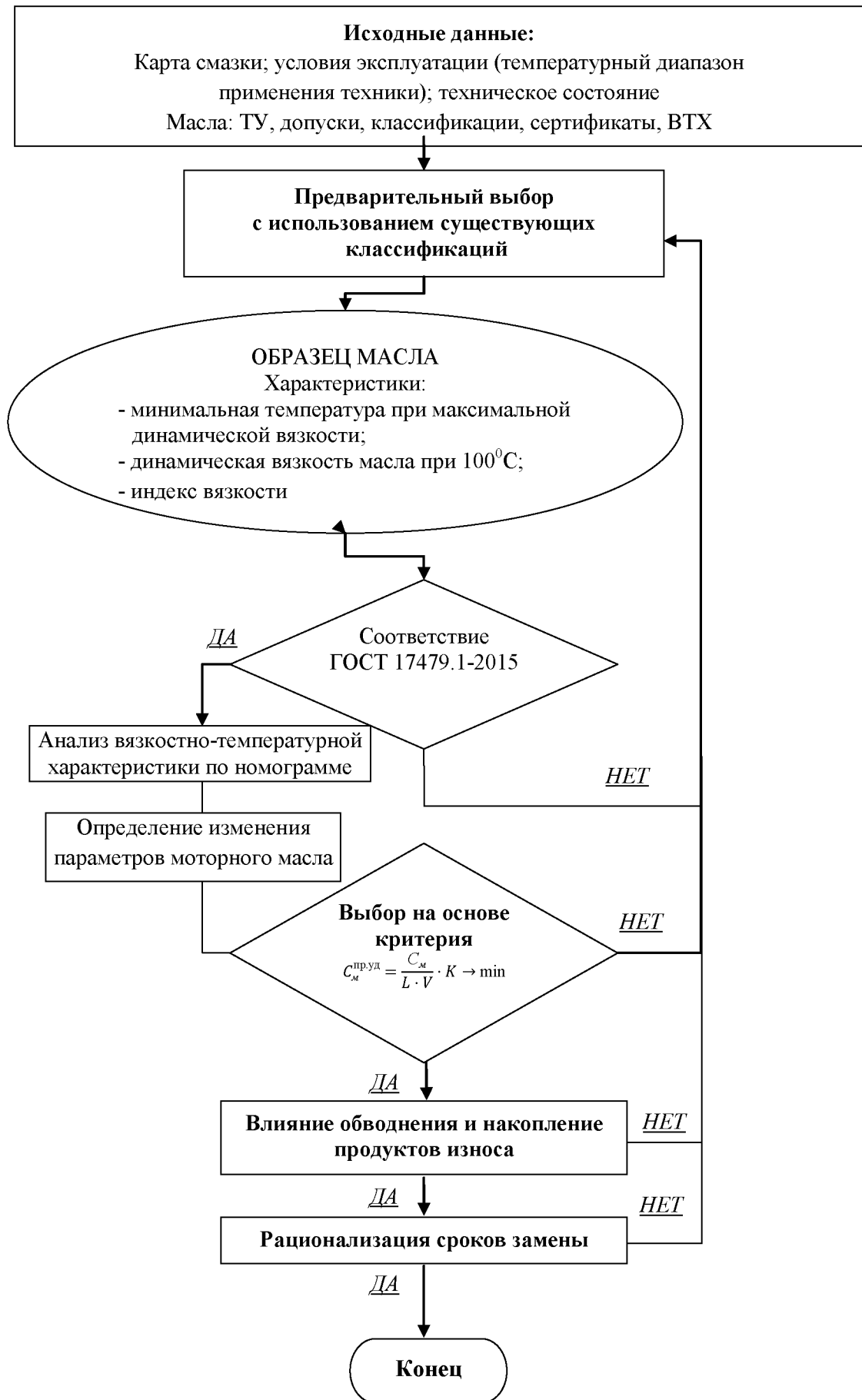


Рисунок 2.1 – Блок-схема алгоритма и методики выбора моторного масла

К наиболее значимому параметру можно отнести:

- ЩЧ – щелочное число, мг КОН/г;
- КВ100 – кинематическая вязкость при 100°C, сСт;
- ТВО – температура вспышки, определяемая в открытом тигле, °С;
- МФ – массовая доля фосфора, %;
- СЗ – сульфатная зольность, %;
- ЩЧ – щелочное число, мг КОН на 1 г масла.

Сущность такого параметра охватывает все параметры технико-эксплуатационных свойств моторного масла, обозначенные в ГОСТ Р 51634-2000 так как они взаимосвязаны [40].

Можно сделать вывод о том, что указанные факторы показывают характеристику технико-эксплуатационных свойств масел силовой установки при использовании, являются взаимосвязанными и дополняют друг друга в части характеристики того или иного моторного масла.

Упомянутый выше параметр может рассматриваться в качестве комплексного измерителя и использоваться как при оценке свойств масел силовых установок, так и при сравнении различных масел для силовых установок.

Количественную оценку совокупного влияния факторов удобно представить в виде полиномиальных моделей многофакторной регрессии, методы, нахождения которых с применением корреляционно-регрессионного анализа хорошо известны [1, 51, 105, 106]. Однако недостатком такого подхода является то, что при построении многофакторной регрессии взаимосвязанные факторы должны выводиться из модели, т.е. модель строится на независимых переменных. В реальной же действительности существует все многообразие факторов, в том числе и взаимосвязанных между собой, и их игнорирование может привести к существенным ошибкам. Поэтому для устранения явления взаимосвязи без потери полезной информации в многомерной статистике используют специальный математический аппарат компонентного анализа [1,51].

В связи с тем, что регламентированные ГОСТом параметры технико-эксплуатационных свойств моторных масел взаимосвязаны и дополняют друг друга, можно говорить о том, что они обладают явлением мультиколлинеарности.

Для решения задач в области технико-экономического анализа (классификация условия эксплуатации, оценка одновременного влияния на показатели технико-экономического анализа или автомобиля «возраста» транспортного средства, измеряемого разными единицами измерения (тыс. км пробега, годами), технико-экономический анализ производственной деятельности автотранспортного предприятия и др.) [4], применяется простой компонентный анализ.

Суть его сводится к следующему [1, 14, 51].

На первом этапе проводится корреляционный анализ, и по его результатам формируется совокупность взаимосвязанных (коррелируемых между собой) факторов.

Далее проводится компонентный анализ, на основании которого определяется система главных компонент. Затем выполняется процедура отбора наиболее значимых главных компонент. Выбранные главные компоненты или на стандартизованных переменных (формула 2.3), или на исходных признаках (зависимость 2.4) используются для дальнейшего анализа [9].

$$V_i = f(Z_1, Z_2, \dots, Z_i, \dots, Z_n), \quad (2.3)$$

где $V_i (i = 1, 2, \dots, n)$ – главные компоненты;

$Z_1, Z_2, \dots, Z_i, \dots, Z_n$ – стандартизованные значения факторов.

Для определения стандартизованных значений влияющих факторов применяется зависимость [9]:

$$Z_i = \frac{X_i - \overline{X}_i}{\sigma}, \quad (2.4)$$

где X_i – нынешнее значение i -го влияющего фактора;

\overline{X}_i – среднее значение i -го влияющего фактора;

σ – среднее квадратичное отклонение i -го влияющего фактора.

Главные компоненты можно представить в виде линейных комбинаций исходных взаимосвязанных факторов:

$$V_i = f(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n), \quad (2.5)$$

где $X_i (i = 1, 2, \dots, n)$ – исходные признаки (факторы).

К обобщенным факторам можно перейти путем вращения полученных главных компонент. Это даст возможность получить упрощенную факторную структуру, вторую разновидность компонентного анализа [9].

В нашем случае главными компонентами являются показатели качества моторного масла, а определяющим будет тот показатель, который наиболее быстро достигает своего предельного значения.

Значение параметра технико-эксплуатационных свойств j -го моторного масла определяется экспериментально путем подстановки в них текущих значений каждого из параметров технико-эксплуатационных свойств отработавших моторных масел, а именно - кинематической вязкости (индекса вязкости), щелочного числа, массовой доли фосфора, сульфатной зольности и температуры вспышки.

Нормативное значение параметра технико-эксплуатационных свойств j -го моторного масла определяется по данным нормативно-технической документации и паспорта на партию моторного масла для свежих смазочных материалов, а именно: кинематической вязкости (индекса вязкости), щелочного числа, массовой доли фосфора, сульфатной зольности и температуры вспышки.

Нормативные значения кинематической вязкости (индекса вязкости), щелочного числа, массовой доли фосфора, сульфатной зольности и температуры вспышки приводятся в паспорте моторного масла.

Установлено и экспериментально подтверждено, что для моторных масел, используемых в условиях низких температур, основным определяющим параметром для их выбраковки является изменение щелочного числа. Это определяет происходящее из-за обводнения моторных масел при низких

определяет происходящее из-за обводнения моторных масел при низких температурах изменение этого показателя с образованием шламов, которые состоят из присадок (щелочных сульфонов кальция, бария и других металлов). Из-за этого уменьшается концентрация присадок и, соответственно, щелочное число.

2.2 Определение периодичности замены моторного масла в автомобилях

Периодичность замены моторного масла определяется инструкцией по эксплуатации двигателя и Положением по эксплуатации подвижного состава [89]. Как правило, рекомендуется производить замены моторных масел через 250 - 500 моточасов работы двигателя. На практике чаще привязываются не к часовой наработке, а к пробегу автомобиля. Для такой оценки определяют среднюю скорость однотипного парка автомобилей и оценивают предельный пробег до технического обслуживания и замены масла.

Так как автомобили эксплуатируются в разных условиях, Положением рекомендуются коэффициенты для корректирования периодичности технического обслуживания и замены моторных масел [89]:

$$K_{рез} = K_1 \cdot K_3 \quad (2.6)$$

где K_1 – предусматривает категорию условий эксплуатации автомобилей;

K_3 – учитывает природно-климатические условия эксплуатации.

Однако эти коэффициенты корректирования периодичности технического обслуживания никак не отражают изменения состояния моторного масла. При выполнении различных работ нагрузки на двигатель будут разными, а это влияет на состояние моторного масла. Состояние моторных масел может быть самое разное из-за многообразия различных факторов, влияющих на них, в том числе и непредсказуемый человеческий фактор. Поэтому предлагается при планировании периодичности технического обслуживания и замены моторных масел ввести корректирующий коэффициент, учитывающий изменение их показателей качества.

$$K_m = L_m / L_i, \quad (2.7)$$

где L_m – экспериментально установленная усреднённая наработка на отказ моторного масла, по пробегу, км;

L_i – пробег автомобиля до ТО в соответствии с инструкцией по эксплуатации завода изготовителя, км. его замена, а L_i – это рекомендованный пробег до замены масла с учётом рекомендованных Положением корректирующих коэффициентов.

Определённые таким образом корректирую

L_m – это пробег автомобиля, при котором моторное масло достигает своего предельного состояния хотя бы по одному параметру и требуется щие коэффициенты периодичности технического обслуживания и замены моторных масел позволят учитывать изменение их свойств и производить замену, близкую к замене по фактическому состоянию.

Выводы по главе 2

1. Выбор моторного масла для автомобилей необходимо осуществлять в два этапа: 1-й этап – предварительный отбор (осуществляется по специально разработанному алгоритму с учетом рекомендаций заводов-изготовителей и существующих классификаций моторных масел); 2-й этап – окончательный отбор моторного масла с учётом их обводнения при использовании в условиях низких температур.

Окончательный отбор марки моторного масла надо производить на основе изменения основного параметра, характеризующего технико-эксплуатационные свойства моторного масла.

2. В соответствии с ГОСТ Р 51634–2000 технико-эксплуатационные свойства моторных масел характеризуются следующими параметрами:

- КВ100– кинематическая вязкость при 100°C, сСт;
- ТВО– температура вспышки, определяемая в открытом тигле, °С;

- МДФ – массовая доля фосфора, %;
- СЗ – сульфатная зольность, %;
- ЩЧ – щелочное число, мг КОН на 1 г масла.

Параметры технико-эксплуатационных свойств моторных масел взаимосвязаны, изменение одного параметра влечёт за собой изменение других.

3. Предлагается определять корректирующие коэффициенты периодичности технического обслуживания и замены моторных масел на основе учёта изменения их свойств.

3 МЕТОДИКА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОТОРНЫХ МАСЕЛ НА ПОДКОНТРОЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

3.1 Организация материально-технического обеспечения испытаний

Для проведения испытаний ОАО «Сургутнефтегаз» предоставило технику подразделений СДРСУ и УМИТ в количестве 24 единицы по 12 автомобилей от каждого из предприятий. Автомобили марки МАЗ-642208, седельные тягачи, работающие в составе с полуприцепами-самосвалами, пробег которых составлял с начала эксплуатации порядка 120 тыс. км, что составляет около 50% от расчетного пробега до капитального ремонта, двигатели автомобилей модели ЯМЗ-7511.10 с турбонаддувом.

Для проведения лабораторных исследований используется материально-техническая база аккредитованной Центральной базовой лаборатории экоаналитических и технологических исследований ИЭВЦ ОАО «Сургутнефтегаз». Для заправки двигателей всех автомобилей, участвующих в испытаниях, и пополнения уровня масла (долив масла) в двигателях в процессе испытаний использовалось моторное масло «Экойл-Турбодизель» SAE 10W40, CF-4/SJ (ТУ), а также промывочное масло для промывки систем смазки двигателей в ходе технического обслуживания.

Для отбора и транспортирования проб использовались емкости с контрольной крышкой, одноразовые пробозаборники для отбора проб масла, а также прибор для замера расхода газа СГМН-1, весы BeurerKS 60.

Работы технического обслуживания выполнялись на площадях подразделений СДРСУ и УМиТ №7 ОАО «Сургутнефтегаз» с использованием имеющегося оборудования для технической диагностики и технического обслуживания:

- прибор контроля компрессии ПКК-05У,
- контрольный манометр 14.3830 ГОСТ 1701-75 для контроля давления в системе смазки,
- стенд для регулировки давления начала впрыска, проверки качества распыла герметичности форсунок дизельных двигателей КИ 562.

3.2 Подготовка автомобилей

3.2.1 Выбор подконтрольных автомобилей

Выбор автомобилей осуществлялся согласно критериям, изложенным в программе-методике для испытания объекта в условиях работы системы смазки дизельных двигателей ЯМЗ 7511.10 автомобилей-самосвалов МАЗ 642208, эксплуатирующихся в подразделениях ОАО «Сургутнефтегаз».

С целью обеспечения однородности условий и режимов испытаний были отобраны два подразделения, имеющие однотипную технику, с учетом технического состояния и режима эксплуатации. В таблицах 3.1 и 3.2 указан список автомобилей Сургутского ДРСУ и УМиТ №7, отобранных в результате анализа общей наработки, суточных пробегов.

Таблица 3.1 – Список автомобилей СДРСУ

Государственный. номер	Инвентарный номер	Пробег на начало испытания (км)
1	2	3
x267ou	11 428 882	102 950
t850ou	11 437 360	112 637
p495ou	11 424 807	115 529
p496ou	11 424 676	118 881
t134pe	11 449 258	61 556
y968ou	11 424 672	131 500
t852ou	11 433 762	113 704
p493ou	11 424 805	121 663

a129pv	11 424 672	61 139
y439pv	11 424 678	126 664
p497ou	11 424 680	129 142
p492ou	11 424 674	127 886

Таблица 3.2 – Список автомобилей УМиТ №7

Гос. номер	Инвентарный номер	Одометр (км)
т677ре	11 480 147	55 509
т567ре	11 480 173	85 350
т492ре	11 480 160	52 918
т679ре	11 480 148	61 803
т618ре	11 480 162	50 711
т566ре	11 480 164	14 263
т547ре	11 480 156	70 890
т546ре	11 480 172	58 480
т833ре	11 482 871	53 301
т549ре	11 480 158	78 388
т563ре	11 480 165	64 077
т562ре	11 480 163	33 043
т495ре	11 480 170	72 098

Ответственными лицами за координацию действий на предприятиях назначены инженеры технического отдела.

Предварительная выборка автомобилей составила соответственно 12 и 13 машин, учитывая возможность отсеивания в процессе прохождения технического контроля и выхода из строя в процессе испытаний. Подбор осуществлялся на основании данных, предоставленных предприятиями. В обоих предприятиях выявилось по одному случаю несоответствия данных государственных регистрационных знаков и инвентарных номеров, присвоенных транспортным средствам.

3.2.2 Предварительный отбор проб моторного масла

Предварительным этапом оценки технического состояния выбранной техники являлся забор проб работающего масла с последующей передачей в лабораторию для проведения физико-химического анализа.

Данное исследование проводилось с целью выявления присутствия топлива и охлаждающей жидкости как факторов возможной технической неисправности или нарушения правил технической эксплуатации [47].

Проба отбиралась в количестве 1 000 мл из прогретого двигателя с помощью пробоотборника через отверстие маслозаливной горловины.

Моторное масло отбиралось в специальный контейнер и передавалось в лабораторию для проведения анализа.

В ходе отбора проб и опроса водителей получены следующие данные по нарушениям правил эксплуатации:

- пробег от предыдущей замены масла 27 715км.;
- пробег от предыдущей замены масла 35 000км.

Данные значения превышают норму, предусмотренную «Положением о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта» [89];

- в системе смазки залито масло марки «Shell», неизвестной водителю группы качества и класса вязкости, в масло водителем самостоятельно добавлены присадки;

- восемь водителей не владеют информацией о наработке от предыдущей замены масла.

Данная информация позволяет сделать предположение о недостаточном внимании, уделяемом регламентом смазочно-заправочных работ.

Это подтверждается результатами лабораторного анализа. На двух единицах техники лабораторный анализ показал присутствие сторонних углеводородов, предположительно масла другой марки.

3.3 Методика исследования

3.3.1 Контролируемые показатели моторных масел

Для анализа и оценки соответствия качества моторного масла условиям работы в технике была выбрана методика диагностирования по параметрам работающего масла. К ее основным преимуществам относятся: возможность приема чуть ли не на постоянном уровне информации о техническом состоянии двигателя и эффективности работы самого масла без остановки процесса эксплуатации и разборки двигателей, высокая информативность методики, возможность обнаружения начала повышенного и аварийного износа отдельных узлов, систематический контроль за качеством масла и возможность его своевременной замены.

В течение работы двигателя моторное масло подвергается существенным изменениям. Из-за срабатывания присадок и накопления продуктов загрязнения происходит старение масла. Среди прочего масло, подверженное воздействию высоких температур, начинает интенсивно окисляться, полимеризоваться, а также коксуется отдельные группы углеводородов. Продукты, образующиеся в результате этих процессов, накапливаются в масле, что приводит к значительному изменению его свойств. Кроме того, продукты окисления откладываются на деталях, загрязняют их, что способствует увеличению износа трущихся пар двигателя.

Важно отметить, что на масло оказывается постоянное воздействие со стороны факторов, сопровождающих процессы и происходящие в двигателе, поэтому критерием этого взаимодействия является изменение основных показателей свойств масел [1].

В пределах данной работы оценка показателей свойств моторного масла предполагается на основе анализов физико-химических свойств, а также спектрального анализа масла и образовавшихся отложений, что соответствует общепринятым широко-апробированным методикам диагностики по параметрам работающего масла [1, 2, 14, 15].

Взаимосвязь показателей свойств масла и технического состояния двигателя можно представить в виде схемы, предложенной в работе [1] и представленной на рисунке 3.1.

Существующие стандартные методики анализа масла разрабатывались с целью контроля качества выпускаемой продукции, поэтому возможность применения их как информационных и диагностических решается путем анализа и изменения сопоставления показателей масла с состоянием и признаками неисправностей системы «машина – масло» по опытным данным. Исследуется динамика изменения показателей в конкретных условиях эксплуатации и анализируется характер изменения их в зависимости от состояния системы. Если показатель свойства масла, определяемый по стандартной методике, не дает достоверной оценки, то следует изменить методику или разработать новую.

Для определения большинства физико-химических показателей свойств и состояний масла существуют стандартизованные и апробированные методики. К наиболее важным для моторного масла параметрам относятся:

- вязкость кинематическая;
- температура вспышки;
- щелочное и кислотное число;
- содержание воды;
- механические примеси.

Вязкость

На протяжении работы вязкость масла претерпевает изменения. Это связано с протеканием двух взаимно противоположных процессов. Накопление в масле продуктов окисления и полимеризации, попадание продуктов износа и других примесей, а также частичное испарение наиболее легкокипящих фракций вызывают увеличение вязкости.

Помимо прочего при ситуации, когда в масло попадает топливо и возникает механическая деструкция загустителя, это приводит к уменьшению вязкости. За счёт нагрузок в узлах трения, температурных условий, качества масла и топлива и других факторов возникает интенсивность данных процессов. Существенное изменение вязкости может привести к перечисленным далее последствиям: повышенному износу пар трения, ухудшению пусковых свойств двигателя, ухудшению прокачиваемости масла по системе смазки, ухудшению теплоотвода от рабочих поверхностей и их очистки от загрязнений. Как правило, в процессе использования вязкость минеральных масел увеличивается, загущенных же снижается.

Температура вспышки

Температура вспышки – косвенный параметр, с помощью которого можно оценивать фракционный состав масла. Опираясь на данную характеристику, стоит сказать о нахождении в масле легкоиспаряющихся фракций и разбавлении масла топливом. Стремительное снижение температуры вспышки работающего масла демонстрирует о попадании в него топлива. Данная ситуация может возникнуть из-за ряда причин, таких как конденсация продуктов неполного сгорания топлива, поступающих в картерное пространство с прорывающимися газами из-за повышенного износа цилиндропоршневой группы; некачественного распыла топлива в камере сгорания; течей топлива вследствие неисправностей элементов топливной аппаратуры.

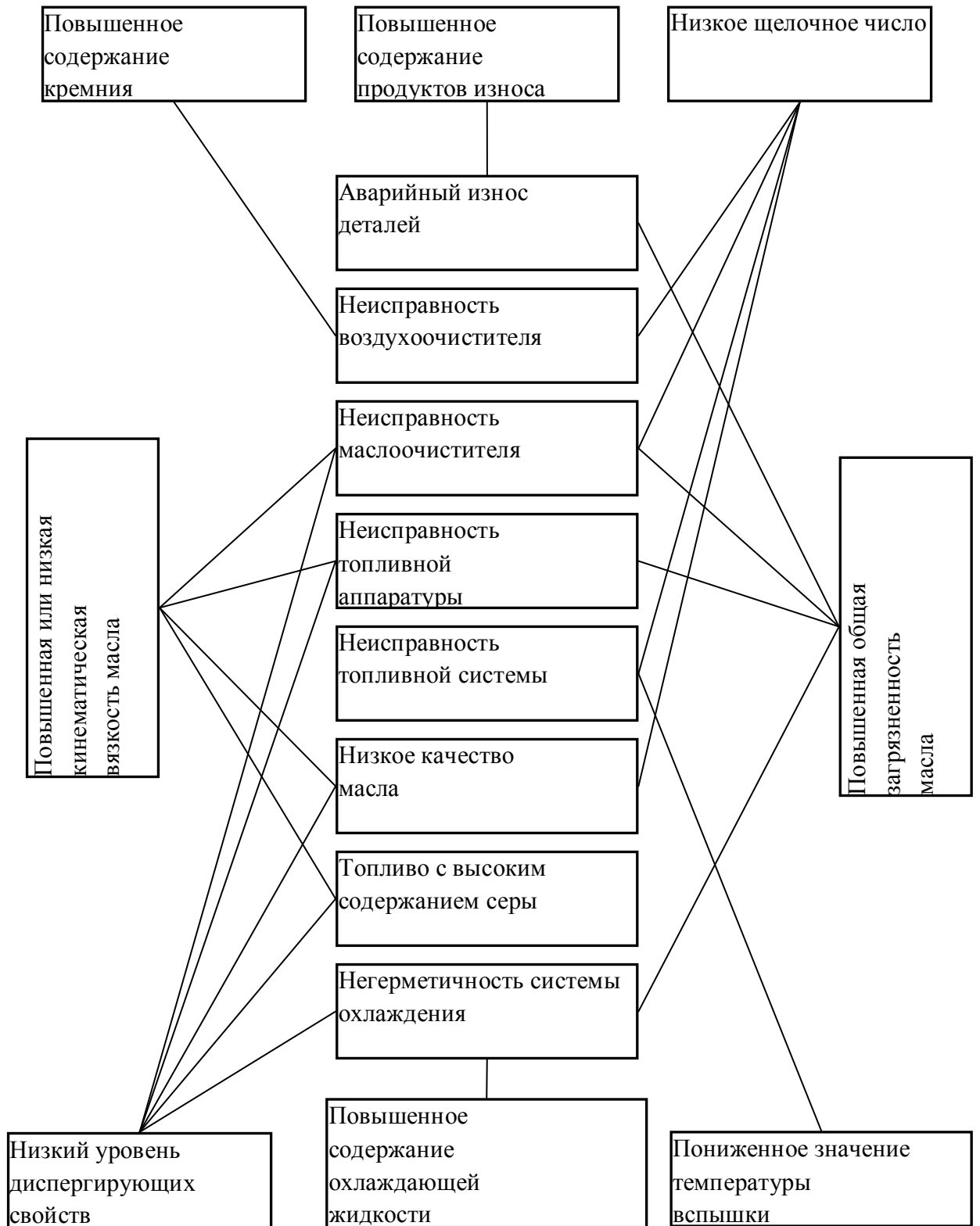


Рисунок 3.1 – Взаимосвязь основных показателей свойств масла и технического состояния двигателя

Попадая в масло, топливо оказывает негативное влияние на его работоспособность: повышается интенсивность накопления в масле различных органических отложений (продукты неполного сгорания топлива), соединений серы, ухудшается тепловой режим, подвод масла к поверхностям трения, а следовательно, повышается износ деталей двигателя. Кроме этого, легкие углеводороды топлива склонны к интенсивному окислению и коксообразованию.

Содержание воды

Наличие воды в работающих маслах можно объяснить посредством ряда причин: негерметичность системы охлаждения; конденсация паров воды из отработавших газов, прорывающихся из камеры сгорания в картерное пространство; конденсация влаги из атмосферного воздуха при хранении и транспортировке, протекание абсорбционно-десорбционных процессов; заправка масел, уже загрязненных водой.

Содержание воды во время работы двигателя вызывает образование пены и эмульсии, заполняющих масляные каналы и ухудшающих условия смазки трущихся поверхностей. Кроме того, присутствие воды приводит к образованию в масле агрессивных кислот, вызывающих коррозию смазываемых деталей. Происходит значительное снижение количества присадок в масле, вследствие их низкой коллоидной стабильности в присутствии воды. При низких температурах присадки выпадают в осадок, взаимодействуя с водой и с другими продуктами загрязнения, образуют так называемые низкотемпературные шламы, забивающие фильтрующие элементы и масляные каналы.

Механические примеси (загрязнения)

В период эксплуатации двигателя в масле скапливаются разнообразные примеси, их можно разделить на две группы: органические (попадающие в масло из камеры сгорания продукты неполного сгорания топлива, соединения серы, продукты термического разложения, окисления и

полимеризации масла) и неорганические (пыль, частицы износа, продукты срабатывания присадок). Таким образом, в картере работающего двигателя формируется сложная смесь исходного масла с самыми разнообразными продуктами его старения, от которых полностью очистить масло (фильтрацией) не удастся и которые увеличивают износ деталей, засоряют каналы системы смазки и фильтра.

Щелочное и кислотное числа и водородный показатель

Одним из важнейших показателей качества современных моторных масел является щелочность масла. Уменьшение данного показателя случается по нескольким причинам: нейтрализация щелочными присадками кислых продуктов, разложение под действием высоких температур, удерживание щелочных присадок фильтрующими элементами. Для моторных масел определяются щелочное число и водородный показатель pH, который характеризует щелочно-кислотные свойства среды. Он просто и достаточно точно характеризует пригодность масла к дальнейшему использованию.

Спектральные показатели масла и отложений

Показатели, которые определяются с применением методов атомной спектроскопии, называются спектральными показателями масла и отложений [61].

Химические элементы, которые содержатся в работающем масле, могут быть условно разделены на три группы: элементы-индикаторы износа, элементы-индикаторы загрязнения, элементы-индикаторы присадок.

Подбор первой группы элементов для оценки работоспособности масла и оценки технического состояния двигателя производится в каждом конкретном случае, опираясь на конструкционные материалы деталей машин и условий ее эксплуатации, а также исходя из требований завода-изготовителя состава используемого моторного масла.

Элементы-индикаторы присадок

На основе представленной информации, можно выбрать элементы-индикаторы присадок исследуемого моторного масла «Экойл-Турбодизель»: (Таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Состав и ориентировочные значения концентраций элементов-индикаторов присадок в свежем моторном масле «Экойл-Турбодизель»

Содержащиеся активные элементы	Расчетная норма, % масс.
Кальций, % масс.	0,2030 – 0,2350
Магний, % масс.	0,0162 – 0,0207
Фосфор, % масс.	0,0832 – 0,0970
Цинк, % масс.	0,0918 – 0,1057

Элементы-индикаторы износа деталей двигателя

Исходя из химического состава материалов деталей, можно определить характерные элементы-индикаторы изменения технического состояния двигателя, что отражено в таблицах 3.4, 3.5.

Таблица 3.4 – Химический состав материалов деталей двигателей ЯМЗ

Наименование детали	Материал
1	2
Гильза цилиндра	специальный чугун
Втулка шатуна	бронза Бр. ОЦС 5-5-5
Втулка распределительного вала	бронза Бр. ОЦС 5-5-5
Вкладыш нижней головки шатуна	сталь 10 (ГОСТ 1050-60) + бронза БрС-30 (ГОСТ 493-54)
Вкладыш коленчатого вала	сталь 10 (ГОСТ 1050-60) + бронза БрС-30 (ГОСТ 493-54)
Коленчатый вал	сталь 50 или 50Г
Распределительный вал	сталь 45
Шестерни приводные	сталь 40Х

Кольцо упорное коленчатого вала	бронза ОЦС 5-5-5
Наконечник штанги толкателя	сталь 35
Торец стержня выпускного клапана	сталь 40ХН
Стержень выпускного клапана	сталь 4Х14Н14В2М
Стержень впускного клапана	сталь 4Х10СМ2
Ролик толкателя	сталь ШХ 15
Ось ролика толкателя	сталь 15ХФ
Втулка толкателя	бронза Бр. ОЦС 4-4-2,5
Коромысло клапанов	сталь 45
Втулка коромысло клапанов	бронза Бр. ОЦС 4-4-2,5
Втулка промежуточной шестерни	бронза ОЦС 4-4-2,5
Втулка корпуса	бронза ОЦС 4-4-2,6
Шестерни масляного насоса	сталь 40Х
Крышка маслонасоса	серый чугун СЧ 15-32
Проставка масляного насоса	сталь 65Г
Ось ротора центробежного фильтра	сталь 35
Ротор центробежного фильтра	АЛ-10В
Поршень	АЛ-25
Кольцо поршневое компрессионное	специальный чугун
Кольцо поршневое маслосъемное	специальный чугун
Палец поршневой	Сталь 12хНЗА
Втулка направляющая клапана	СЧ21-40

Таблица 3.5 – Содержание элементов в специальном чугуне

Содержание элементов специальный чугун	
Элемент	% содержание
1	2
C	3,2-3,5
Mn	0,6-0,8
Si	2,1-2,4
P	до 0,2
Ti	0,03-0,08
Cu	0,15-0,4
Cr	0,3-0,45
N	до 0,1
S	до 0,12

На основе анализа химического состава деталей двигателей можно выбрать следующие элементы-индикаторы для дальнейшего исследования (таблица 3.6).

Таблица 3.6 – Элементы-индикаторы

Элемент – индикатор	Изменение технического состояния
Железо, Fe	Продукт износа – различные детали двигателя
Алюминий, Al	Продукт износа – поршни, подшипники Загрязнения – атмосферная пыль
Олово, Sn	Продукт износа – бронзовые втулки, подшипники
Медь, Cu	Продукт износа – втулки шатунов
Свинец, Pb	Продукт износа – подшипники скольжения
Хром, Cr	Продукт износа – подшипники, поршневые кольца
Кремний, Si	Антипенная присадка Загрязнения – атмосферная пыль
Никель, Ni	Продукт износа – поршневые пальцы
Молибден, Mo	Продукт износа – клапаны Загрязнение – добавки в масла

Ряд авторов и зарубежных фирм рекомендуют допустимые концентрации элементов-индикаторов в работающем масле (таблица 3.7).

Таблица 3.7 – Рекомендации по браковочным концентрациям элементов

Элемент	Фирма «Лубризол» [2]	Морозова Т.С. [1]			Фирма «Комацу» [1]		
	предельные содержания, г/т	нормальное содержание, г/т	стадия предупреждения, г/т	предаварийная стадия, г/т	нормальное содержание, г/т	стадия предупреждения, г/т	предаварийная стадия, г/т
		До		Более	До		Более
Cr	25	5	5–10	10	5	5–25	25
Fe	100	100	100–200	200	45	49–95	95
Pb	40	10	10–30	30	25	25–80	80
Si	20	40	40–80	80	20	20–40	40
Sn	25	5	5–15	15	–	–	–
Cu	50	40	40–80	80	15	15–45	45
Al	30	30	30–70	70	8	8–16	16
Ni	10	–	–	–	–	–	–

Ряд авторов и зарубежных фирм рекомендуют по браковочным значениям физико-химических свойствам масел (таблица 3.8).

Таблица 3.8 – Рекомендации по браковочным значениям физико-химических параметров масла [3,14]

Наименование критерия	Значение критерия	
	минимальное	Максимальное
1	2	3
Критерии предельного состояния дизельного моторного масла		
Вязкость кинематическая, мм ² /с	снижение 20% 10,0	повышение 35% 22,0
Температура вспышки в открытом тигле, 0С, не менее	снижение 20% 160	–

1	2	3
Щелочное число, мг КОН	снижение 50% 3,5	–
Кислотное число, мг КОН	–	5
Содержание воды, %, не более	–	0,2
Содержание водорастворимых кислот и щелочей	–	–
Водородный показатель	–	–
Диспергирующая способность	0,35	–
Содержание мех примесей %,		3

3.3.2 Методики лабораторных исследований

Проведение лабораторных анализов осуществлялось на базе Аккредитованной Центральной базовой лаборатории экоаналитических и технологических исследований ИЭВЦ ОАО «Сургутнефтегаз» в соответствии с положениями договора.

Оценка производилась на основе методик указанных в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Методики лабораторных оценок параметров масел

Наименование параметра	Метод исследования
1	2
Вязкость кинематическая	ГОСТ 33–2000 Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической вязкости.
Температура вспышки в открытом тигле	ГОСТ 43333-87 Нефтепродукты. Методы определения температур вспышки и воспламенения в открытом тигле
Щелочное число	ГОСТ 11362 -96 Нефтепродукты и смазочные материалы. Число нейтрализации. Метод потенциометрического титрования
Кислотное число	ГОСТ 5985-79 Нефтепродукты. Метод определения кислотности и кислотного числа

1	2
Массовая доля механических примесей	ГОСТ6370-83 Нефть, нефтепродукты и присадки. Метод определения механических примесей
Массовая доля воды	ГОСТ 2477-65 Нефть и нефтепродукты. Метод определения содержания воды. ASTMD 1744 Метод определения воды в жидких нефтепродуктах при помощи реагента Карла Фишера
Массовая доля серы	ГОСТ Р 51947-2002 Нефть и нефтепродукты. Определение. Определение серы методом энергодисперсионной рентгенфлуоресцентной спектроскопии
Содержание водорастворимых кислот и щелочей	ГОСТ 6307-75 Нефтепродукты. Метод определения наличия водорастворимых кислот и щелочей.
Водородный показатель	Информация не предоставлена
Массовая доля элементов износа: Fe, Pb, Al, Cr, Si, Cu, Sn, Mo, Ni	ASTMD 4951-02 Стандартный метод определения добавок в смазочных маслах атомно-эмиссионной спектроскопией с индуктивно-связанной плазмой. DIN 51396-2 Метод определения элементов износа в смазочных веществах с помощью волнодисперсионной рентгеновской спектроскопии
Массовая доля активных элементов присадок: Ca, Mg, P, Zn	ASTMD 5185-02 Стандартный метод определения добавок, металлов и примесей в отработанных смазочных маслах и определение элементов в базовых маслах атомно-эмиссионной спектроскопией с индуктивно-связанной плазмой

Выводы по главе 3

Представленные методики позволяют получить качественные данные по изменению работоспособности моторных масел при эксплуатации автомобилей.

4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОДКОНТРОЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И ПАРАМЕТРОВ МОТОРНОГО МАСЛА

4.1 Цель и задачи экспериментальных исследований

Основной целью экспериментальной оценки состояния моторного масла является определение его ресурса в заданных условиях работы техники.

Для этого нужно решить несколько задач:

- оценить состояние двигателей подконтрольной техники;
- оценить изменение состояния моторного масла в процессе использования;
- определить предельную наработку, соответствующую пределу работоспособности моторного масла.

4.2 Контроль технического состояния двигателей

Второй этап – проведение операций технического обслуживания испытуемого образца (ТО - (ИО)) согласно программы испытаний. Эти работы проводятся с целью максимально исключить влияние неисправного технического состояния двигателя на работоспособность масла в процессе испытаний. Перечень операций, составленный на основании программы-методики испытаний, согласован с представителями организаций, произведен предварительный расчет времени, составлена программа технических воздействий. С техническим отделом СДРСУ и УМиТ №7 составлен график проведения ТО - (ИО) для подконтрольной техники. Перечень контрольно-диагностических мероприятий:

1. Проверка давления начала подъема иглы и качества распыла топлива.
2. Контроль давления газов в конце такта сжатия.
3. Контроль давления в масляной магистрали.
4. Контроль расхода картерных газов.
5. Контроль дымности.

4.2.1 Проверка давления начала подъема иглы и качества распыла топлива

Давление начала подъема иглы и качества распыла топлива является косвенным (функционально зависимым от структурного) диагностическим параметром системы питания двигателя. (ГОСТ 23435–79). Попадание избыточного количества топлива в моторное масло ведет к существенным изменениям его свойств и увеличивает износ цилиндропоршневой группы, смывая масляную пленку со стенок цилиндра.

Регламент проведения данной операции, через одно ТО-2, что зафиксировано в следующих нормативных документах: «Положение о техническом обслуживании и ремонте автомобильного транспорта», «Техническое обслуживание и ремонт автотракторной, дорожно-строительной и специальной нефтепромысловой техники» СТП 114-2005, «Руководство по эксплуатации 7511.3902150-01 ИЭ».

Контроль и регулировка осуществлялись на стенде КИ-562 (СДРСУ) (рисунок 4.1).

Проведение операции затруднено ввиду устаревшего оборудования (проведен сварочный ремонт рукояти приспособления, отломившейся в ходе проведения работ), а также отсутствия запасных частей и расходных материалов (форсунки, распылители, регулировочные шайбы, уплотнительные шайбы). Запасные части получены в течение недели по дополнительным заявкам.



Рисунок 4.1 – Стенд для проверки форсунок

Данные по количеству исправных и неисправных (подлежащих замене или регулировке) форсунок на каждом автомобиле представлены на диаграмме (рисунок 4.2).

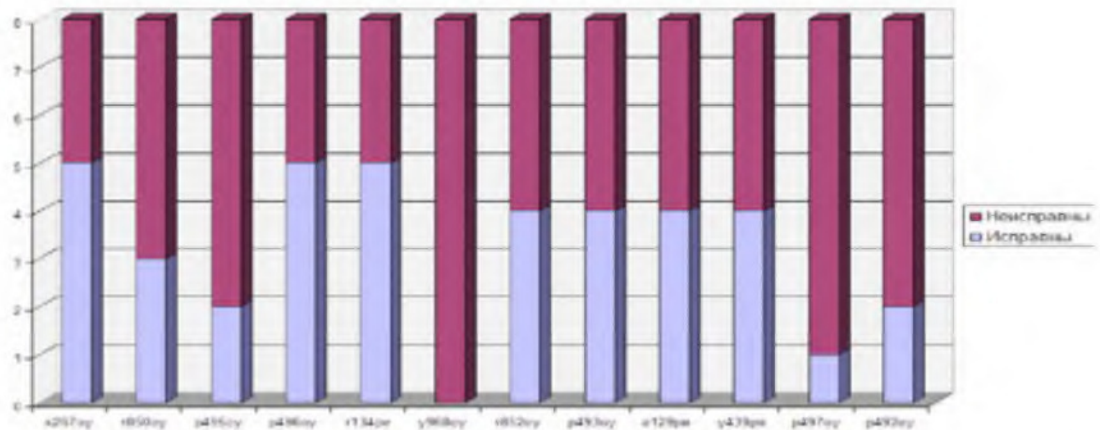


Рисунок 4.2 – Соотношение исправных и неисправных форсунок по двигателям

Общее процентное соотношение исправных и неисправных форсунок показано на диаграмме (рисунок 4.3).

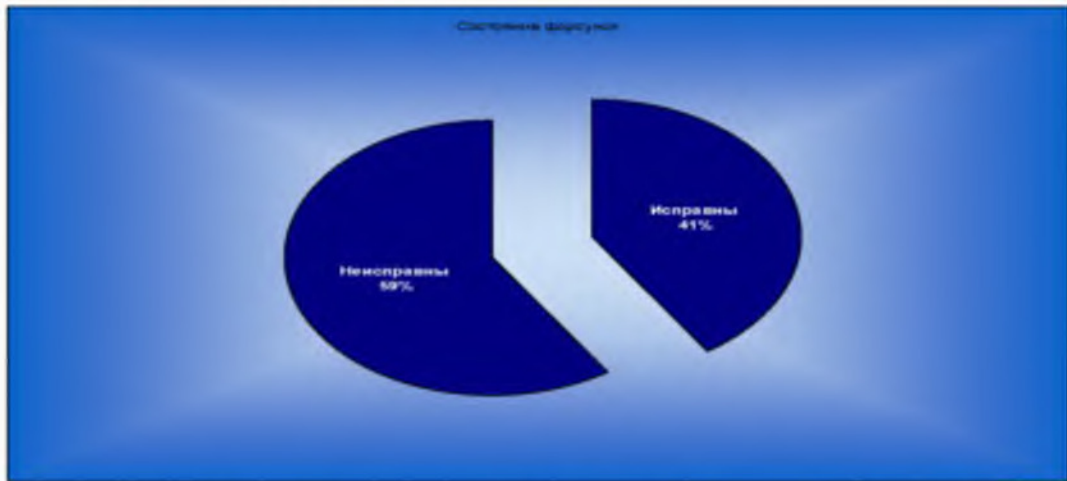


Рисунок 4.3 – Общее соотношение исправных и неисправных форсунок

Результат проведенных работ указывает на недостаточно качественное проведение работ ТО-2, в которых на практике отсутствует регламентное обслуживание форсунок.

Контроль герметичности обратной топливной магистрали проводился визуально, на работающем двигателе в течение 10 минут при снятых крышках головки цилиндров (рисунок 4.4).



Рисунок 4.4 – Проверка герметичности обратной топливной магистрали

Данный вид контроля применялся из-за отсутствия приспособлений для опрессовки магистрали воздухом.

4.2.2 Контроль давления газов в конце такта сжатия

Контроль давления газов в конце такта сжатия является косвенным показателем состояния цилиндропоршневой группы (ГОСТ 23435–79). Для проведения замеров давления газов в конце такта сжатия использовался прибор КИ 11229 (рисунок 4.5).

Ввиду непредоставления данных по величине давления газов в конце такта сжатия заводом -изготовителем самостоятельной доработки прибора, результаты замеров использовались справочно. Результаты замеров показали отсутствие разницы в показаниях между цилиндрами более 0,3 МПа.



Рисунок 4.5 – Замер давления газа в конце такта сжатия.

4.2.3 Контроль давления масла в главной масляной магистрали

Контроль давления масла в главной масляной магистрали является прямым (структурным) диагностическим параметром двигателя и системы смазки в целом, косвенным диагностическим параметром кривошипно-шатунного механизма, механизма газораспределения (ГОСТ 23435–79). Для проведения работ использовался контрольный манометр 14.3830 ГОСТ 1701-75. Замеры осуществлялись на трех режимах работы двигателя:

- режим холостого хода (минимальная частота вращения $600-800 \text{ мин}^{-1}$);
- частота вращения $1\ 200 \text{ мин}^{-1}$;
- частота вращения при номинальной мощности $1\ 900 \text{ мин}^{-1}$.

Температура охлаждающей жидкости контролировалась по штатным датчикам автомобилей в пределах не менее $60-70 \text{ }^\circ\text{C}$. Данные границы были установлены ввиду затруднения прогрева двигателя до более высоких температур на режиме холостого хода и отсутствия в ремонтной зоне местной системы удаления выхлопных газов. Точка замера для удобства проведения работ выбрана в месте подсоединения турбокомпрессора к воздушному коллектору. Контрольная величина давления на номинальном режиме работы не менее 3 кгс/см^2 . Давление при минимальной частоте вращения не менее $0,8 \text{ кгс/см}^2$. Результаты замеров давления в системе смазки автомобилей СДРСУ представлены на диаграмме (рисунок 4.6).

Результат диагностики дает основание сделать вывод об исправном функционировании системы смазки обследованных двигателей и отсутствии влияния на ее работоспособность неисправностей кривошипно-шатунного механизма и механизма газораспределения.

Давление в системе смазки

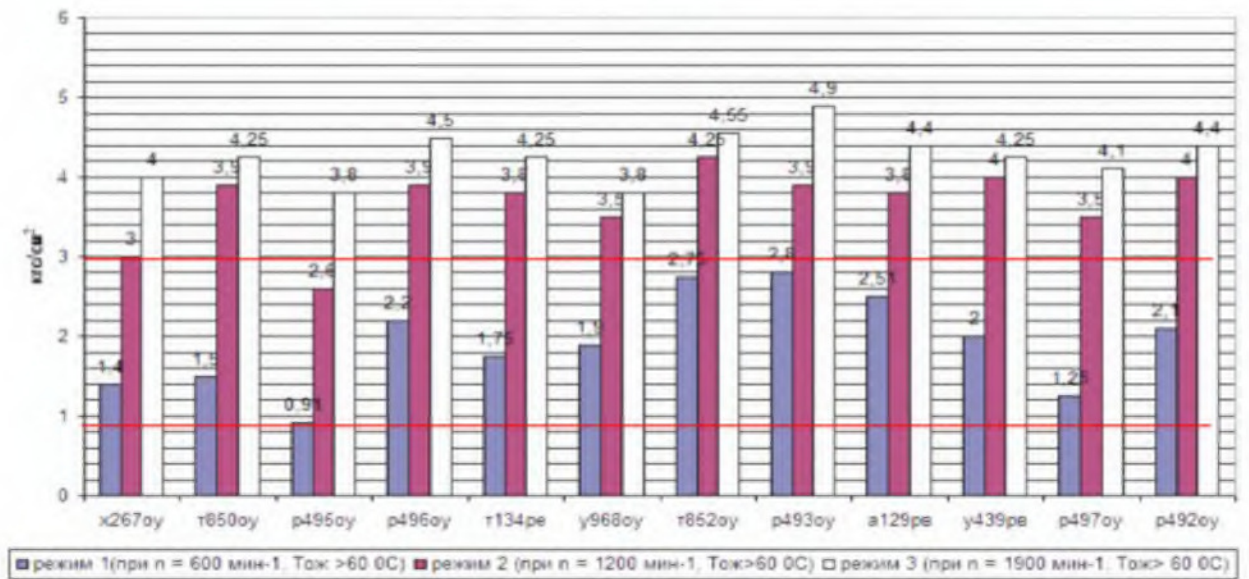


Рисунок 4.6 – Давление в системе смазки автомобиля СДРСУ

Результаты замеров давления в системе смазки автомобилей УМиТ №7 представлены на диаграмме (рисунок 4.7).

Давление в системе смазки (УМиТ №7)

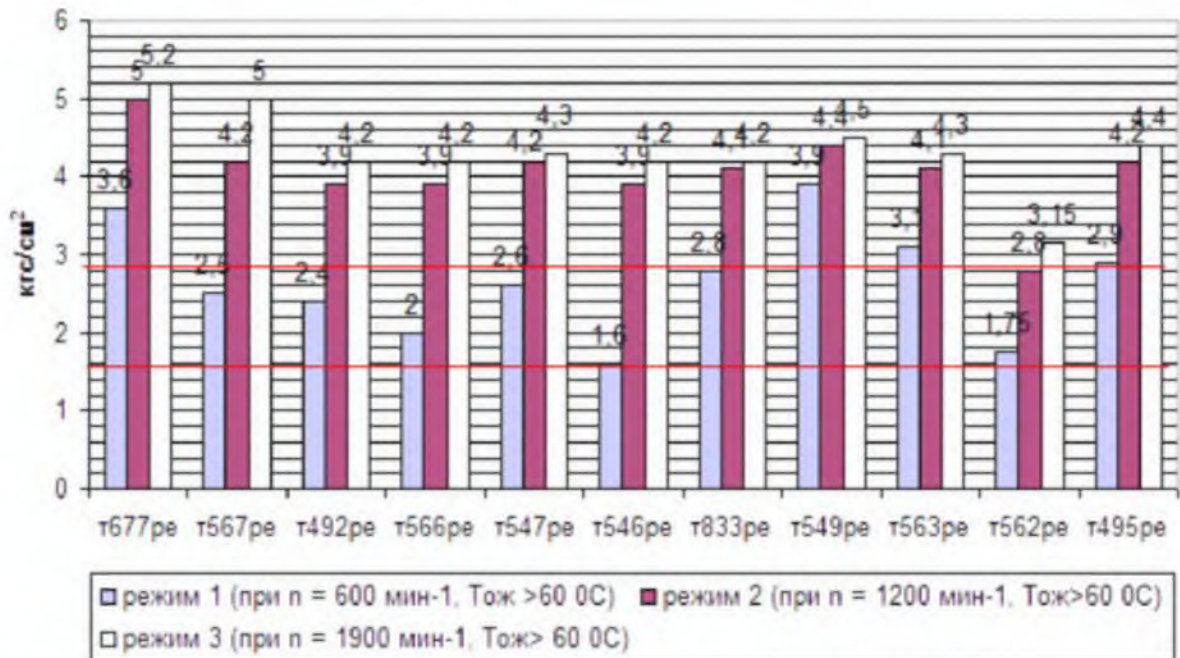


Рисунок 4.7 – Давление в системе смазки автомобиля УМиТ-7

4.2.4 Контроль количества газов, прорвавшихся в картер

Контроль количества газов, прорвавшихся в картер, является косвенным диагностическим показателем состояния цилиндропоршневой группы. Замер производился счетчиком-расходометром газов СГМН-1. Прибор подсоединялся к газоотводной трубке вентиляции картера. Контролировалась плотность закрытия маслосливной горловины, щупа и крышки сапуна. Нормировочными показателями служит расход картерных газов в пределах:

номинальный - $60-80 \text{ дм}^3/\text{мин}$,

предельный - $180 \text{ дм}^3/\text{мин}$

Процедура замера расхода картерных газов и прибора показан на рисунке 4.8.



Рисунок 4.8 – Процедура замера расхода картерных газов и прибор СГМН-1

Замер проводился параллельно с замером давления в масляной магистрали, на тех же режимах. Результаты замеров расхода картерных газов двигателей автомобилей СДРСУ представлены на диаграмме (рисунок 4.9).

Расход картерных газов



Рисунок 4.9 – Диаграмма расхода картерных газов автомобилей ДРСУ

Результаты замеров расхода картерных газов двигателей автомобилей УМ и Т №7 представлены на диаграмме (рисунок 4.10).

Расход картерных газов (УМ и Т №7)

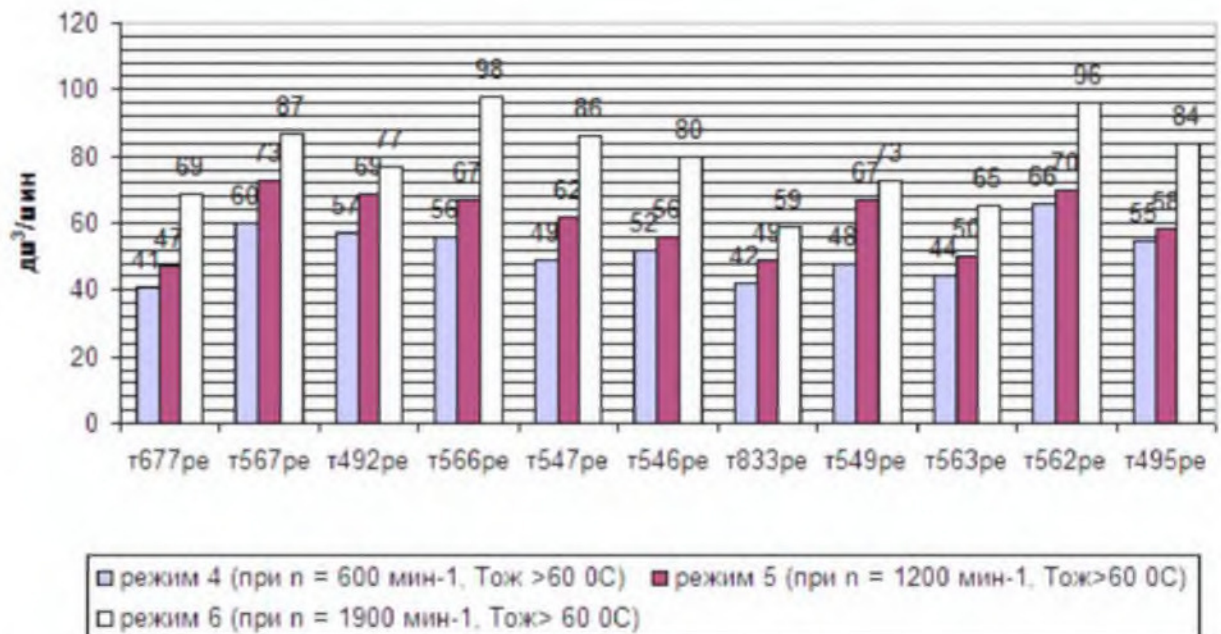


Рисунок 4.10 – Диаграмма расхода картерных газов автомобилей УМ и Т №7

Результат диагностики позволяет сделать заключение об исправном состоянии цилиндропоршневой группы двигателей обследуемой техники.

4.2.5 Контроль дымности отработанных газов

Контроль дымности отработанных газов является прямым (структурным) диагностическим параметром двигателя в целом и косвенным показателем состояния цилиндропоршневой группы, кривошипно-шатунного механизма, системы питания двигателя. Контроль дымности осуществлялся с использованием переносного измерителя непрозрачности отработанных газов ИНА-109 (рисунок 4.11).

Технический отдел СДРСУ организовал замер дымности отработанных газов на базе УТТ №6, на линии технического контроля (по ГОСТ 51709–2001 изм.1) (рисунки 4.12–4.13).



Рисунок 4.11 – Прибор ИНА-109



Рисунок 4.12 – Пост диагностического контроля УТТ №6



Рисунок 4.13 – Стенд диагностического контроля УТТ №6

На всех автомобилях СДРСУ результаты замеров не показали отклонений от норм дымности в режиме свободных ускорений не более 3,002 (м-1) и не более 40%, что позволяет сделать вывод об исправном состоянии двигателя в целом, и в

частности состояния цилиндропоршневой группы, системы питания двигателя. Контроль дымности автомобилей УМиТ №7 не был осуществлен.

4.3 Мероприятия технического обслуживания исследуемого образца

Завершающие мероприятия технического обслуживания при подготовке автомобилей к испытаниям:

1. Промывка двигателя.
2. Снятие и промывка поддона и сетки маслоприемника.
3. Замена масляных и воздушных фильтров.
4. Заправка маслом.

Промывка двигателя промывочным маслом «Экойл-П», снятие и промывка поддона и сетки маслоприемника являлись мероприятиями, направленными на уменьшение влияние остатков прежнего масла на качество испытуемого смазочного материала (рисунок 4.14).



Рисунок 4.14 – Вид двигателя со снятым поддоном картера, после промывки



Рисунок 4.15 – Поддон картера, после промывки двигателя

Отсутствие необходимого запаса прокладок под крышку масляного картера задержало проведение работ (рисунок 4.15).



Рисунок 4.16 – Маркировка бочек

С каждой бочки из отобранных для испытаний (рисунок 4.16) партий масла (№12 - №16) была взята контрольная проба (рисунок 4.17).



Рисунок 4.17 – Отбор проб свежего масла

Бочки опечатаны и хранились отдельно, в том числе и бочки, предназначенные для долива масла в процессе испытаний.

В связи с отсутствием возможности заправки свежим маслом из пневматического маслораздаточного насоса непосредственно в маслоналивную горловину автомобиля (удаленность поста маслораздачи от рабочих зон ТО), использовалась специально подготовленная мерная емкость.

4.3.1 Отбор проб моторного масла

Согласно заданным условиям испытаний в соответствии с программой и методики, подконтрольным являлся пробег автомобилей в рамках утвержденной и действующей в подразделениях производственной программы. Для предприятий этот пробег составляет 20 000–21 600км.

Согласно программе контроля был предустановлен четырехкратный отбор проб с каждого испытуемого автомобиля. Отбор проб проводился календарно, с учетом фактического пробега. График отбора проб корректировался на основании данных, предоставляемых техническими отделами предприятий о реальных пробегах каждого автомобиля. Пробеги автомобилей учитывались по факту во время отбора проб ввиду отсутствия графика подготовки автомобилей к эксперименту.

В процессе отбора проб было отмечено присутствие высокой концентрации конденсированной влаги в маслозаливных горловинах и трубках под мерные щупы. Данная ситуация в отдельных случаях приводила к образованию следов ржавления на щупе (рисунок 4.18).



Рис. 4.18. Следы ржавчины на мерном щупе

Имеются случаи неплотного закрытия крышки маслозаливной горловины, что приводит к скоплению воды и механических загрязнений, которые попадают в систему смазки вместе с доливаемым маслом (рисунок 4.19).



Рисунок 4.19 – Конденсат на крышке маслозаливной горловины

По итогам второго отбора проб отмечено присутствие значительного количества конденсата на маслозаливной горловине (рисунок 4.20).



Рисунок 4.20 – Конденсат со следами ржавчины на трубке пробозаборника, извлеченного из маслозаливной горловины

Результаты третьего и четвертого отбора проб показали, что подконтрольные автомобили эксплуатировались в соответствии с регламентом выполнения производственных работ. Производимые за время подконтрольной эксплуатации доливки фиксировались в журнале.

4.3.2 Выполнение работ технического обслуживания

Включает в себя выполнение регламентных работ и отбор проб перед сливом отработанного масла, контроль давления масла в масляной магистрали, контроль расхода картерных газов, контроль и отбор проб отложений из центрифуги, проводимые на подконтрольных автомобилях [8, 59, 62, 74, 125].

4.3.3 Контрольно-диагностические операции

Давление в системе смазки и расход картерных газов определялись с использованием оборудования, применяемого при первом контроле, на аналогичных режимах. Разница показаний находится в пределах допустимых

погрешностей измерений, но прослеживается тенденция изменения показателей (рисунок 4.21).

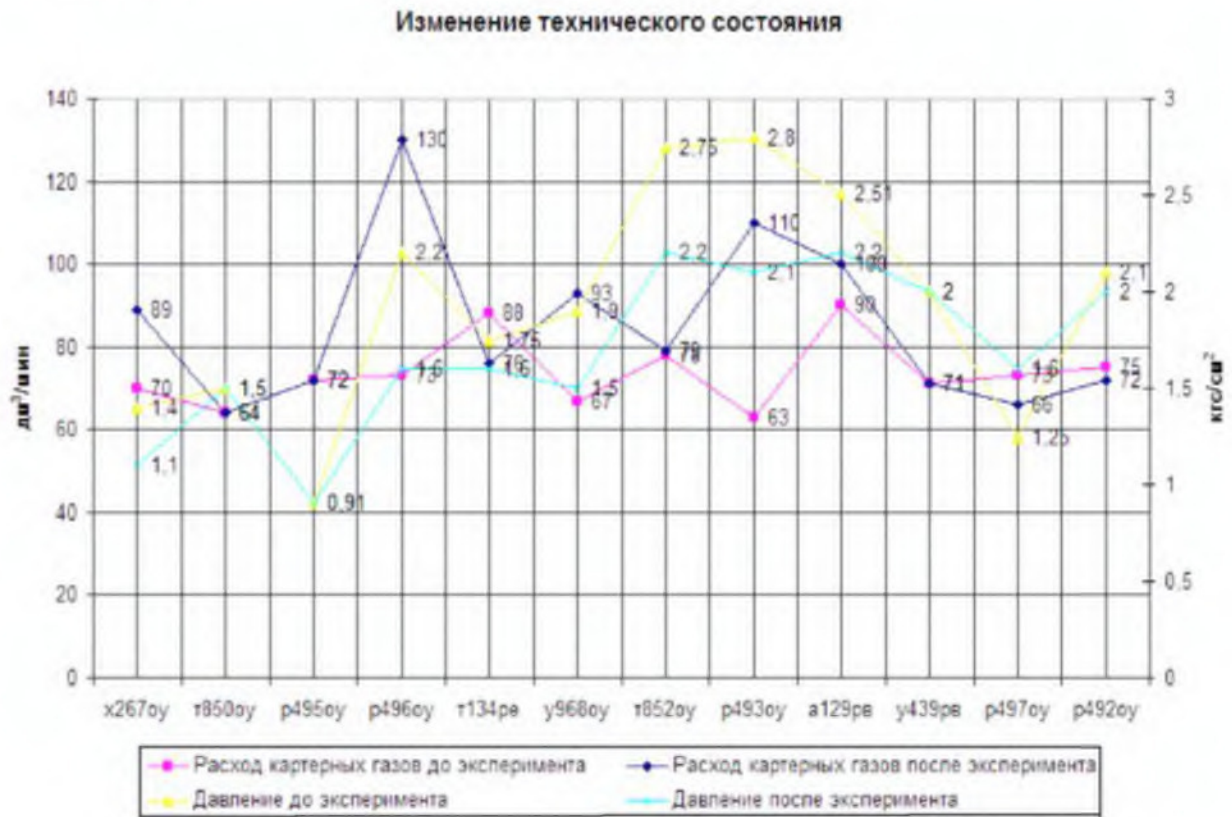


Рисунок 4.21 – Изменение диагностических показателей за время испытаний

На этом графике отображено изменение показателей замеров расходов картерных газов на номинальных оборотах и давления в масляной системе на минимальных оборотах. Видно существенное повышение расхода картерных газов и падение давления в масляной магистрали двигателей автомобилей 496oy, и493oy, что говорит о процессах повышенного износа, произошедших в двигателях за время испытаний.

4.3.4 Контроль отложений в центробежном фильтре очистки масла

Контроль осуществлялся путем серии измерений веса ротора центрифуги с отложениями и очищенного от отложений. Производился замер толщины отложений и отбор проб для передачи в лабораторию (рисунки 4.22 и 4.23). Отмечена разница в консистенции отложений и их количестве. Количество

отложений не выходит за границы, полученные во время проведения ресурсных и стендовых испытаний двигателей ЯМЗ [23].



Рисунок 4.22 – Определение толщины отложений и взвешивание ротора центрифуги

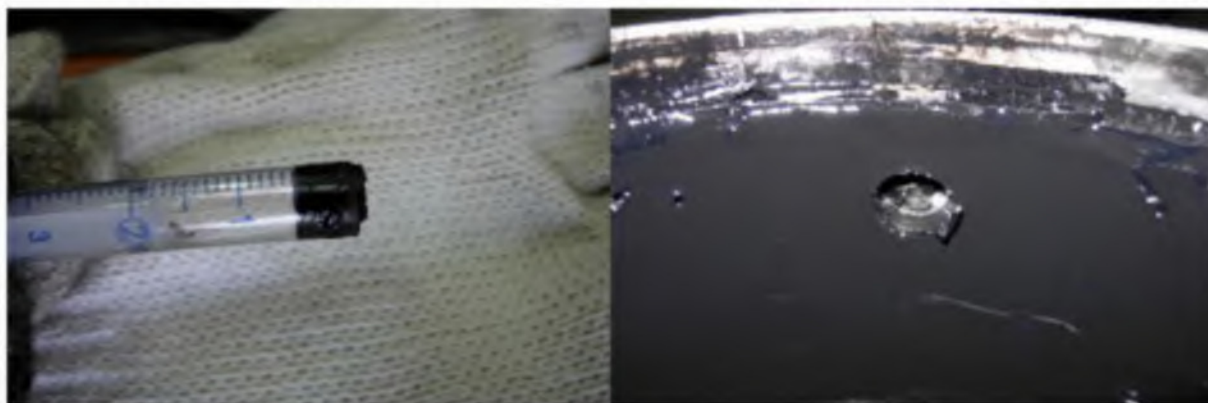


Рисунок 4.23 – Отбор проб отложений

Отмечено отсутствие обслуживания фильтра центробежной очистки во время проведения ТО-1.

Выводы по полноте и качеству выполненных работ технического обслуживания на станциях технического обслуживания подразделений ОАО «Сургутнефтегаз»:

1. Автомобили-самосвалы МАЗ 642208 с двигателями ЯМЗ 7511.10 эксплуатируются в подразделениях в подразделениях ОАО «Сургутнефтегаз» с ноября 2006 года, некоторые автомобили прошли минимум 5 ТО-2 в соответствии с пробегом.

2. Наблюдается дефицит квалифицированного персонала в ремонтных зонах, что сказывается на качестве проводимых работ.

3. Отсутствует пункт и процедура технического контроля транспортных средств.

4. Организация постов зон технического обслуживания и ремонта требует оптимизации и дооборудования.

4.3.5 Изменение характеристик двигателей в процессе испытаний

В ходе проведенной подконтрольной эксплуатации автомобилей следует отметить ряд общих закономерностей:

1. На холостых оборотах двигателя температурный режим находится ниже эксплуатационных параметров, что удлиняет процедуру прогрева двигателя, следствием чего будут интенсивные процессы конденсации паров воды из картерных газов на трубе маслозаливной горловины и мерном щупе, в результате вода неизбежно попадает в картерное масло. Подтверждением этому является наличие низкотемпературных отложений на поверхностях головки блока цилиндров и клапанных механизмов, и отсутствии в зоне кривошипно-шатунного механизма блока цилиндров.

2. Маслозаливная горловина конструктивно вынесена под облицовочную решетку радиатора, что в совокупности с встречающимся браком (крышка не докручивается до уплотнений) предрасполагает к попаданию влаги и механических загрязнений в масляную систему двигателя.

3. Применяемые полнопоточные фильтры очистки масла с маркировкой на этикетке ЭФМ 027-1012038 (840-1012038) на корпусе 840-1012040-12 имеют бумажный фильтрующий элемент (рисунок 3.24).



Рисунок 4.24 – Применяемые фильтрующие элементы

Эксплуатация двигателей ЯМЗ, соответствующих требованиям Евро-2, (за исключением двигателей ЯМЗ-7511.10 и его модификаций) с бумажным фильтрующим элементом очистки масла допускается со сроком смены 500 часов. Периодичность смены фильтрующих элементов – 1 000 часов, при условии применения только фильтрующих элементов 840-1012039(40)-15 из синтетического иглопробивного материала. («Эксплуатационные материалы и техническое обслуживание» Дополнение к руководству по эксплуатации 7511.3902150-01 2006 г.)

4. Изменение давления в системе смазки двигателя разных автомобилей и на разных частотах вращения коленчатого вала в ходе испытаний представлены на рисунках 4.25 – 4.26.

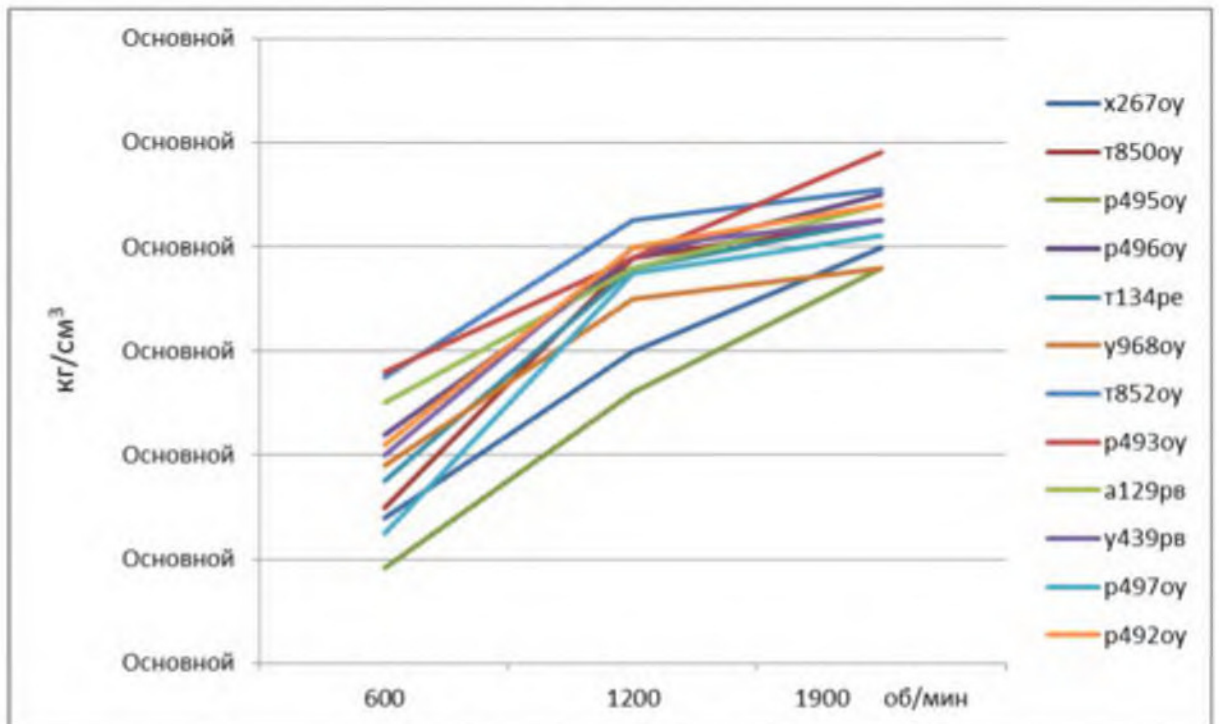


Рисунок 4.25 – Изменение давления в системе смазки двигателя разных автомобилей и на разных оборотах в ходе испытаний СДРСУ

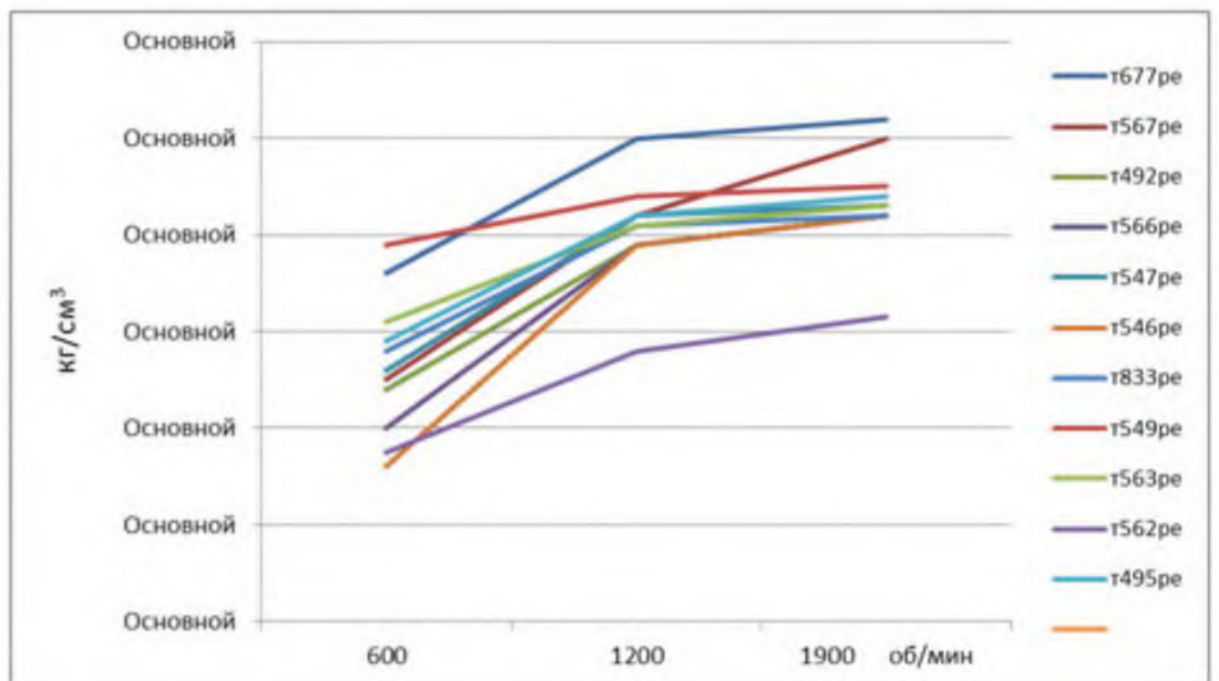


Рисунок 4.26 – Изменение давления в системе смазки двигателя разных автомобилей и на разных оборотах в ходе испытаний УМиТ №7.

5. Изменение расхода картерных газов (рисунки 4.27 – 4.28).

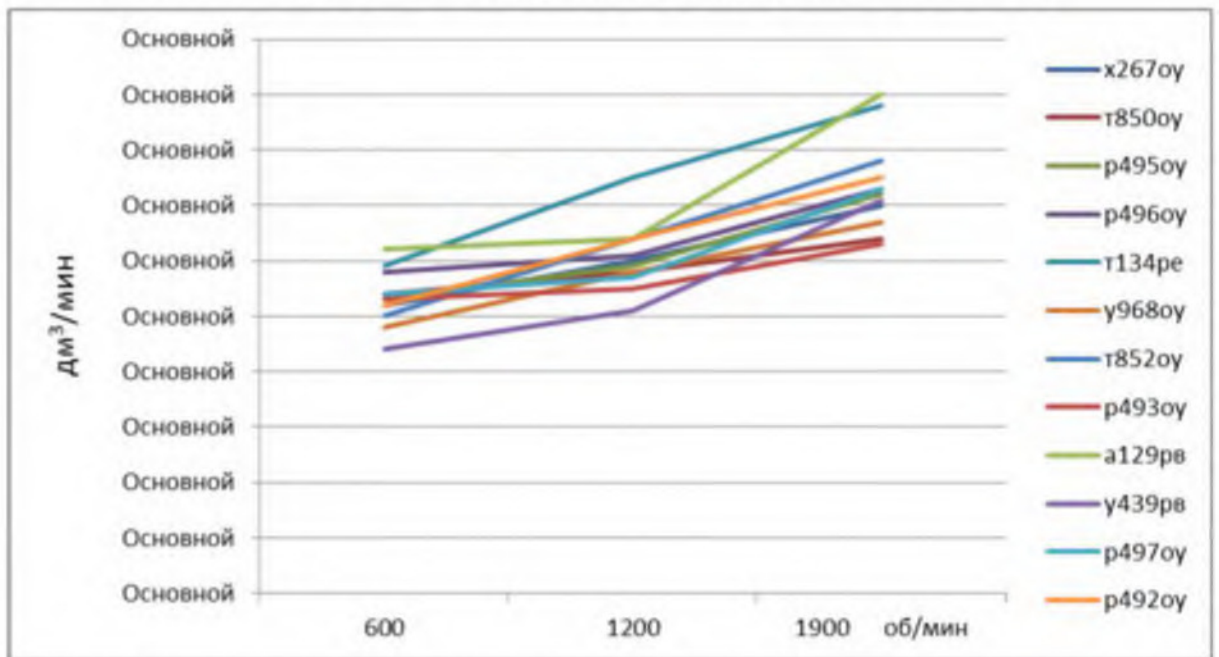


Рисунок 4.27 – Расход картерных газов разных автомобилей и на разных оборотах в ходе испытаний СДРСУ

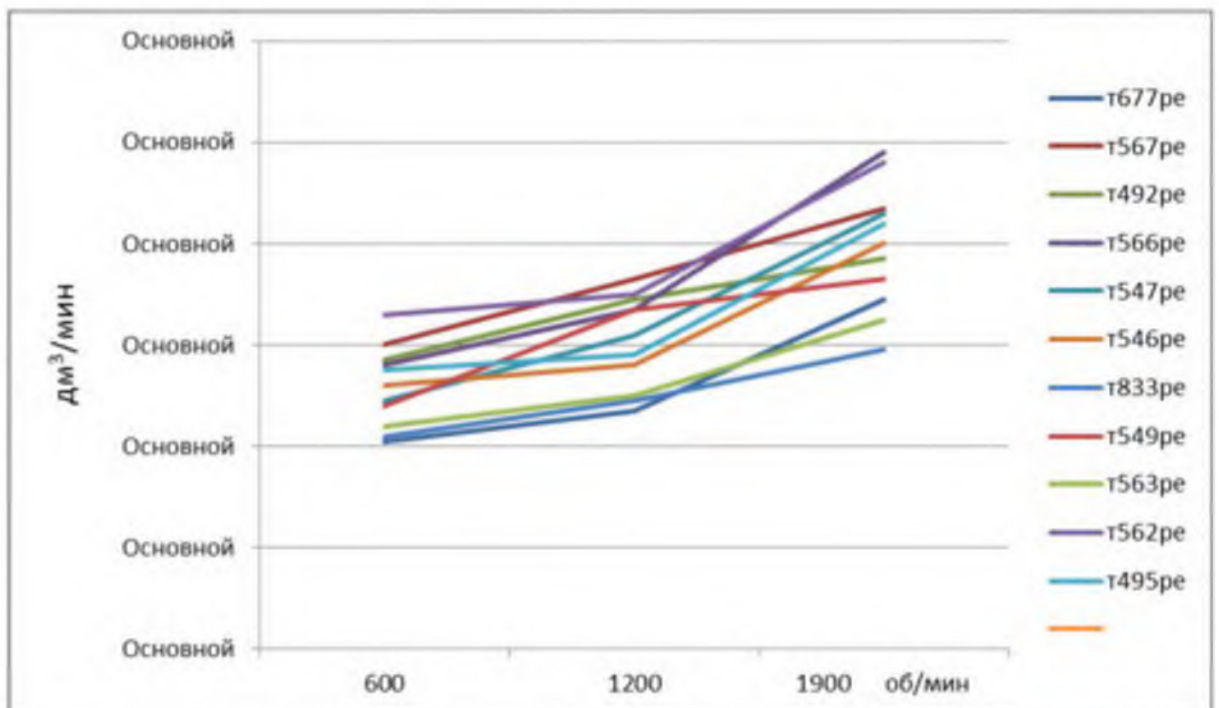


Рисунок 4.28 – Расход картерных газов разных автомобилей и на разных оборотах в ходе испытаний УМиТ №7

4.4 Результаты обработки данных лабораторных анализов проб масел

4.4.1 Статистические оценки параметров работавших масел

Изменение вязкости оценивалось по показателям 67 проб:

- минимальное значение: 16.56 мм²/с;
- максимальное значение: 25.92 мм²/с;
- среднее значение: 22.28 мм²/с;
- медиана: 22.18 мм²/с;
- дисперсия: 3.2870507463 (смещенная оценка) мм²/с;
- дисперсия: 3.3368545455 (несмещенная оценка) мм²/с;
- среднеквадратическое отклонение: 1.8130225443 (смещенная оценка);
- среднеквадратическое отклонение: 1.8267059275 (несмещенная оценка);
- асимметрия: - 0.2725542757;
- эксцесс: 0.3178076921;
- коэффициент вариации: 0.0819885964;
- сумма: 1492.76;
- сумма квадратов отклонений от среднего: 220.2324;
- сумма квадратов: 33478.9252;
- автокорреляция 1-го порядка: 0.3853647329.

В процессе эксплуатации вязкость изменяется по нормальному закону распределения и в среднем находится в пределах 22,28 мм²/с, что представлено на (рисунке 4.29).

При определении вспышки в открытом тигле (ТВО) оценивалось на базе 67 проб:

- минимальное значение: (ТВО): 184⁰С;
- максимальное значение (ТВО): 242⁰С;
- среднее значение (ТВО): 216.46268657⁰С;
- медиана: 220⁰С;

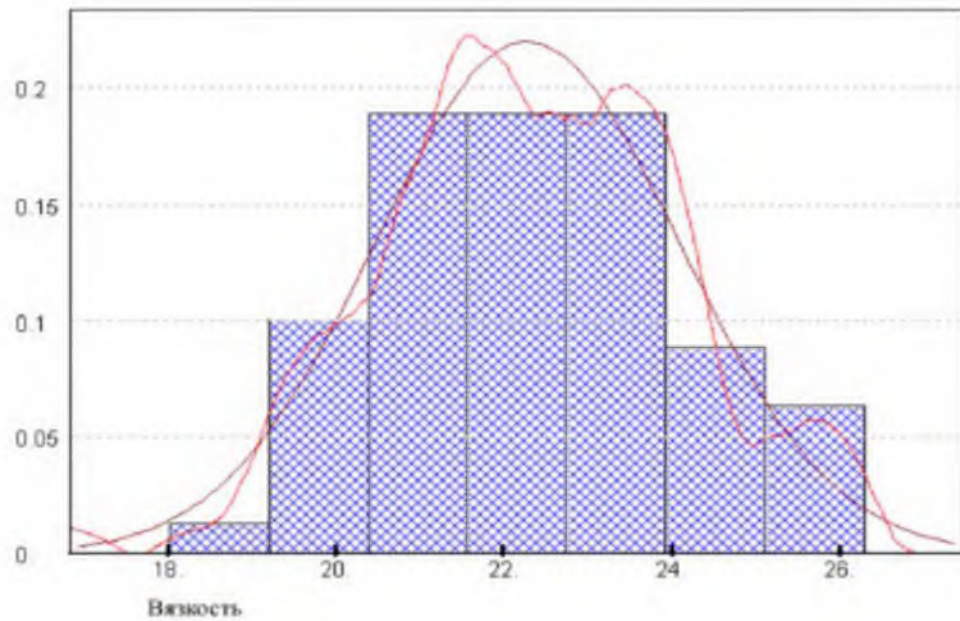


Рисунок 4.29 – Изменение вязкости при температуре 100°C

- дисперсия: 132.09935398 (смещенная оценка);
- дисперсия: 134.10085934 (несмещенная оценка);
- среднеквадратическое отклонение: 11.493448307 (смещенная оценка);
- среднеквадратическое отклонение: 11.580192543 (несмещенная оценка);
- асимметрия: - 1.0820088135;
- эксцесс: 0.9768820013;
- коэффициент вариации: 0.0534974075;
- сумма: 14503;
- сумма квадратов отклонений от среднего: 8850.6567164;
- сумма квадратов: 3148209;
- автокорреляция 1-го порядка: 0.0669377038.

Изменение температуры в (ТВО) происходит по нормальному закону распределения и в среднем находится на уровне 215°C, представлено на рисунке 4.30.

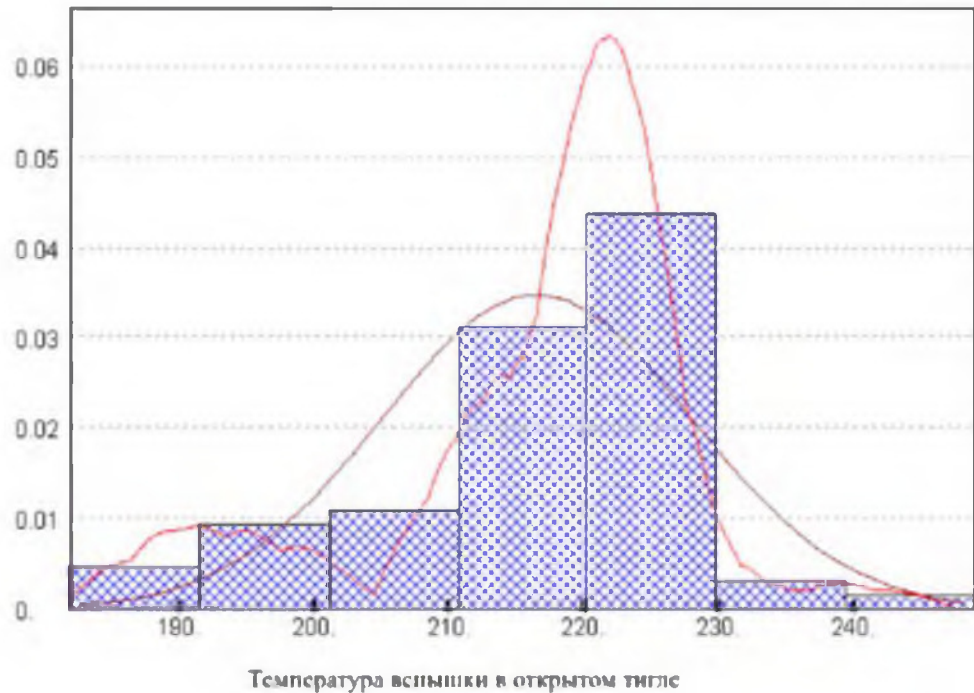


Рисунок 4.30 – Изменение температуры вспышки в открытом тигле (ТВО) °С.

Получены следующие показатели статистической обработки экспериментальных данных:

При определении щелочного числа (ЩЧ) оценивалось на базе 67 проб:

- минимальное значение (ЩЧ): 4.8;
- максимальное значение (ЩЧ): 8.8;
- среднее значение (ЩЧ): 6.9686567164;
- медиана: 7.1;
- дисперсия: 0.7746892404 (смещенная оценка);
- дисперсия: 0.7864269561 (несмещенная оценка);
- среднеквадратическое отклонение: 0.8801643258 (смещенная оценка);
- среднеквадратическое отклонение: 0.8868071696 (несмещенная оценка);
- асимметрия: - 0.401066277;
- эксцесс: - 0.2523643635;
- коэффициент вариации: 0.1272565439;
- сумма: 466.9;
- сумма квадратов отклонений от среднего: 51.904179104;

- сумма квадратов: 3305.57;
- автокорреляция 1-го порядка: 0.6338644054.

Щелочное число моторного масла изменяется незначительно, то есть эти показатели не влияют на работоспособность моторного масла в заданном интервале пробега и составляют около 7 мг/см^2 , зависимость представлена на рисунке 4.31.

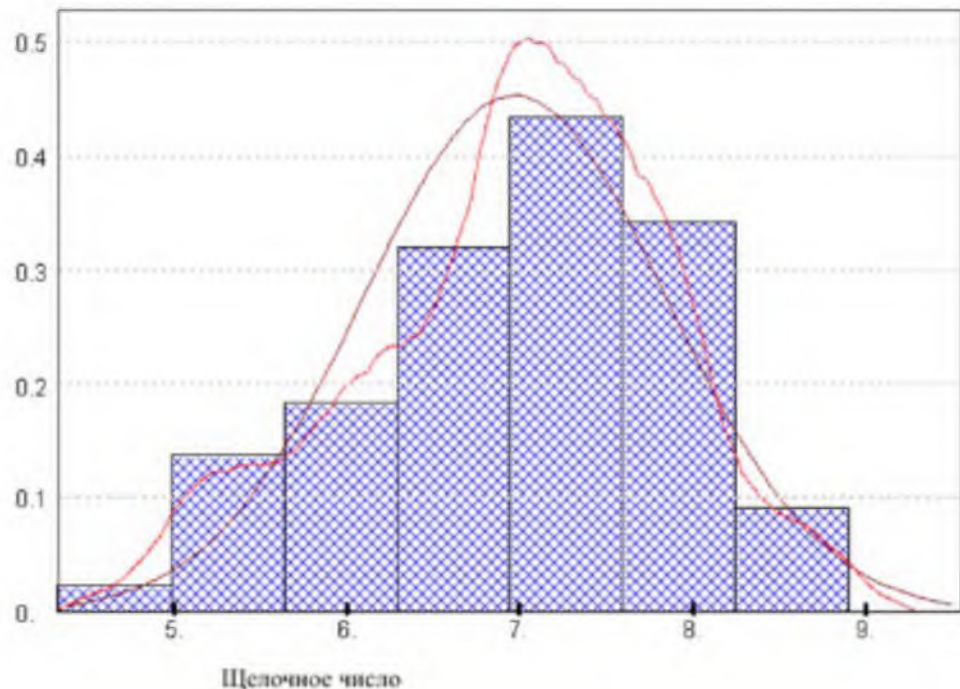


Рисунок 4.31 – Изменение щелочного числа

При определении кислотного числа (КЧ) оценивалось на базе 28 проб:

- минимальное значение (КЧ): 1.03;
- максимальное значение (КЧ): 5.98;
- среднее значение (КЧ): 2.4803571429;
- медиана: 2.08;
- дисперсия: 1.7374034439 (смещенная оценка);
- дисперсия: 1.8017517196 (несмещенная оценка);
- среднеквадратическое отклонение: 1.3181060063 (смещенная оценка);
- среднеквадратическое отклонение: 1.3422934551 (несмещенная оценка);
- асимметрия: 1.2023945269;

- эксцесс: 0.3157717957;
- коэффициент вариации: 0.5411694275;
- сумма: 69.45;
- сумма квадратов отклонений от среднего: 48.647296429;
- сумма квадратов: 220.9081;
- автокорреляция 1-го порядка: 0.2260701145

Кислотное число изменяется по нормальному закону распределения, то есть эти показатели не влияют на работоспособность моторного масла в заданном интервале пробега и составляют около 2.5.

При определении переменной механических примесей (МП) оценивалось на результатах 67 проб:

- минимальное значение (МП): 0;
- максимальное значение (МП): 0.034;
- среднее значение (МП): 0.005119403;
- медиана: 0.003;
- дисперсия: 4.664694E-05 (смещенная оценка);
- дисперсия: 4.735371E-05 (несмещенная оценка);
- среднеквадратическое отклонение: 0.0068298563 (смещенная оценка);
- среднеквадратическое отклонение: 0.0068814031 (несмещенная оценка);
- асимметрия: 2.8064545007
- эксцесс: 7.9520730762
- коэффициент вариации: 1.3441807819;
- сумма: 0.343;
- сумма квадратов отклонений от среднего: 0.0031253448;
- сумма квадратов: 0.0048813;
- автокорреляция 1-го порядка: 0.3765984256.

Механические примеси присутствуют незначительно, то есть эти показатели не влияют на работоспособность моторного масла в заданном интервале пробега и составляют около 0.005.

При определении переменной водородного показателя (РН) оценивалось на результатах 28 проб:

- минимальное значение (РН) :5.2;
- максимальное значение (РН) :7.3;
- среднее значение (РН) :6.4392857143;
- медиана: 6.65;
- дисперсия:0.4838137755 (смещенная оценка);
- дисперсия:0.5017328042 (несмещенная оценка);
- среднеквадратическое отклонение: 0.6955672329 (смещенная оценка);
- среднеквадратическое отклонение:0.7083309991 (несмещенная оценка);
- асимметрия:-0.6434761798;
- эксцесс:-0.9884430188;
- коэффициент вариации:0.1100014863;
- сумма:180.3;
- сумма квадратов отклонений от среднего:13.546785714;
- сумма квадратов:1174.55;
- автокорреляция 1-го порядка:0.7037694385.

Водородный показатель изменяется незначительно и не влияет на качество моторного масла.

При определении переменной водорастворимых кислот и щелочи (ВКЩ) оценивалось на результатах 67 проб:

- минимальное значение (ВКЩ): 6.2;
- максимальное значение (ВКЩ):7;
- среднее значение (ВКЩ) :6.6208955224;
- медиана: 6.6;
- дисперсия: 0.0359812876 (смещенная оценка);
- дисперсия:0.0365264586 (несмещенная оценка);
- среднеквадратическое отклонение: 0.1896873417 (смещенная оценка);
- среднеквадратическое отклонение: 0.1911189646 (несмещенная оценка);
- асимметрия: 0.2236387324;

- эксцесс:-0.3447160501;
- коэффициент вариации: 0.0288660294;
- сумма: 443.6;
- сумма квадратов отклонений от среднего: 2.4107462687;
- сумма квадратов:2939.44
- автокорреляция 1-го порядка:0.1095266609.

Водорастворимые кислоты и щелочи, содержащиеся в моторном масле изменяются по нормальному закону распределения и составляют около 7 мг/см².

Определение переменной о содержании кальция (Ca).

- минимальное значение (Ca): 0.033%;
- максимальное значение (Ca): 0.077%;
- среднее значение (Ca): 0.0511791045%;
- медиана: 0.046;
- дисперсия:1.645052E-04 (смещенная оценка);
- дисперсия:1.669977E-04 (несмещенная оценка);
- среднеквадратическое отклонение:0.0128259594 (смещенная оценка);
- среднеквадратическое отклонение: 0.0129227605 (несмещенная оценка);
- асимметрия:0.6263708767;
- эксцесс:-0.9544631193;
- коэффициент вариации: 0.2525007152;
- сумма:3.429;
- сумма квадратов отклонений от среднего: 0.0110218507;
- сумма квадратов: 0.186515
- автокорреляция 1-го порядка:0.4017336671

Определение переменной о содержании магния, Mg:

- минимальное значение (Mg):0.793%;
- максимальное значение (Mg):1.263%;
- среднее значение (Mg):1.0932686567%;
- медиана: 1.097;
- дисперсия: 0.0104287935 (смещенная оценка);

- дисперсия: 0.0105868055 (несмещенная оценка);
- среднее квадратическое отклонение: 0.1021214644 (смещенная оценка);
- среднее квадратическое отклонение: 0.1028922034 (несмещенная оценка);
- асимметрия: -0.7368846088;
- эксцесс: 0.3197813873;
- коэффициент вариации: 0.09411429;
- сумма: 73.249;
- сумма квадратов отклонений от среднего: 0.6987291642;
- сумма квадратов: 80.779565;
- автокорреляция 1-го порядка: 0.0705959943.

С помощью спектрального анализа определено изменение элементов индикаторов моторного масла. Изменение в содержании элементов индикаторов наблюдалось на базе 67 проб. В первую очередь это касалось кальция (Ca) и магния (Mg) как элементов индикаторов детергентно-диспергирующих присадок.

При определении переменной наличие фосфора (P) оценивалось на результатах 67 проб:

- минимальное значение (P): 0.111%;
- максимальное значение (P): 0.161%;
- среднее значение (P) : 0.1424477612%;
- медиана: 0.145;
- дисперсия: 1.406652E-04 (смещенная оценка);
- дисперсия: 1.427965E-04 (несмещенная оценка);
- среднее квадратическое отклонение: 0.0118602353 (смещенная оценка);
- среднее квадратическое отклонение: 0.0119497478 (несмещенная оценка);
- асимметрия: -0.398558274;
- эксцесс: -0.7697924894;
- коэффициент вариации: 0.0838886318;
- сумма: 9.544;
- сумма квадратов отклонений от среднего: 0.0094245672;
- сумма квадратов: 1.368946;

- автокорреляция 1-го порядка:0.4040528678.

При определении переменной наличия цинка (Zn) оценивалось на результатах 67 проб:

- минимальное значение (Zn): 0.097%;
- максимальное значение (Zn): 0.141%;
- среднее значение (Zn): 0.125 %;
- медиана: 0.128;
- дисперсия: 1.119403E-04 (смещенная оценка);
- дисперсия: 1.136363E-04 (несмещенная оценка);
- среднеквадратическое отклонение:0.0105801842 (смещенная оценка);
- среднеквадратическое отклонение:0.0106600358 (несмещенная оценка);
- асимметрия:-0.5354916202;
- эксцесс:-0.4443662933;
- коэффициент вариации: 0.0852802865;
- сумма: 8.375;
- сумма квадратов отклонений от среднего: 0.0075;
- сумма квадратов: 1.054375;
- автокорреляция 1-го порядка: 0.2444.

Наличие фосфора и цинка в испытуемых образцах характеризует наличие многофункциональной присадки, которая улучшает противоизносные и антиокислительные свойства моторного масла.

При определении переменной наличия кремния (Si) оценивалось на результатах 67 проб:

- минимальное значение (Si): 0.0015%;
- максимальное значение (Si): 0.0113%;
- среднее значение (Si): 0.0057223881%;
- медиана: 0.0052;
- дисперсия: 4.567111E-06 (смещенная оценка);
- дисперсия: 4.636309E-06 (несмещенная оценка);
- среднеквадратическое отклонение: 0.00213708 (смещенная оценка);

- среднеквадратическое отклонение: 0.0021532091 (несмещенная оценка);
- асимметрия: 0.6270407015;
- эксцесс: 0.0636322617;
- коэффициент вариации: 0.3762780612
- сумма: 0.3834;
- сумма квадратов отклонений от среднего: 3.059964E-04;
- сумма квадратов: 0.00249996;
- автокорреляция 1-го порядка: 0.3058686873.

Наличие кремния (Si) в моторном масле характеризует концентрацию антиизносной присадки, а при значительном количестве кремния в моторном масле характеризует попадание механических примесей из внешней среды, как неисправность воздухозабора (воздушного фильтра).

При определении переменной наличия железа (Fe) оценивалось на результатах 67 проб. Основной элемент, характеризующий износ цилиндропоршневой группы (ЦПГ), – это содержание в моторном масле железа (Fe). Данные статистической обработки экспериментальной обработки приведены ниже:

- минимальное значение (Fe): 5.E-04%;
- максимальное значение (Fe): 0.0152 %;
- среднее значение (Fe): 0.0043029851%;
- медиана: 0.0041;
- дисперсия: 5.896409E-06 (смещенная оценка);
- дисперсия: 5.985749E-06 (несмещенная оценка);
- среднеквадратическое отклонение: 0.0024282523 (смещенная оценка);
- среднеквадратическое отклонение: 0.0024465789 (несмещенная оценка);
- асимметрия: 1.716893029;
- эксцесс: 5.1325565257;
- коэффициент вариации: 0.5685771393;
- сумма: 0.2883;
- сумма квадратов отклонений от среднего: 3.950594E-04

- сумма квадратов: 0.00163561
- автокорреляция 1-го порядка: 0.2528151596.

Концентрация продуктов износа (Fe) подчиняется нормальному закону распределения (представлена на рисунке 4.32), где средняя величина составляет 0,004%.

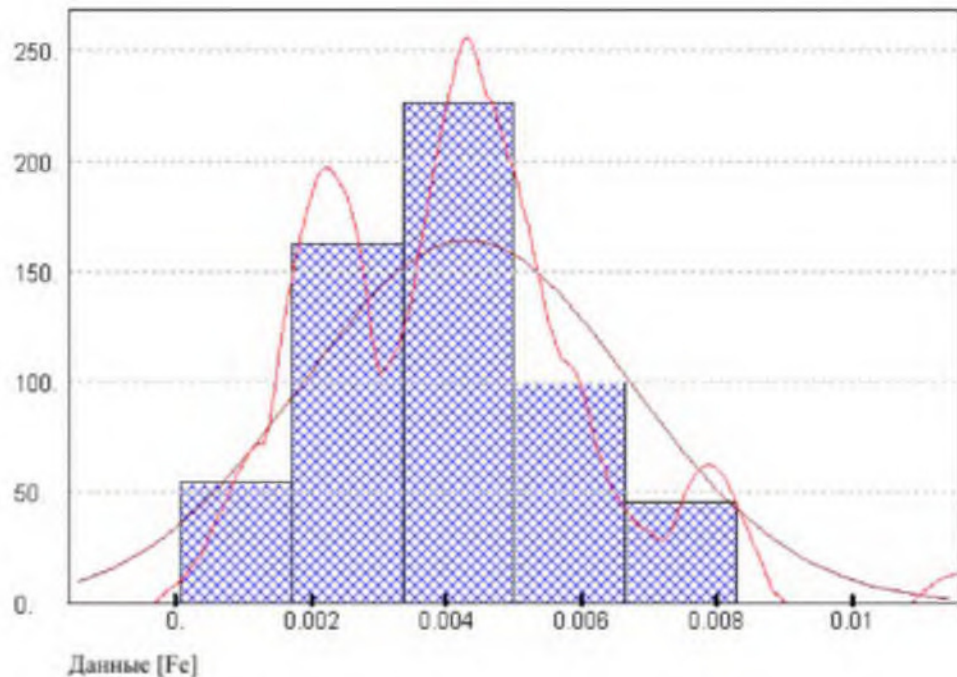


Рисунок 4.32 – Изменение переменной железа (Fe) процентах (%)

При определении переменной наличия свинца (Pb) оценивалось на результатах 67 проб:

- минимальное значение (Pb): 5.E-04%;
- максимальное значение (Pb) : 0.0035%;
- среднее значение (Pb): 0.0011597015%;
- медиана: 0.001;
- дисперсия: 3.773313E-07 (смещенная оценка);
- дисперсия: 3.830484E-07 (несмещенная оценка);
- среднеквадратическое отклонение: 6.142729E-04 (смещенная оценка);
- среднеквадратическое отклонение: 6.18909E-04 (несмещенная оценка);
- асимметрия: 2.0112469894;
- эксцесс: 4.4520199636;

- коэффициент вариации: 0.533679606;
- сумма: 0.0777;
- сумма квадратов отклонений от среднего: 2.528119E-05;
- сумма квадратов: 1.1539E-04;
- автокорреляция 1-го порядка: 0.5924415494

При определении переменной наличия алюминия (Al) оценивалось на результатах 67 проб:

- минимальное значение (Al): 2.E-04%;
- максимальное значение (Al): 0.0015%;
- среднее значение (Al): 6.462687E-04%;
- медиана: 6.E-04;
- дисперсия: 6.696369E-08 (смещенная оценка);
- дисперсия: 6.797829E-08 (несмещенная оценка);
- среднеквадратическое отклонение: 2.587734E-04 (смещенная оценка);
- среднеквадратическое отклонение: 2.607265E-04 (несмещенная оценка);
- асимметрия: 0.9367761778;
- эксцесс: 1.0084158762;
- коэффициент вариации: 0.4034335626;
- сумма: 0.0433;
- сумма квадратов отклонений от среднего: 4.486567E-06;
- сумма квадратов: 3.247E-05;
- автокорреляция 1-го порядка: -0.0531717659

При определении переменной наличия хрома (Cr) оценивалось на результатах 67 проб:

- минимальное значение (Cr): 1.E-05%;
- максимальное значение (Cr): 9.E-04%;
- среднее значение (Cr): 2.852239E-04%;
- медиана: 3.E-04;
- дисперсия: 1.999211E-08 (смещенная оценка);
- дисперсия: 2.029502E-08 (несмещенная оценка);

- среднее квадратическое отклонение: $1.413935E-04$ (смещенная оценка);
- среднее квадратическое отклонение: $1.424606E-04$ (несмещенная оценка);
- асимметрия: 1.3527656372 ;
- эксцесс: 3.7052005539 ;
- коэффициент вариации: 0.4994694268 ;
- сумма: 0.01911 ;
- сумма квадратов отклонений от среднего: $1.339471E-06$;
- сумма квадратов: $6.7901E-06$;
- автокорреляция 1-го порядка: 0.4253322388 .

При определении переменной наличия меди (Cu) оценивалось на результатах 67 проб:

- минимальное значение (Cu): $1.E-04$ %;
- максимальное значение (Cu): 0.0064 %;
- среднее значение (Cu): 0.0010283582 %;
- медиана: $8.E-04$;
- дисперсия: $1.25427E-06$ (смещенная оценка);
- дисперсия: $1.273274E-06$ (несмещенная оценка);
- среднее квадратическое отклонение: 0.0011199422 (смещенная оценка);
- среднее квадратическое отклонение: 0.0011283947 (несмещенная оценка);
- асимметрия: 3.3024084609 ;
- эксцесс: 11.531479148 ;
- коэффициент вариации: 1.0972778381 ;
- сумма: 0.0689 ;
- сумма квадратов отклонений от среднего: $8.403612E-05$;
- сумма квадратов: $1.5489E-04$;
- автокорреляция 1-го порядка: 0.1823356196 .

При определении переменной наличия олова (Sn) оценивалось на результатах 67 проб:

- минимальное значение (Sn): $6.E-05$ %;
- максимальное значение (Sn): $8.E-04$ %;

- среднее значение (Sn): 1.776119E-04%;
- медиана: 1.E-04;
- дисперсия: 2.26331E-08 (смещенная оценка);
- дисперсия: 2.297603E-08 (несмещенная оценка);
- среднеквадратическое отклонение: 1.50443E-04 (смещенная оценка);
- среднеквадратическое отклонение: 1.515785E-04 (несмещенная оценка);
- асимметрия: 1.7358216825;
- эксцесс: 3.4184599898;
- коэффициент вариации: 0.8534249319;
- сумма: 0.0119;
- сумма квадратов отклонений от среднего: 1.516417E-06;
- сумма квадратов: 3.63E-06;
- автокорреляция 1-го порядка: 0.2677954519.

При определении переменной наличия молибдена (Mo) оценивалось на результатах 67 проб:

- минимальное значение (Mo): 3.E-04%;
- максимальное значение (Mo): 4.E-04%;
- среднее значение (Mo): 3.522388E-04%;
- медиана: 4.E-04;
- дисперсия: 2.494988E-09 (смещенная оценка);
- дисперсия: 2.532791E-09 (несмещенная оценка);
- среднеквадратическое отклонение: 4.994985E-05 (смещенная оценка);
- среднеквадратическое отклонение: 5.032684E-05 (несмещенная оценка);
- асимметрия -0.0896421457;
- эксцесс: -1.9919642857;
- коэффициент вариации: 0.1428770392;
- сумма: 0.0236;
- сумма квадратов отклонений от среднего: 1.671642E-07;
- сумма квадратов: 8.48E-06;
- автокорреляция 1-го порядка: -0.0618603412.

Концентрация продуктов износа алюминия (Al), хрома (Cr), свинца (Pb), меди (Cu), олова (Sn), молибдена (Mo) так же как и железа подчиняется нормальному закону распределения и не выходят за рамки значения предельного состояния.

4.4.2 Динамика изменения параметров работающих масел

Изменение вязкости работающих масел

На рисунке 4.33 представлены результаты оценки вязкости работающих масел. Данные получены с использованием методики определения динамической вязкости на ротационном вискозиметре Reomatc с последующим пересчетом в кинематическую через плотность. Расчет предела воспроизводимости для двух альтернативных методов определения кинематической вязкости при 100 °С был представлен специалистами ЦБЛ ИЭВЦ и приведен в приложениях. Анализ полученных результатов с учетом полученного отклонения воспроизводимости 4,27 сСт показал, что использование данной методики для определения соответствия полученных значений обозначенному интервалу допустимых значений нецелесообразно.

В связи с этим были осуществлены повторные измерения (рисунок 4.34) данного параметра по методике ГОСТ 33–2000, полученные данные представлены на рисунке 4.35.

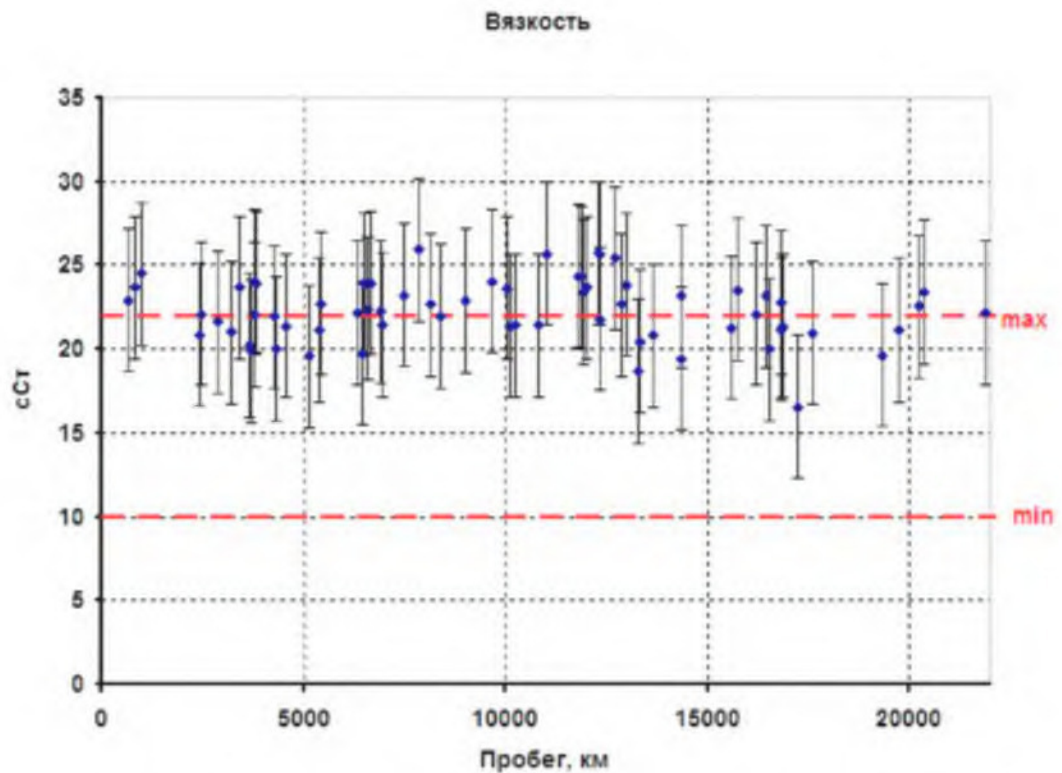


Рисунок 4.33 – Полученные значения кинематической вязкости работающих масел при 100 °С



Рисунок 4.34 – Замер кинематической вязкости по ГОСТ 33-2000

Результаты показали, что при эксплуатации технически исправных автомобилей настоящий параметр масла сохраняет значения в пределах допустимого интервала в течение всего ресурса работы масла.

Изменение вязкости

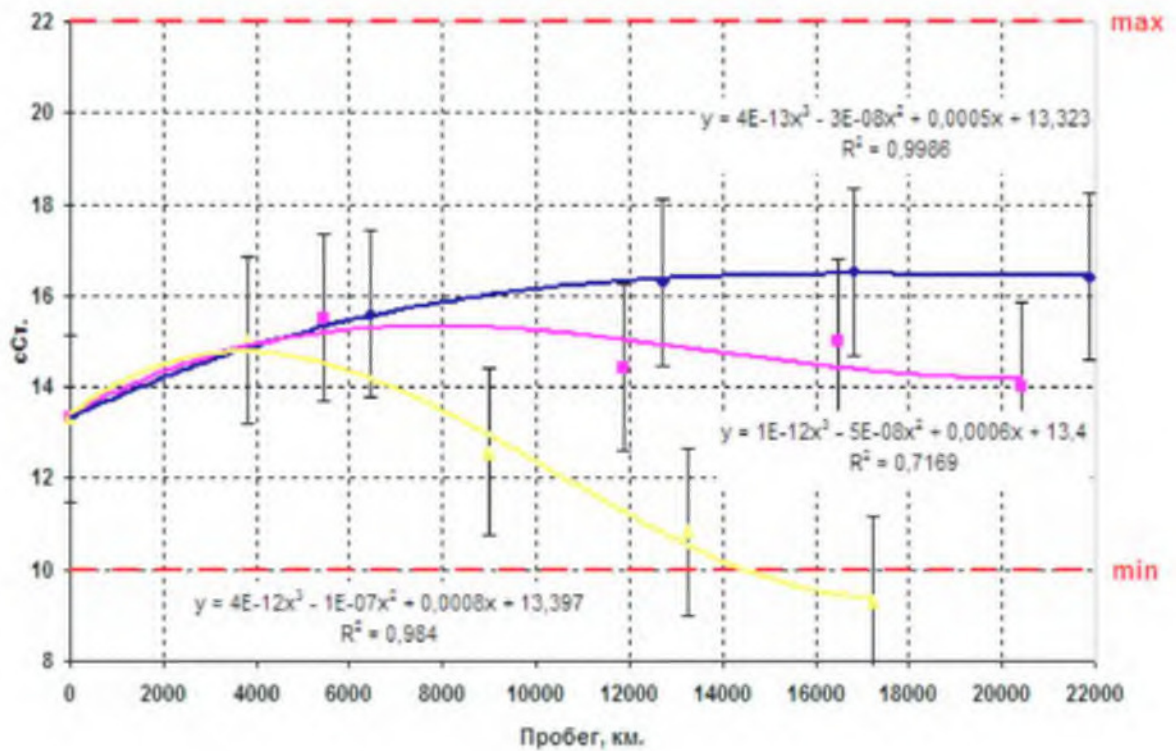


Рисунок 4.35 – Изменение кинематической вязкости

В случае попадания топлива вязкость масла может существенно снижаться и значительно раньше достигать предельных значений.

Полученные данные об изменении температуры вспышки в открытом тигле свидетельствует о том, что данный параметр также не лимитирует работоспособность масла. Однако снижение значений является показателем попадания легкоиспаряющихся фракций топлива в масло, что, как уже отмечалось, в больших количествах может существенно изменять свойства масла и скорость старения и тем самым оказывать непосредственное влияние на ресурс его работы. Известно, что при работе двигателя на рабочем режиме происходит испарение топлива из масла, но это не исключает негативного воздействия этого фактора. На подконтрольной технике температура вспышки в открытом тигле находилась в допустимых пределах, как представлено на рисунке 4.36.

Полученные данные показывают, что в течение рассмотренной наработки не происходит достижения установленных предельных значений изменения параметров кислотного и щелочного чисел. Выравнивание (так называемый баланс) кислотного и щелочного числа принимается за критерий

работоспособности моторного масла в ряде источников, например [16], как представлено на рисунке 4.37 а.

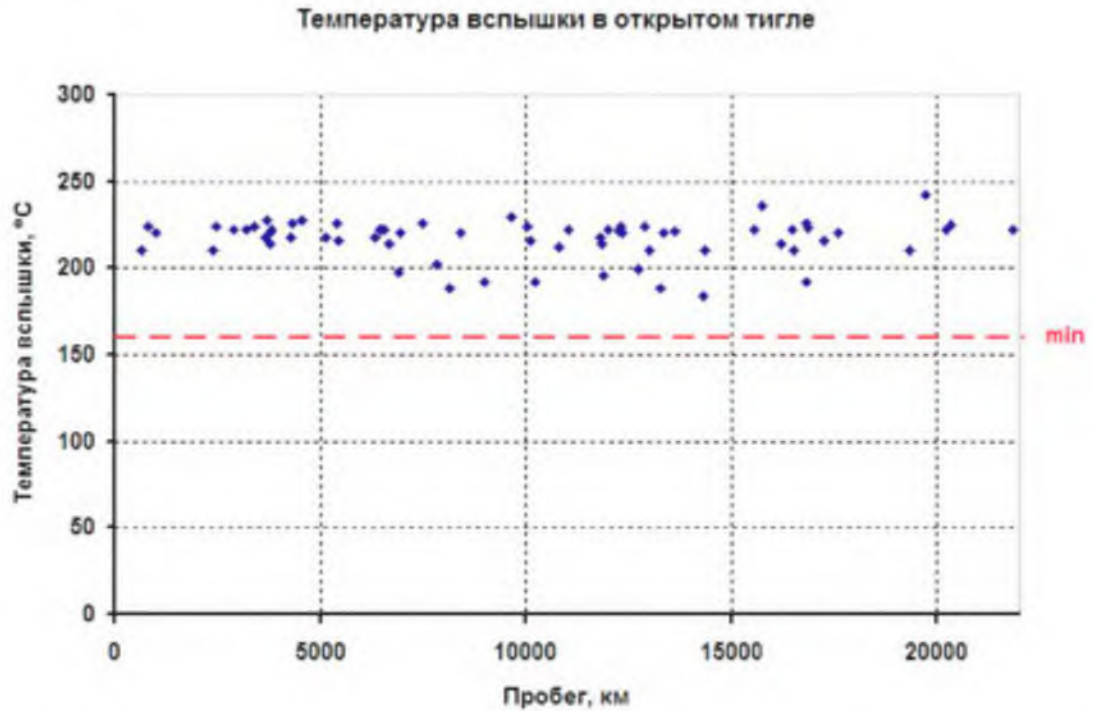


Рисунок 4.36 – Полученные значения температуры вспышки в открытом тигле

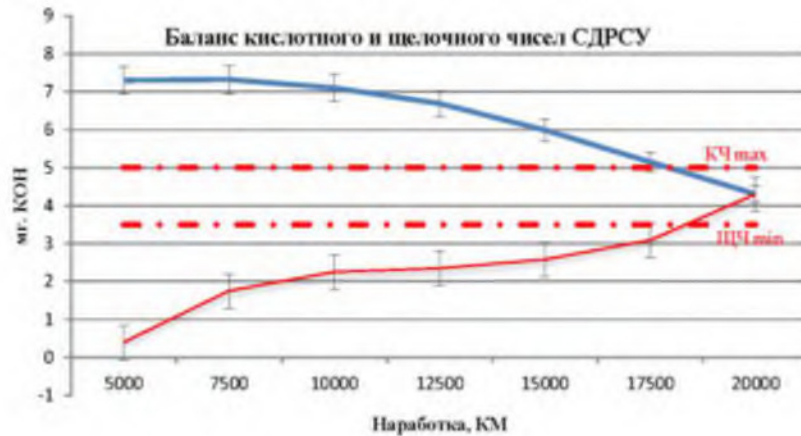
На основе обработки полученных данных можно заключить, что в данных условиях эксплуатации баланс кислотного и щелочного чисел происходит ориентировочно в интервале от 20 до 27 тыс. км пробега (рисунок 4.37 б).

Вода, попадая в моторные масла, инициирует целый ряд процессов, негативно сказывающихся на эксплуатационных свойствах масел. К наиболее серьезным из них относятся: потеря коллоидной стабильности присадок, водородное охрупчивание поверхностей трения, развитие процессов электрохимической коррозии. Результаты анализов и визуальных наблюдений свидетельствуют о присутствии воды в моторном масле, что может быть следствием несоблюдения тепловых режимов работы двигателей.

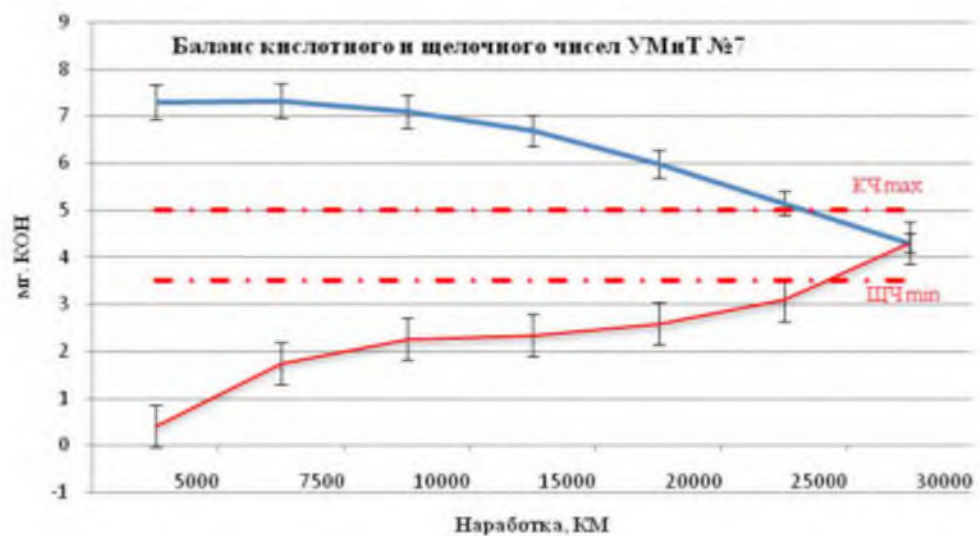
Как известно, этот фактор способен существенно ухудшать свойства масла, снижать ресурс его работы и надежность силовых установок в целом.

На основе обработки полученных данных можно сделать заключение о том, что в испытуемых образцах моторных масел присутствует вода (рисунок 4.38).

При эксплуатации техники в условиях низких температур в моторном масле может накапливаться до 3,5% воды, которая поступает в моторное масло за счет конденсации паров на холодных деталях двигателя и на самом холодном моторном масле.



а)



б)

Рисунок 4.37 – Полученные значения изменения щелочного и кислотного чисел работающего масла для: а) УМиТ №7; б) СДРСУ

По мере нагрева как моторного масла и охлаждающей жидкости, так и деталей двигателя вода испаряется, и моторное масло восстанавливает свои свойства. Поэтому принятое содержание воды в моторном масле до 0,3% может быть уменьшено в процессе работы двигателя внутреннего сгорания, вплоть до полного его отсутствия.

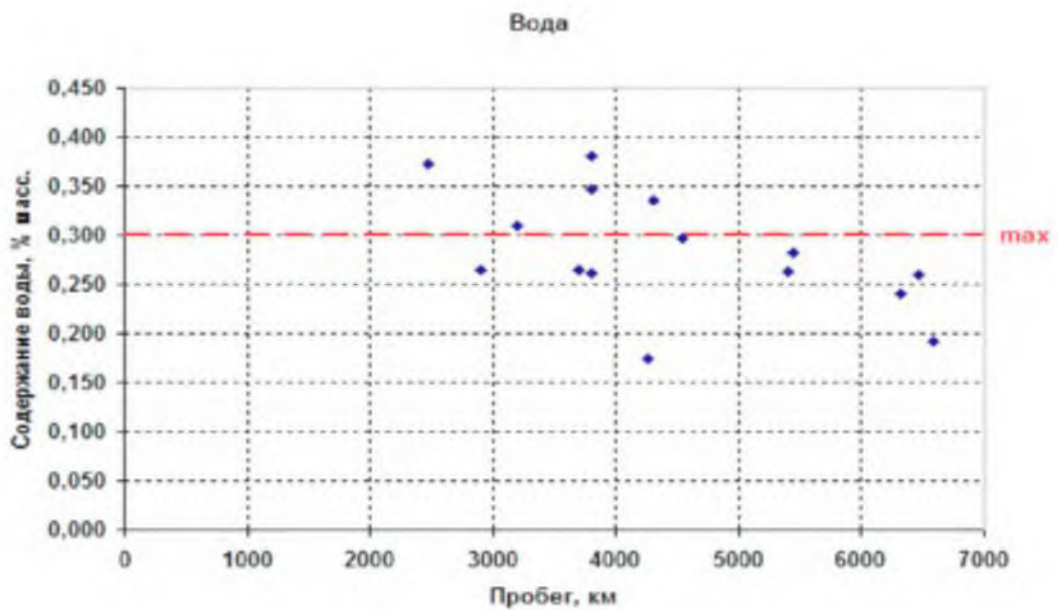


Рисунок 4.38 – Полученные значения содержания воды в работающих маслах

Данные, полученные по накоплению механических примесей в работающих маслах, представлены на рисунке 4.39.

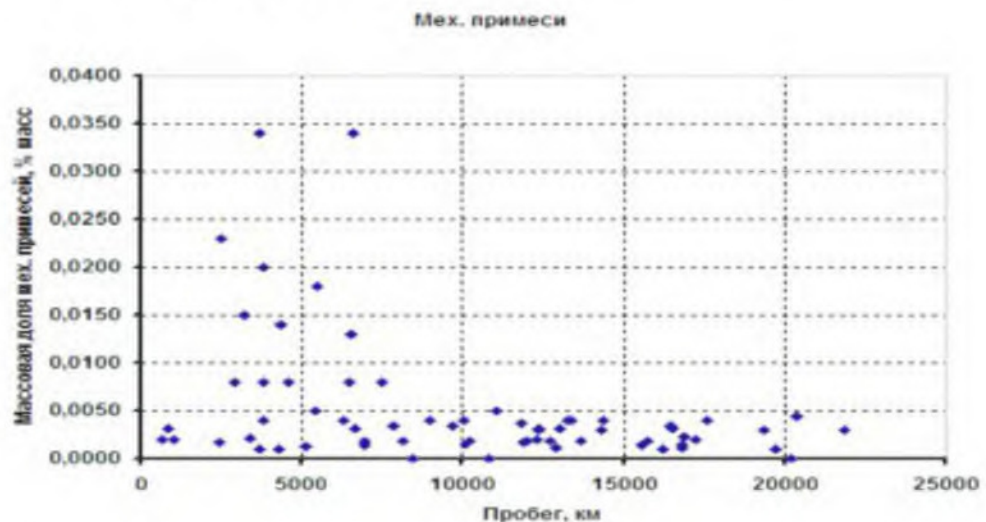


Рисунок 4.39 – Полученные значения содержания механических примесей в работающих маслах

Результаты определения содержания продуктов износа и загрязнений (Fe, Pb, Cr, Cu, Al, Si) в работающих маслах методом рентгенфлуоресцентной волнодисперсионной спектроскопии представлены на рисунках 4.41, 4.42, 4.43, 4.44, 4.45, 4.46. Спектрометрический анализ позволяет эффективно оценить не

только содержание продуктов износа в маслах, но и элементов присадок (рисунки 4.44, 4.45, 4.46, 4.47.).

В данной работе измерения производились при помощи спектрометра AxiosPV 4400 с использованием аналитических кристаллов на основе лития и фтора (рисунок 4.40).

Железо является основой всех стальных и чугуновых деталей, поэтому в работавшем масле и в отложениях оно содержится в значительных количествах. Резкое увеличение количества железа в масле обычно свидетельствует об износе цилиндров, колец, кулачков или толкателей. По результатам оценки содержания железа невозможно различить износ конкретного узла.

Полученные результаты по содержанию железа (рисунок 4.14) позволяют спрогнозировать установленную предельную концентрацию Fe при наработке (пробеге) от 18 до 28 тыс. км.



Пределы обнаружения:

- диапазон элементов: от Бериллия (Be) до Урана (U);
- пределы измерений: от долей ppm до 100%.

Рентгеновская трубка:

- новая рентгеновская трубка с уникальными возможностями;
- максимальный анодный ток: **Axios** - 100 mA, **Axios Advanced** - 160 mA;
- напряжение: **Axios** - 60 kV, **Axios Advanced** - 66 kV;
- мощность: **Axios** - 2.4 kW, **Axios Advanced** - 4 kW.

Гониометр:

- скорость сканирования: от 0,001 до 2 градусов 2θ в секунду;
- скорость поворота: 40 градусов 2θ в секунду;
- точность установки угла: 0,0025 градуса;
- воспроизводимость установки угла: 0,0001 градуса.

Рисунок 4.40 – Внешний вид спектрометра AxiosPV 4400 и его основные технические характеристики

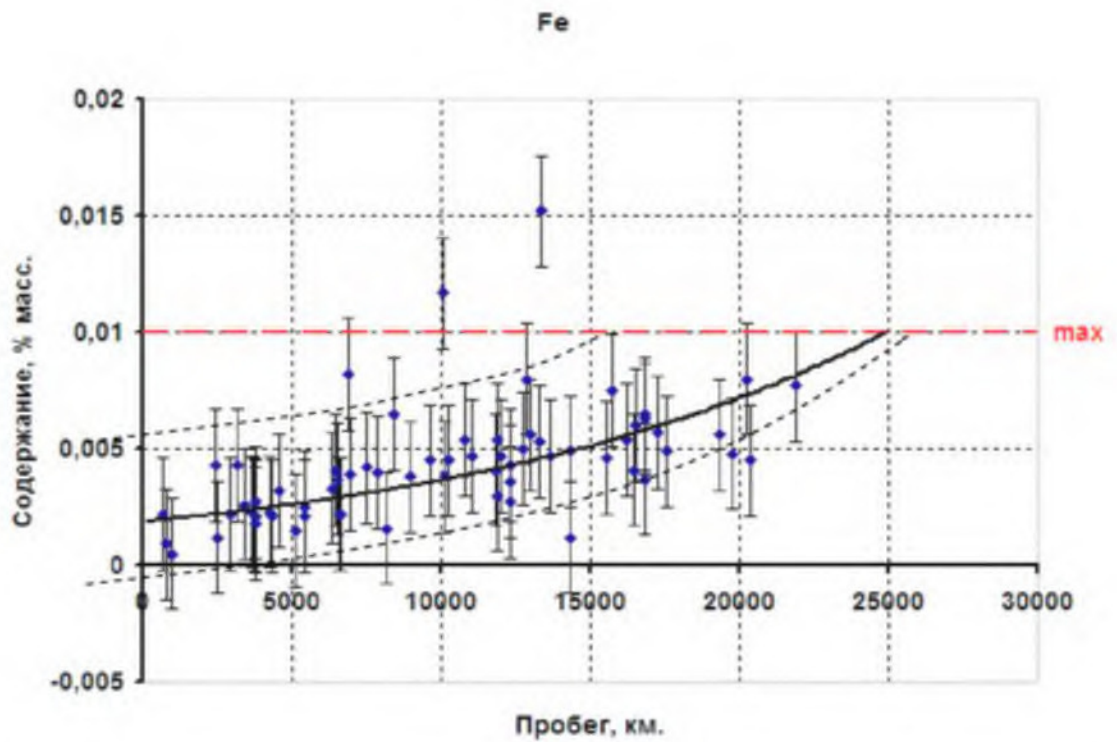


Рисунок 4.41 – Изменение содержания железа (Fe) в работающих маслах в процессе эксплуатации

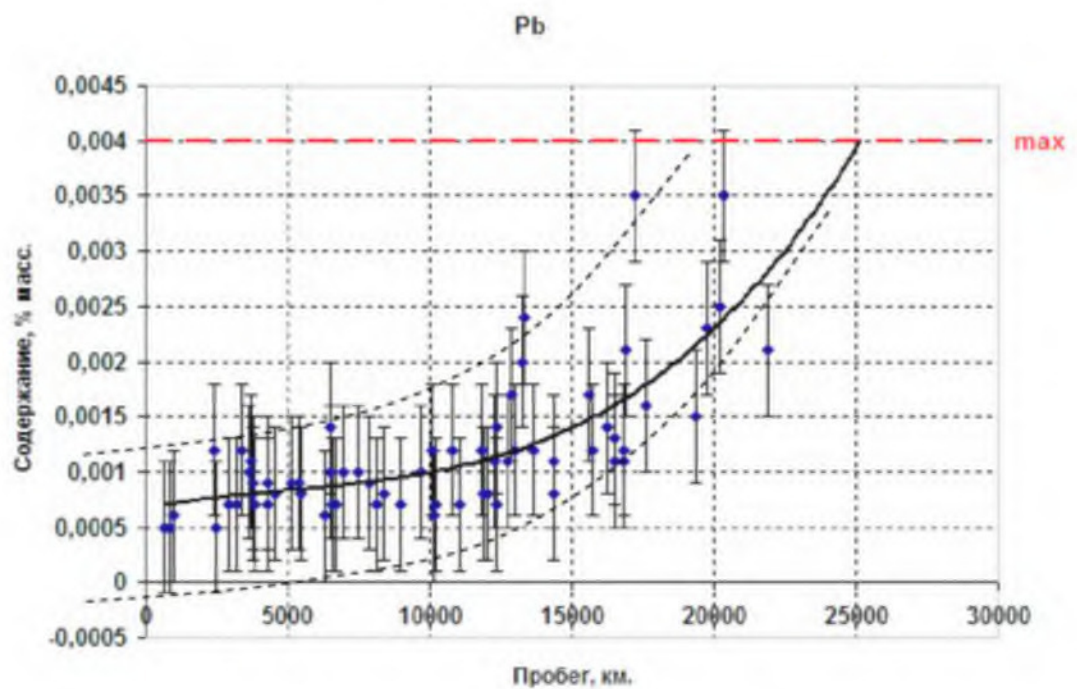


Рисунок 4.42 – Изменение содержания свинца (Pb) в работающих маслах в процессе эксплуатации

Полученные результаты по содержанию свинца позволяют спрогнозировать установленную предельную концентрацию Pb при наработке (пробеге) от 22 до 28 тыс. км (рисунок 4.42).

Хром может попасть в моторное масло двумя путями: первый – наличие течей в системе охлаждения, если в охлаждающую жидкость добавлен ингибитор коррозии, второй – накопление продуктов износа.

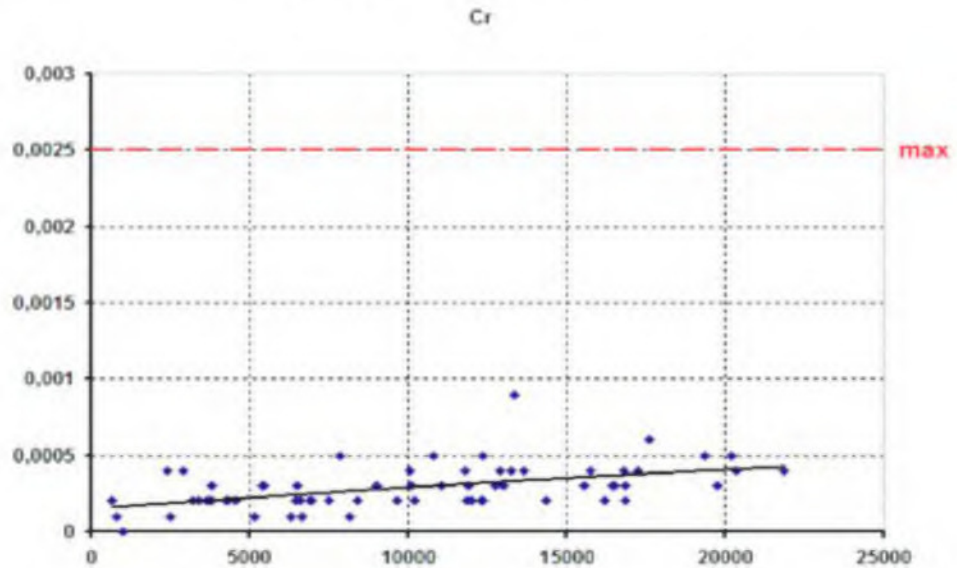


Рисунок 4.43 – Изменение содержания хрома (Cr) в работающих маслах в процессе эксплуатации

Повышенное содержание хрома в масле может быть также обусловлено износом поршневых колец, что приводит к интенсивному накоплению отложений в картерном пространстве и расходу масла на угар. Анализ полученных данных позволяет заключить, что полученная динамика накопления хрома в масле обеспечивает запас работоспособности по этому параметру до достижения установленного предельного значения (рисунок 4.43).

Медь служит основным компонентом подшипниковых сплавов – бронз. Высокое содержание меди в масле может быть признаком износа подшипников. Медь входит в состав металлов, используемых для изготовления многих деталей и узлов дизельных двигателей. Анализ полученных данных показал запас работоспособности масла по этому параметру до достижения установленного предельного значения (рисунок 4.44).

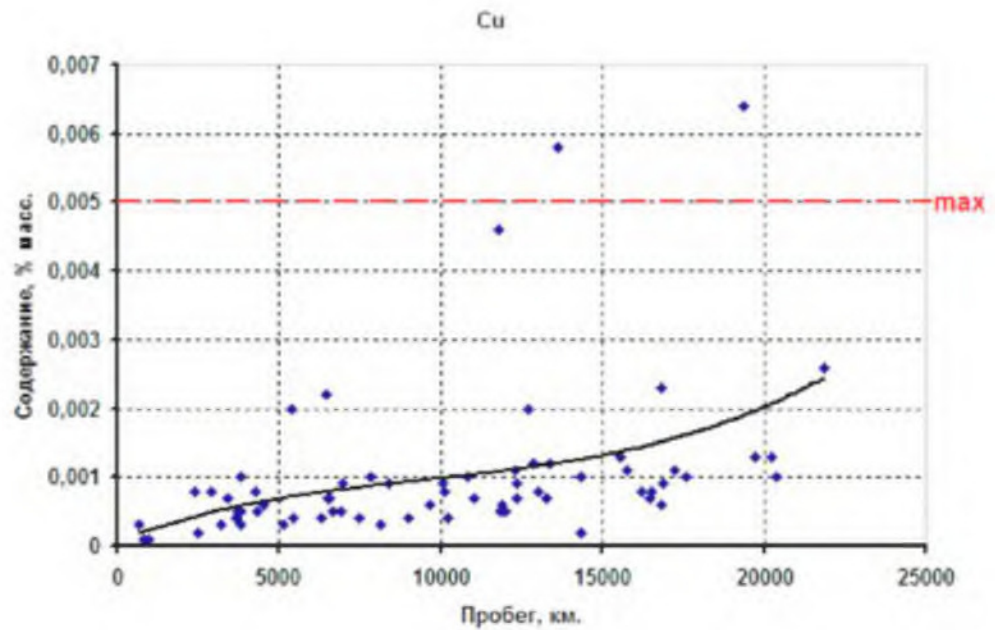


Рисунок 4.44 – Изменение содержания меди (Cu) в работающих маслах в процессе эксплуатации

Аналогичные выводы получены по данным содержания алюминия (рисунок 4.45), а также никеля и молибдена (концентрации на границе предела определения), что позволяет сделать вывод о низком содержании данных примесей в испытуемых образцах масел.

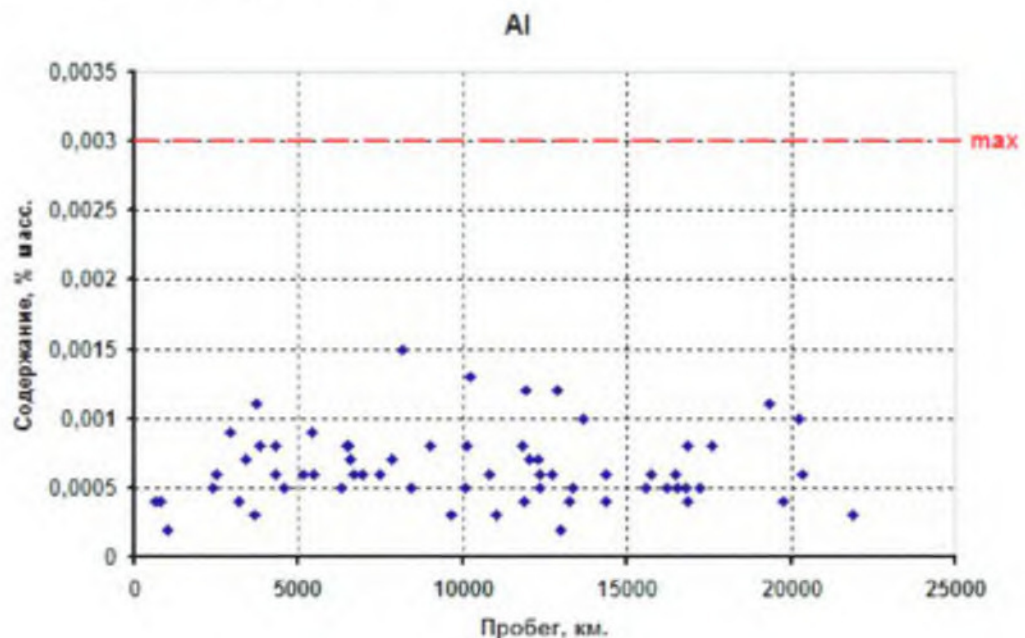


Рисунок 4.45 – Изменение содержания алюминия (Al) в работающих маслах в процессе эксплуатации

Кремний – один из показателей (вместе с алюминием), характеризующий эффективность работы системы очистки воздуха. Также кремний содержится в свежих маслах как элемент, входящий в состав антипенной присадки. Повышенное содержание кремния может свидетельствовать о неудовлетворительном состоянии фильтрующих элементов очистки воздуха, а также о несоблюдении правил промышленной чистоты при использовании масел. Результаты представлены на рисунке 4.46.

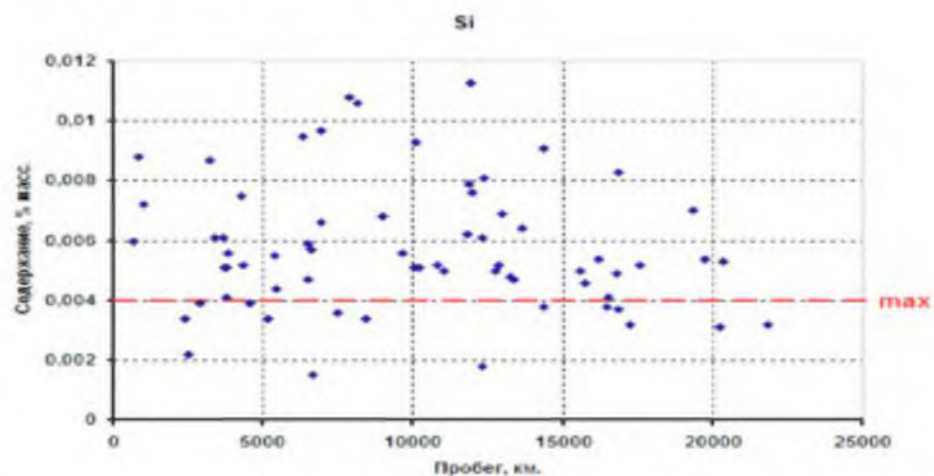


Рисунок 4.46 – Изменение содержания кремния (Si) в работающих маслах в процессе эксплуатации

На основании значительных отклонений полученных значений содержания металлов присадок от нормативных (рисунки 4.47, 4.48, 4.49, 4.50) при одновременном соответствии нормативным значениям свойств масел, обеспечиваемых этими присадками, можно сделать предположение о возможно недостаточно точной калибровке оборудования по этим элементам. Предположение может быть опровергнуто или подтверждено на основании повторной оценки данных параметров на заведомо точно откалиброванной установке.

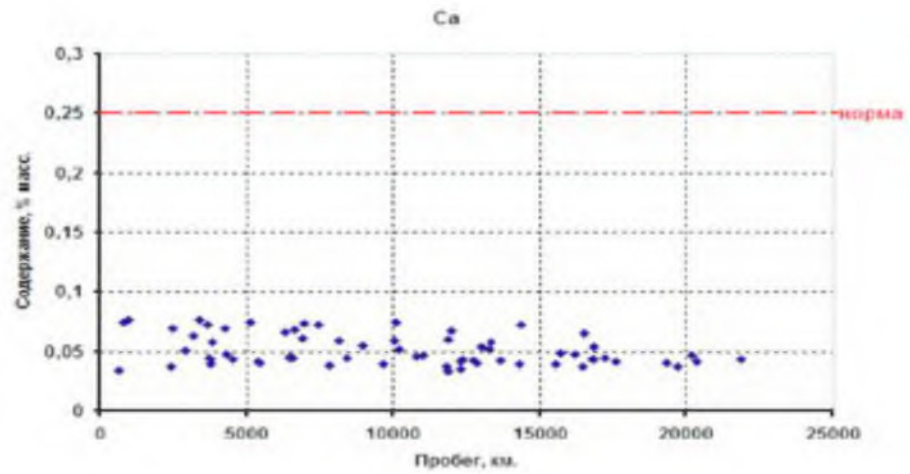


Рисунок 4.47 – Изменение содержания кальция (Ca) в работающих маслах в процессе эксплуатации

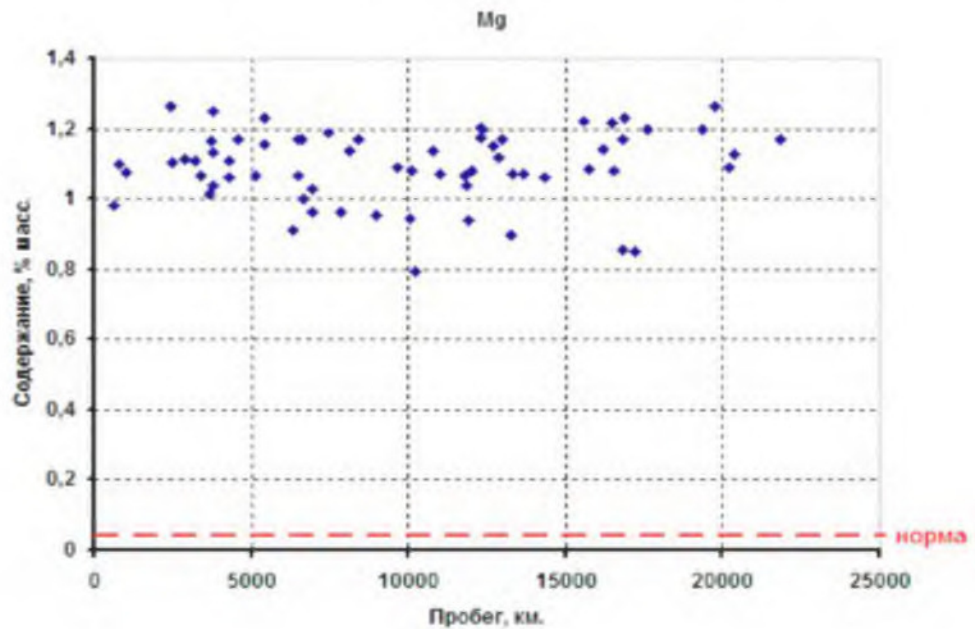


Рисунок 4.48 – Изменение содержания магния (Mg) в работающих маслах в процессе эксплуатации

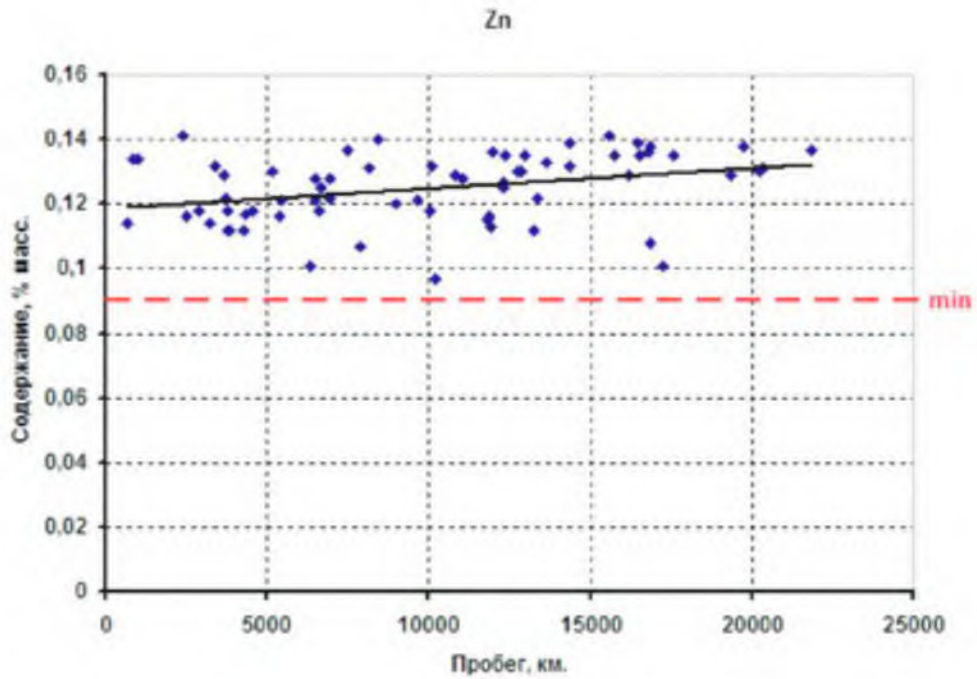


Рисунок 4.49 – Изменение содержания цинка (Zn) в работающих маслах в процессе эксплуатации

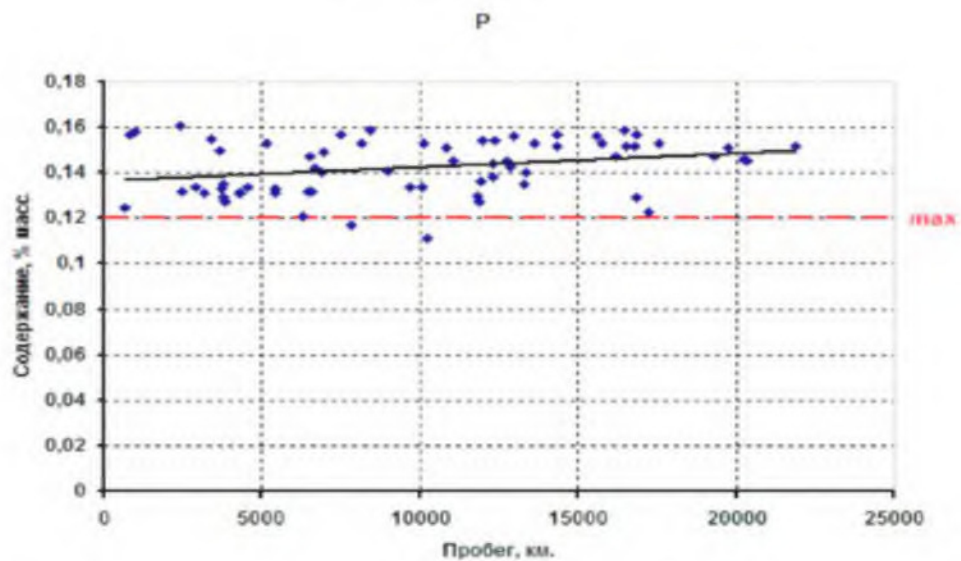


Рисунок 4.50 – Изменение содержания фосфора (P) в работающих маслах в процессе эксплуатации

В качестве результатов оценки накопления отложений в роторах фильтров центробежной очистки масла были получены следующие закономерности, отражающие динамику накопления отложений в интервале рассмотренной наработки (рисунок 4.51). На рисунках 4.52, 4.53, 4.54 представлены зависимости: содержания кальция от содержания кислорода в отложениях, массы накопленных отложений от содержания серы в отложениях, содержания продуктов износа от

содержания серы в отложениях. Полученные закономерности подтверждают влияние топлива и воды в масле на скорость накопления отложений и их состав.

Накопление отложений в роторе центрифуги

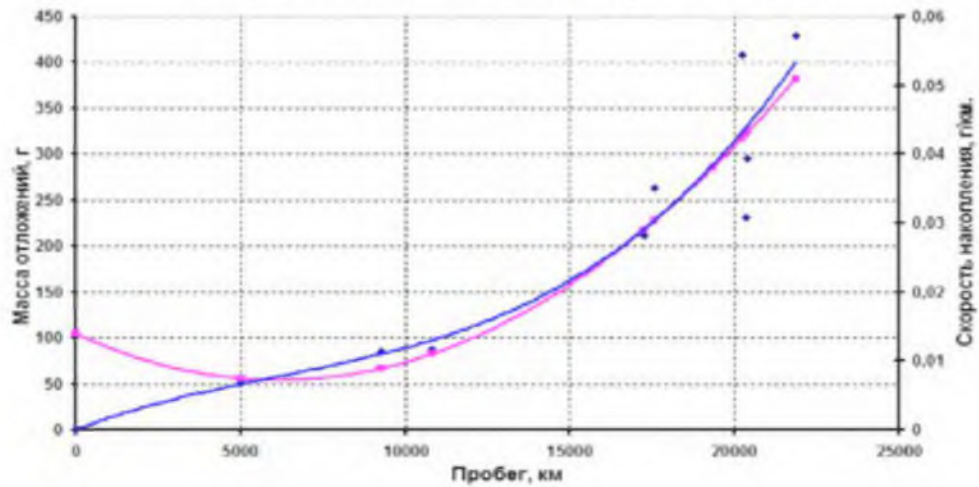


Рис. 4.51. Накопление отложений и изменение скорости накопления в исследованном интервале наработки

Присутствие кислорода в отложениях может свидетельствовать о наличии в отфильтрованных продуктах топлива воды или продуктов ее взаимодействия с присадками, или продуктами старения масла. Гипотеза о влиянии воды на коллоидную стабильность щелочной (диспергирующей) присадки подтверждается увеличением концентрации кальция в отложениях с большим содержанием кислорода, т.е., по сути, фильтр центробежной очистки улавливает образовавшиеся шламы, содержащие моющую присадку.

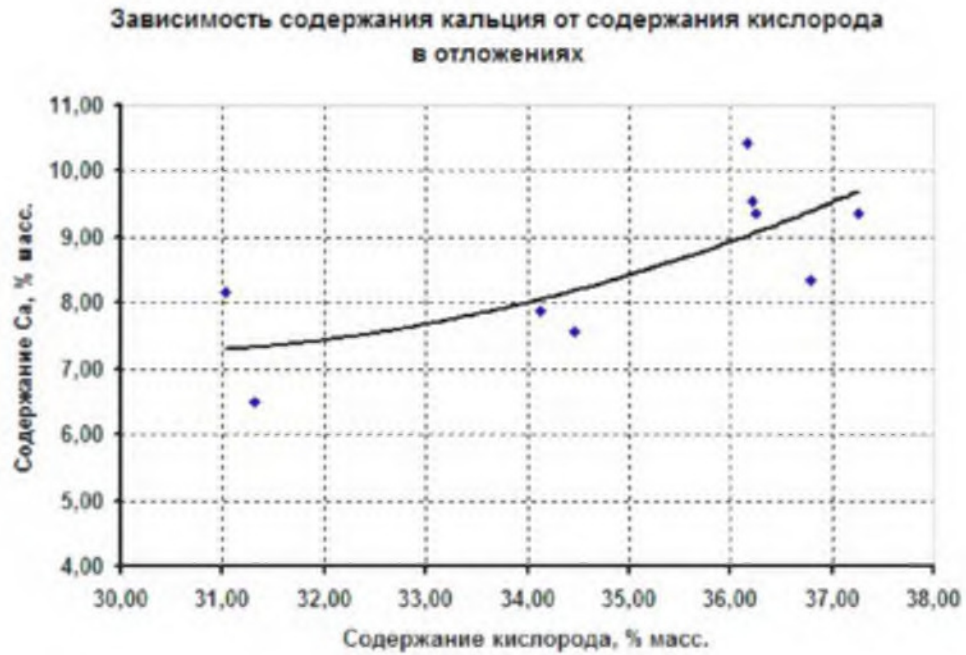


Рисунок 4.52 – Зависимость содержания кальция от содержания кислорода в отложениях

Наличие серы в отфильтрованных отложениях свидетельствует о попадании топлива или продуктов его неполного сгорания в масло. Таким образом, количество топлива и продуктов его неполного сгорания оказывают влияние на интенсивность образования загрязнений в масле (рисунок 4.26). Топливо ускоряет процессы образования кислых продуктов в масле, то есть масло интенсивнее окисляется, а продукты окисления, являясь загрязнениями, в дальнейшем отфильтровываются.

Однако интересно, что содержание продуктов износа с увеличением серы в отложениях уменьшается (рисунок 4.26), это говорит о том, что отфильтровывается большая часть продуктов неполноты сгорания топлива (сажа) и продуктов окисления масла.

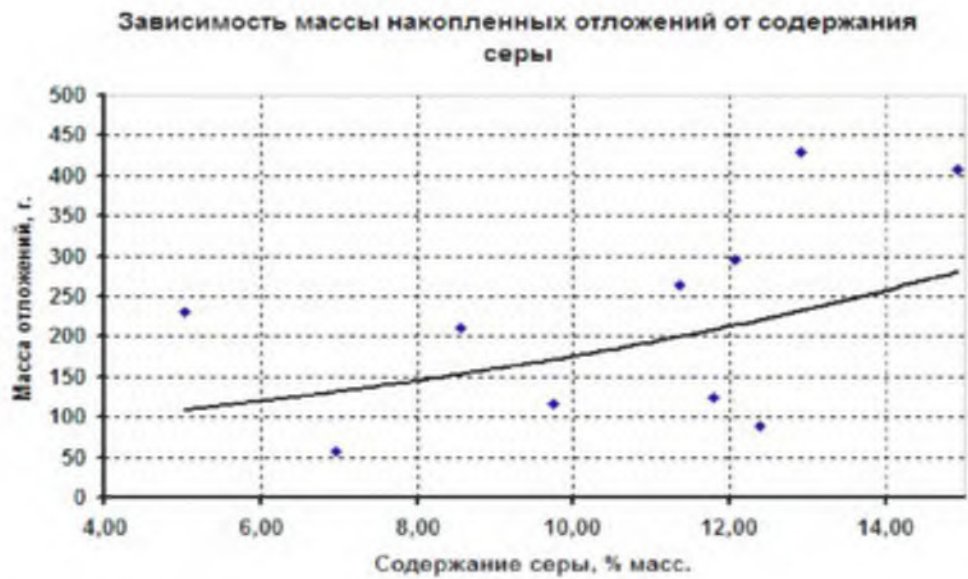


Рисунок 4.53 – Зависимость массы накопленных отложений от содержания серы в отложениях

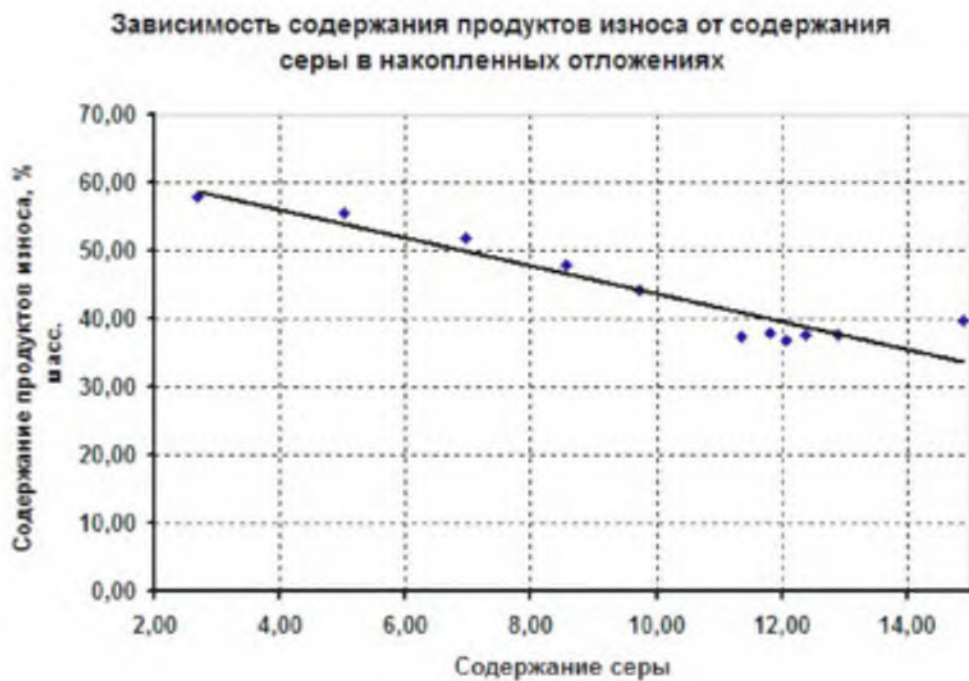


Рисунок 4.54 – Зависимость содержания продуктов износа от содержания серы в отложениях

Выводы по главе 4

1. На основе проведенного анализа можно заключить, что для оценки работоспособности масла в эксплуатации целесообразно контролировать следующие параметры: вязкость кинематическую, температуру вспышки, щелочное и кислотное числа, содержание воды, механические примеси, содержание элементов-индикаторов присадок (Ca, Mg, P, Zn), продуктов износа (Fe, Pb, Cu, Cr, Al, Si). Для условий эксплуатации в зимнее время наиболее значимым показателем, лимитирующим работоспособность моторного масла, является щелочное число, как наиболее быстро достигающее предельного значения.

2. В рамках проведенных испытаний в подразделениях ОАО «Сургутнефтегаз» (ДРСУ г.Сургут, УМиТ-7 СМТ-1) моторного масла «Экойл-Турбодизель» SAE 10W40 CF-4/SG по ТУ 0253-009-39968232-07 при использовании в двигателях ЯМЗ 7511.10, установленных на седельных тягачах МАЗ 642208, работающих в составе с полуприцепами-самосвалами проведена оценка изменения параметров двигателей и работающего масла с целью определения ресурса работоспособности масла в различных условиях испытаний.

3. Анализ полученных данных показал, что на основе динамики изменения параметров работающего масла (кинематическая вязкость при 100°C, температура вспышки в закрытом тигле, щелочное число, кислотное число, содержание продуктов износа) и установленных предельных значений можно заключить, что ресурс работы масла определяется следующими параметрами: вязкость кинематическая (при попадании топлива в масло падение вязкости до 10 сСт), изменение щелочного и кислотного чисел (достижение баланса – 18 – 20 тысяч км пробега для СДРСУ и 26 – 28 тыс. км для УМиТ-7 именно это является наиболее значимым показателем).

5 ТЕХНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ экспериментальных данных, проведенный в рамках эксплуатационных испытаний, позволяет утверждать, что критическое состояние моторного масла при его использовании в условиях ОАО «Сургутнефтегаз», достигается при пробеге техники около от 18 000 до 28 000 км в зависимости от условий эксплуатации.

Полученные значения критической наработки позволяют произвести расчет корректирующего коэффициента, определяющего пробеги до замены масел у автомобилей в условиях разных подразделений предприятия «Сургутнефтегаз».

5.1 Корректирование нормативов с учетом конкретных условий эксплуатации подвижного состава

В нормативно-технической документации обычно принимаются некоторые усредненные условия эксплуатации. Если реальные условия эксплуатации автомобилей совпадают с описанными в документации, то корректирования периодичности технического обслуживания не производится. В случае отличия условий применяется корректирование.

Различают два вида корректирования нормативов периодичности технического обслуживания и ремонта: ресурсный и оперативный.

Ресурсный вид корректирования служит для корректирования нормативов технического обслуживания и ремонта автомобилей в соответствии с условиями эксплуатации: природно-климатическими условиями и пробегом автомобиля с начала эксплуатации, модификацией подвижного состава, категорией условий эксплуатации. Каждое из условий учитывается соответствующим коэффициентом.

Второй вид корректирования осуществляется на предприятии, его целью является повышение работоспособности автомобилей путем изменения состава

операций технического обслуживания с учетом конструкции автомобилей, условий их работы и особенностей данного автотранспортного предприятия.

По данным табл.2.7 [89] выбираем III категорию условий эксплуатации.

Из приложения 11 [89]: холодный климатический район для города Сургут.

Для коррекции нормативов согласно конкретным условиям используют результирующие коэффициенты корректирования, определяемые следующим образом:

- для периодичности ТО:

$K_1 = 0,8$ (предусматривает категорию условий эксплуатации автомобилей);

$K_3 = 0,9$ (учитывает природно-климатические условия эксплуатации);

$$K_{рез} = K_1 \cdot K_3 = 0,8 \cdot 0,9 = 0,72. \quad (5.1)$$

Коэффициент корректирования периодичности технического обслуживания для условий районов крайнего севера город Сургут составляет 0,72.

5.2. Определение расчетных пробегов до технического обслуживания

Определяем расчетные пробеги.

$$L_i = L_i^H \cdot K_{рез} = L_i^H \cdot K_1 \cdot K_3, \quad (5.2)$$

где L_i – расчетный пробег до i -го обслуживания, км;

L_i^H – нормативная периодичность технического обслуживания i -го вида, км.

В соответствии с инструкцией по эксплуатации двигателей ЯМЗ 7511.10 сроки проведения технического обслуживания установлены на уровне: для ТО-1 – 250 моточасов, ТО-2 – 1000 моточасов.

На основе информации об эксплуатации автомобилей МАЗ-642208 можно сделать вывод, что средняя эксплуатационная скорость для данной техники в подразделениях ОАО «Сургутнефтегаз» составляет:

- СДРСУ 337 км / 9 ч = 37,44 км/ч;
- УМиТ-7 262 км / 7 ч = 37,51 км/ч.

Поскольку полученные значения практически совпадают, для дальнейших расчетов примем среднюю эксплуатационную скорость на уровне 37,5 км/ч. Тогда пробеги до ТО-1 и ТО-2 соответственно составят

$$250 \text{ мч} \cdot 37,5 \text{ км/ч} = 9375 \text{ км}; \quad 1000 \text{ мч} \cdot 37,5 \text{ км/ч} = 37500 \text{ км}.$$

С учетом корректирующих коэффициентов, получим:

$$L_1 = L_{\text{ТО-1}}^n \cdot K_{\text{рез}} = 9375 \cdot 0,72 = 6750 \text{ км};$$

$$L_2 = L_{\text{ТО-2}}^n \cdot K_{\text{рез}} = 37500 \cdot 0,72 = 27000 \text{ км}.$$

Полученные значения нуждаются в дополнительной корректировке. Это связано с особенностями эксплуатации автомобилей в подразделениях ОАО «Сургутнефтегаз».

Как показали эксплуатационные испытания моторного масла, наработка на отказ его в условиях эксплуатации в указанных подразделениях находится в интервале от 18 000 до 27 000 км.

Таким образом, для повышения надежности техники рекомендовано введение коэффициента, учитывающего применение конкретного моторного масла, который можно определить из выражения

$$K_m = L_m / L_i, \quad (5.3)$$

где L_m – наработка на отказ моторного масла, по пробегу км;

L_i – пробег автомобиля до ТО, в соответствии с инструкцией по эксплуатации.

Для условий эксплуатации автомобилей подразделений и на основе проведенных эксплуатационных испытаний можно рекомендовать следующие значения корректирующего коэффициента K_m :

- для предприятий с нормальной эксплуатацией УМиТ-7 $K_m = 0,75$;
- для предприятий с интенсивной эксплуатацией СДРСУ $K_m = 0,48$.

Эти коэффициенты зависят от качества моторных масел. Тогда, на основе указанных рекомендаций, получим:

$$L_1' = L_1 \cdot K_m; \quad (5.4)$$

$$L_2' = L_2 \cdot K_m. \quad (5.5)$$

Вводя цифровые данные, получаем, что расчетные данные совпадают с данными полученными в ходе натурных испытаний при интенсивной и нормальной эксплуатации соответственно:

$$L_2^i = 37500 \times 0,75 = 28125 \text{ км.}$$

$$L_2^i = 37500 \times 0,48 = 18000 \text{ км.}$$

Согласно нормативам необходимо также производить корректировку расчетных пробегов по кратности между собой и среднесуточным пробегом l_{cc} . Это нужно сделать, ибо часть ЕО входит в ТО-1, а часть ТО-1 входит в ТО-2. Чтобы произвести дальнейшие расчеты, необходимо использовать расчетные значения, скорректированные по кратности.

Корректировка по кратности выполняется следующим образом:

$$L_1^P = l_{cc} \cdot n_1, \quad (5.6)$$

$$L_2^P = l_{cc} \cdot n_1 \cdot n_2. \quad (5.7)$$

где n_1, n_2 – коэффициенты кратности

$$n_1 = L_1 / l_{cc}; \quad (5.8)$$

$$n_2 = \frac{L_2}{l_{cc} \cdot n_1}. \quad (5.9)$$

Вывод: Кратность n_1 и n_2 зависят от пробегов автомобилей.

5.3. Диагностика технического состояния автомобилей

Согласно ОНТП-01-91 и Положению [89], диагностирование как отдельный вид обслуживания не планируется и работы по диагностированию автомобильной техники входят в объем предварительных работ по проведению ТО и ремонта.

Нужно учесть, что в соответствии с методом организации диагностирование автомобилей может производиться на отдельных постах или быть совмещено с работами технического обслуживания. Поэтому в данном случае производственная программа диагностических воздействий определяется для принятия решения по организации технологического процесса ТО и ТР с применением диагностирования подвижного состава.

На основе Положения предусматривается диагностирование автомобильной техники Д-1 и Д-2.

Диагностирование Д-1 необходимо в первую очередь для определения технического состояния агрегатов, узлов и систем автомобиля, которые обеспечивают безопасность движения. Диагностирование Д-1 проводится, как правило, с периодичностью ТО-1.

Учитывая назначение и организацию диагностирования Д-1, предусматривается для автомобилей при ТО-1, после ТО-2 (по узлам и системам, обеспечивающим безопасность движения, для проверки качества работ и заключительных регулировок) и при необходимости в ТР (по узлам, обеспечивающим безопасность движения).

Диагностирование Д-2 предназначено для определения мощностных и экономических показателей автомобиля, проводится при ТО-2, а также предназначено для выявления объемов работ по восстановлению работоспособности, производя текущий ремонт (ТР). Диагностирование Д-2 проводится с периодичностью ТО-2 и в отдельных случаях при проведении ТР.

Работы по диагностированию Д-1 проводятся на самостоятельных постах (линиях) или совмещаются с работами, выполняемыми на постах ТО. Диагностирование Д-2 обычно выполняется на отдельных постах.

При организации ТО-2 на отдельных универсальных постах, а ТО-1 – на поточной линии смазочные работы с учетом их специфики целесообразно выполнять на постах линии ТО-1, которая в период работы зоны ТО-2 обычно свободна, так как ТО-1 проводится во время нахождения автомобильного транспорта на АТП (в межсезонное время).

Выводы по главе 5

Данные расчётов подтверждают результаты эксперимента, о зависимости периодичности проведения технического обслуживания автомобилей как от качества моторных масел, так и от интенсивности и условий их эксплуатации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе анализа влияния климатических условий и интенсивности эксплуатации автомобилей на поток отказов их силовых установок разработано теоретическое обоснование повышения эффективности эксплуатации за счёт своевременного проведения технического обслуживания, что позволяет сократить поток отказов, который зависит от сезонности использования техники. Причиной роста потока отказов силовых установок является изменение свойств моторного масла в связи с его обводнением в условиях отрицательных температур. Обводнение происходит вследствие процесса конденсации и приводит к выпадению в осадок основных присадок, из-за чего концентрация некоторых из них уменьшается на 75 %. Это приводит к потере качества моторного масла.

2. В результате испытаний установлены зависимости изменения показателей работоспособности моторных масел с учетом изменения содержания продуктов износа при эксплуатации автомобилей в условиях низких температур. На основе этого разработан алгоритм выбора моторного масла, учитывающий влияние обводнения на присадки в моторных маслах при эксплуатации автомобилей в условиях низких температур.

3. На основе экспериментальных исследований получены зависимости изменения кинематической вязкости, щелочного и кислотного чисел, содержания продуктов износа и загрязнений от пробега автомобилей. Выявлено, что при эксплуатации автомобилей в условиях низких температур основным показателем, наиболее быстро достигающим предельных значений и лимитирующим работоспособность моторного масла, является изменение его щелочного числа. Данный показатель характеризует срабатываемость детергентных присадок. В результате разработана методика определения рациональных сроков замены моторного масла при техническом обслуживании автомобилей, эксплуатируемых в условиях низких температур.

4. Экспериментально подтверждено взаимное влияние факторов технико-эксплуатационных свойств моторных масел при эксплуатации автомобилей в условиях низких температур, что подтверждает адекватность теоретических и

экспериментальных данных. Установлено, что изменение температуры вспышки связано с изменением кинематической вязкости при 40 °С и при 100°С; изменение массовой доли фосфора – с щелочным числом и сульфатной зольностью.

5. На основе разработанной методики определения рациональных сроков технического обслуживания автомобилей, с учетом эксплуатации в условиях низких температур и полученных экспериментальных зависимостей изменения основных показателей качества установлена научно обоснованная периодичность замены моторного масла с учетом корректирующего коэффициента K_m , вместо нормативного 0,72. Значение K_m находится в пределах 0,48 ... 0,75.

Внедрение рекомендаций по выбору моторных масел и совершенствованию технического обслуживания автомобилей позволит повысить эффективность эксплуатации автомобильного транспорта за счет сокращения отказов силовых установок, выравнивания потока отказов в течение года и снижения эксплуатационных затрат при эксплуатации автомобилей в условиях низких температур.

Направления и перспективы дальнейших исследований.

Разработка рекомендаций по совершенствованию технического обслуживания и диагностирования состояния силовых установок автомобилей на основе анализа моторных масел при эксплуатации различных автомобилей в условиях низких температур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айвазян, С. А. Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных / С. А. Айвазян. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 471с.
2. Амарни, Н. Исследование топливной экономичности автобусов «Икарус-280», оснащенных блочными нейтрализаторами отработавших газов, в эксплуатации: Автореф. дис. ... канд. техн. наук Амарни Н. – М.: МГАДИ (ТУ), 2000. – 18с.
3. Арабян, С. Г. Перспективы применения высококачественных смазочных материалов в тракторной технике / С. Г.Арабян,Н. А. Кузнецов. – М.: ЦНИИТЭИ тракторсельхозмаш, 1978. – 84 с.
4. Арабян, С. Г. О выборе зарубежных аналогов отечественных топлив и смазочных материалов, обеспечивающих надежность работы тракторов / С.Г.Арабян, Н.А. Кузнецов, Е. Г. Минин. – М.: ЦНИИТЭИтракторсельхозмаш, 1977. – 35 с.
5. Архипов, С.Г. Анализ влияния условий эксплуатации и возраста городских автобусов на переменные эксплуатационные затраты / С.Г.Архипов, В. А. Максимов //Тез. 3-й Междунар. науч.- техн. конф. «Решение экологических проблем в автотранспортном комплексе». – М. : МАДИ(ТУ), 1998. – С. 139-140.
6. Безбородько, М.Д. Пожарная техника : учебник / М.Д. Безбородько. – М., 1989. – 332 с.
7. Бодров, В.А.Исследование эксплуатационных характеристик автомобилей по обобщенному показателю дорожных условий / В.А.Бодров, Л.П.Лахно, А. В. Перцев, Н.С. Кукушкин // Двигатели внутреннего сгорания: межвуз. сб. науч. тр.– Ярославль : ЯПИ, 1975. – С.113-118.
8. Бодров, В.А. Техническое обеспечение подвижного состава автомобильного транспорта / В.А. Бодров. – Ярославль: ЯПИ, 1981. – 89 с.

9. Болдин, Л. П. Основы научных исследований УНИРС / Л. П. Болдин, В. Л. Максимов. – М.: МАДИ, 2002. – Ч. 1. – 276 с. ; М.: МАДИ, 2004. – Ч. 2. – 182 с.
10. Васильева, Л. С. Экспресс-методы оценки качества работающих моторных масел / Л. С. Васильева, В. И. Агапова, В. Ф. Вилькин. – М. : МАДИ, 1988. – 29 с.
11. Васильева Л. С. Автомобильные эксплуатационные материалы / Л. С. Васильева. – М.: Транспорт, 1986. – 280 с.
12. Венепкий, И. Л. Основные математико-статистические понятия и формулы в экономическом анализе: Справочник. / И. Л. Венепкий, Б. И. Ненецкая. – 2 изд., перераб. и доп. – М. : Статистика, 1979. – 447 с.
13. Венцель, С. В. Применение смазочных материалов в двигателях внутреннего сгорания / С. В. Венцель. – М.: Химия, 1979. – 240 с.
14. Венцель, С. В. Смазка и износ двигателей внутреннего сгорания / С. В. Венцель. – Киев: Техника, 1977. – 207 с.
15. Выявление внутренних резервов технической службы автобусных парков при освоении новой модели автобуса ЛиАЗ-5256 по повышению качества обслуживания пассажиров в условиях действия нового хозяйственного механизма: Заключительный отчет. – М.: МАДИ, 1990. – 38 с. – Инв. № 02910017640.
16. Гарбер, Д. Опыт маршрутного нормирования расхода топлива / Д. Гарбер, В. Зотов, А. Ковалев // Автомобильный транспорт. – 1985. – № 12. – с. 31-32.
17. Горбунов, С. П. Алгоритм выбора моторных масел на основе существующих классификаций / С. П. Горбунов, В. А. Максимов, Л. А. Хазиев. Материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. 27 – 29 мая 2003 г. – Владимир, 2003. – С. 473-476.
18. Горбунов, С. П. Анализ масел, используемых в горной технике / С. П. Горбунов, Б. П. Горбунов // Горная промышленность. – 2002. – № 4 – С. 40-41.

19. Горбунов, С.П. Базовые масла /С.П. Горбунов //Технология будущего сегодня. Масла и автохимия. – 2003. – № 4(12) – С. 16.

20. Горбунов,С.П.Временное руководство по выбору моторных масел для автобусных парков ГУП «Мосгортранс». / С.П.Горбунов, А.Б.Комлев, В.А. Максимов. – М., 2004 г. 18 с. Деп. в ВИНТИ 22.01.2004.

21. Горбунов,С.П.Критерии выбора моторных масел в эксплуатации /С.П.Горбунов, В.А. Максимов // Материалы 62 Междун. науч.-метод. и науч.-иссл. конф. 24 января – 5 февраля 2004 г. – М., 2004.

22. Горбунов,С.П.Методика выбора моторных масел на примере городских автобусов / С.П.Горбунов, В.А. Максимов // Материалы 63 Междунар. науч.-метод. и науч.-иссл. конф. 31января – 2 февраля 2005 г. – М., 2005.

23. Горбунов,С.П.Результаты анализа качества моторных масел в эксплуатации / С.П.Горбунов, А.Б. Комлев, В.А. Максимов //Материалы 62 Междун. науч.-метод. и науч.-иссл. конф. 24 января – 5 февраля 2004 г. – М., 2004.

24. Горбунов,С.П.Технико-экономический критерий выбора моторных масел в эксплуатации / С.П.Горбунов, В.А. Максимов //Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей : материалы IX Междунар. науч.- практ.конф. 27–29 мая 2003 г. – Владимир, 2003. – С.476 – 477.

25. Горбунов, С.П. Технология будущего сегодня. / С. П. Горбунов // Горная промышленность.– 2003. – № 5 (47) – С. 49-50.

26. Горбунов, С.П.Chevronберет новую высоту/С.П.Горбунов, Б.П. Горбунов // Горная промышленность. – 2001. – № 6 – С. 45-46.

27. Гилелес, Л.Х. Исследование эксплуатационных качеств и топливной экономичности автомобилей-самосвалов: автореф.дис....канд. техн. наук / Л. Х. Гилелес. – Минск, 1973.– 33 с.

28. Говорушенко И.Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте / И. Я. Говорушенко. – М.: Транспорт, 1990. – 135 с.

29. Говорущенко, Н.Я. Новая методика нормирования расхода топлива с учетом конкретных условий работы автомобилей / Н.Я. Говорущенко, И.К. Шаша// Автом. трансп. :респ. межвед. науч.-техн.сб. – Вып. 24. – Киев : Техника, 1987. – С. 16-21.

30. Шаталов, К.В. Методы оценки эксплуатационных свойств моторных масел для тяжело нагруженных дизельных двигателей /К.В. Шаталов, А.В. Яковлев, С.В. Шишаев // Двигателестроение – 2014. – № 4. – С.36–42.

31. ГОСТ 27.002–89 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 37с.

32. ГОСТ 20306–85 Топливная экономичность автотранспортных средств. Номенклатура показателей и методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 37 с.

33. ГОСТ 2517 – 85 Нефть и нефтепродукты. Методы отбора проб. – М.: Стандартиформ, 2010. – 35 с.

34. ГОСТ 25371 – 97 Определение индекса вязкости по кинематической вязкости исследуемого нефтепродукта. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 7 с.

35. ГОСТ 26378.0–84 Нефтепродукты отработавшие. Общие требования к методам испытания.– М.: Стандартиформ, 2016. – 50 с.

36. ГОСТ 33 – 82 Нефтепродукты. Метод определения кинематической и расчет динамической вязкости.– М.: Изд-во стандартов, 1991. – 19 с.

37. ГОСТ 4333 – 48 Масла и темные нефтепродукты. Метод определения температур вспышки и воспламенения в открытом тигле. – М.: Стандартиформ, 2006. – 20 с.

38. ГОСТ Р 51634–2000 Масла моторные автотракторные. Общие технические требования. – М. : Изд-во стандартов, 2010. – 7 с.

39. Григорьев, М.Д. Качество моторного масла и надежность двигателей / М.Д. Григорьев, Б.М. Бунаков, В.А. Долетский. – М. : Изд-во стандартов, 1981. – 232 с.

40. Григорьев М.Д. Очистка масла в двигателях внутреннего сгорания / М.Д.Григорьев. – М.: Машиностроение, 1983. – 148 с.

41. Григорьев, М.Д. Смазка и надежность автомобильных двигателей / М.Д. Григорьев, Б.М. Бунаков.–М.:НИИавтопром, 1975. – 125 с.

42. Григорьев М.Д. Износ и долговечность автомобильных двигателей / М.Д. Григорьев, Н. Н. Пономарев.– М. : Машиностроение, 1976. – 248 с.

43. Гуреев А. А.Автомобильные эксплуатационные материалы / А. А. Гуреев, Р. Я. Иванова, Н. В. Щеголев.– М.: Транспорт, 1974. – 280 с.

44. Луканин, В.Н. Двигатели внутреннего сгорания : в 3-х кн.: учебник/В. Н. Луканин, К.А. Морозов, А.С. Хачиян [и др.] – М.: Высшая школа, 1995.

45. Джонсон, М. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: Методы планирования эксперимента : пер. с англ. / М. Джонсон, Ф. Лион.– М.: Мир, 1981. – 520 с.

46. Дрючин, Д. А. Методика управления состоянием моторных масел в эксплуатации автомобильных двигателей: дис....канд. техн. наук/ Дрючин Д. А. – Оренбург : ОГУ, 2000. – 169 с.

47. Дрючин, Д.А. Повышение работоспособности автомобильных двигателей за счет оптимизации реализуемых свойств смазочной среды/ Д.А. Дрючин// Прогрессивные методы эксплуатации и ремонта транспортных средств : тезисы докл. 4 Российской науч.-техн. конф.– Оренбург: ОГУ, 1999. – С. 80.

48. Дрючин, Д.А. Результаты исследования динамики смазочного слоя в подшипниках скольжения / Д.А. Дрючин// Износостойкость машин: Тез.докл. 2 Междунар. НТК. – Брянск : БГИД, 1996. – С. 111.

49. Дубров, А.М. Многомерные статистические методы: Учебник / А.М. Дубров, В.С. Мчитарян, Л.И. Трошин. – М.: Финансы и статистика,

1998. – 352 с.

50. Жамбю, М. Иерархический кластерный анализ и соответствия : пер. с фр. / М. Жамбю. – М.: Финансы и статистика, 1988.– 342 с.

51. Отвечают специалисты завода// За рулем. – 2002. – №3 – с.180–182.

52. Захаров, П.С. Изменение качества моторного масла в зимний период эксплуатации / П.С. Захаров, А.А. Петелин// Эксплуатация технологического транспорта и специальной автомобильной и тракторной техники в отраслях топливно-энергетического комплекса: Межвуз. сб. науч. тр.– Тюмень:ТюмГНГУ, 1998. – С. 61–63.

53. Захаров Н.С. Учет сезонных условий при технической эксплуатации автомобилей /Н.С. Захаров, Т.А. Григорьян, Б.Е. Довбня, А.А. Нетелин, А.Н. Ракитин // Научные проблемы Западно-Сибирского нефтегазового региона : тез.докл. науч.-техн. конф. – Тюмень:ТюмГНГУ, 1997. – С. 342–344.

54. Захаров, Н.С. Влияние сезонных условий на интенсивность изменения показателей качества моторных масел /Н.С. Захаров, Л.А. Петелин// Приспособленность автомобилей, строительных и дорожных машин к суровым условиям эксплуатации :межвуз. сб. науч. тр. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1999. – С. 69–72.

55. Захаров, Н.С.Методика оценки показателей качества моторного масла / Н.С. Захаров, А.А. Петелин, М.Г. Шевелева // Приспособленность автомобилей, строительных и дорожных машин к суровым условиям эксплуатации: межвуз. сб. науч. тр. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1999. – с. 126–131.

56. Зорин, В.А. Система обеспечения долговечности дорожно-строительных машин :автореф. дис....докт. техн. наук/ Зорин В. А. – М.: МАДИ, 1998.

59. Зотов, В.Б. Методы повышения эффективности технической эксплуатации городских автобусов: дис....канд. техн. наук/ Зотов В.Б. – М., 1994. – 183 с.

60. Иберла, К. Факторный анализ:пер.с нем. / К. Иберла.– М.: Статистика, 1980. – 398 с.

61. Измерения в промышленности: справ.: В 3 кн.; пер. снем. / под ред. П. Профоса. – М.: Металлургия, 1990. – Кн. 1.– Теоретические основы. –492 с.

62. Илларионов, В.А. Теория и конструкция автомобиля / В.А. Илларионов, М.М. Морин, Я.Е. Фаробия, А.А. Юрчевский. – М.: Машиностроение, 1992. – 416 с.

63. Исакова, Л.Р. Опыт работы пассажирского автомобильного транспорта за рубежом / Л. Р. Исакова // Автомобильный транспорт. Обзорная информация. Серия «Автомобильные перевозки». – 1991.–Вып. 9.– 80 с.

64. Карбанович, И.И. Экономия автомобильного топлива: опыт и проблемы / И.И. Карбанович. – М.: Транспорт, 1992. – 145 с.

65. Кузнецов, Е.С. Техническое обслуживание и надежность автомобилей / Е.С. Кузнецов.–М.: Транспорт, 1972. – 23 с.

66. Кузнецов, Е.С. Управление технической эксплуатацией автомобилей / Е.С. Кузнецов. – М.: Транспорт, 1990.– 272 с.

67. Кузьмин, В.Н. Некоторые результаты сравнительных испытаний смазочных композиций при трении скольжения / В.Н.Кузьмин, П.П. Дудко. – СПб., 2001. – 304 с.

68. Курегян, С.К. Оценка точности определения величины износа двигателя методом спектрального анализа /С.К. Курегян, Ю.В. Андрианов, А.С. Курегян // Автомобильная промышленность. – 1972. – № 6. – С. 6–8.

69. Лосиков, Б.В. Зарубежные методы испытания моторных масел на двигателях / Б.В.Лосиков, А.Б.Виппер, А.В. Виленкин. – М.: Химия, 1966. – 263 с.

70. Лохийя, С. Срок работоспособности смазочных масел / С. Лохийя. Всесоюзн. центр пер. № 89848. 10а, 1971. – 20 с.

71. Лышко, Г.П. Нефтепродукты и технические жидкости /Г.П. Лышко.– М.:Агропромиздат, 1988. – 144с.

72. Лышко, Г.П. Оптимизация сроков замены моторного масла / Г.П. Лышко, Г.Г. Левшанов, А.М. Гемнов, В.А. Шилин.– М.: Химия и технология топлив и масел. –1982. – № 11.– С. 32–34.

73. Максимов, В.А. Научные основы повышения эффективности использования городских автобусов средствами инженерно-технической службы : дис....д-ра.техн.наук/ В.А. Максимов –М.: 2000. – 442 с.

74. Материалынаучно-техническихконференций
(Fundamentals of Engine Oils March 3-4, 2003 - Detroit, September 18-19, 2000 - Michigan).

75. Материалынаучно-техническихконференций (Fundamentals of Engine Oils March 3-4, 2003 - DeLroit, Michigan, September 18-19, 2002 Troy, Michigan).

76. Морозов, Г.А. Очистка масел в дизелях / Г.А. Морозов, О.М. Арциомов. – Л.: Машиностроение. 1971. – 271 с.

77. Валтенас, Р. Моторные масла. Производство. Свойства. Классификации. Применение /Р.Валтенас, А.С.Сафонов, У.И.Ушаков, В.Шергалис. – М.; СПб.: Альфа-Лаб, 2000.– 272 с.

78. Максимов, В.А. Нормативное обеспечение экологической безопасности автомобилей в эксплуатации : учебное пособие/В.А. Максимов, И.В. Воробьев, И.Д. Коновалов, А.Д. Хазиев, В.И. Сарбаев ;под ред. В.А. Максимова. – М., 2001. – 120 с.

79. Олшаусжас, К.Ю. Исследование влияния квалификации ремонтных рабочих на эффективность технической эксплуатации автомобилей: дисс.... канд. техн. наук. – М., 1982. – 212 с.

81. Папок, К.К. Химмотология топлив и смазочных масел / К. К. Папок.– М.: Воениздат, 1987.

82. Папок, К.К. Словарь по топливам, маслам, смазкам, присадкам и специальным жидкостям /К. К. Папок, Н.А. Рагозин. – М.: Химия, 1975. – 392 с.

83. Петелин, А.А. Влияние сезонных условий на изменение качества моторного масла / А. А. Петелин // Научно-технические проблемы Западно-Сибирского нефтегазового комплекса : межвуз. сб. науч. тр. – Тюмень : ТюмГНГУ, 1997. – С. 156–158.

84. Петелин, А.А. Влияние сезонных условий на периодичность замены моторного масла М-НЛ / А. А. Петелин // Проблемы адаптации техники к суровым условиям : доклады международ. науч.-прак. конф. – Тюмень : ТюмГНГУ, 1999. – С. 179–180.

85. Петелин, А.А. Влияние сезонных условий эксплуатации автомобилей на изменение качества моторного масла / А.А. Петелин // Доклады международ. науч.-прак. конф. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1999. – С. 180–184.

86. Долгова, Л.А. Анализ параметров моторного масла и технических устройств, позволяющих контролировать процессы старения моторных масел / Л. А. Долгова, С. А. Жаткин, В. В. Салмин // Молодой ученый. — 2015. — №9. — С. 198–202.

87. Погодаев, Л.И. Повышение надежности трибосопряжений. Материалы. Пары трения ДПС. Смазочные композиции / Л. И. Погодаев, В.И. Кузьмин, А.И. Дудко. – СПб. : «МКС», 2001.

89. Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта / Министерство автомобильного транспорта РСФСР. – М.: Транспорт, 1974. – С. 73.

90. Хазиев, А.А. Причины изменения свойств моторного масла / А.А. Хазиев, А.В. Лаушкин, Е.Б. Горина // Грузовик. – №6. – 2013. – С. 15–16.

91. Корякина, В.В. Химические изменения, протекающие в моторных маслах в ходе их эксплуатации. / В.В. Корякина, Е. Н. Тимофеева // Новые материалы и технологии в условиях Арктики: материалы международного симпозиума. – Якутск, 2014. – С. 46–51.

92. Пономаренко, И.А. О сроках замены масла // Техника в сельском

хозяйстве. – 1978. – № 1. – С. 54–56.

93. Разработка руководства по выбору моторных масел в эксплуатации для автобусных парков ГУП «Мосгортранс» : Отчет о НИР. – М., 2002. – 91 с.

94. Рыбаков, К. В. Регенерация отработанных масел и их повторное использование / К. В. Рыбаков, В. П. Коваленко: обзор. информ. – М., 1989.

95. РД 37.001.019–84 Методика диагностирования технического состояния автомобильных дизельных двигателей по показателям работающего масла/НАМИ. – М., 1984. – 23 с.

96. Резников, В. Д. Новое в зарубежной классификации моторных масел / В. Д. Резников // Химия и технология топлив и масел. – 1985. – № 9. – С. 29.

97. Резников, В. Д. Количественный анализ эффективности детергентов в моторных маслах / В. Д. Резников, Э. И. Шипулина // Двигателестроение. – 1981. – № 1. – С. 4–6.

98. Резников, В. Д. Влияние сульфатных присадок на противоизносные свойства моторного масла / В. Д. Резников, Д. Г. Точильников, Я. Г. Гильмани // Двигателестроение. – 1977. – № 7. – С. 34–35.

99. Российская автотранспортная энциклопедия: Техническая эксплуатация, обслуживание и ремонт АТС. – М. : РОИП, 2000. – Т. 3. – 456 с.

100. Севрюгина, Н. С. Сравнительный анализ методов восстановления свойств моторных масел / Н. С. Севрюгина // Энерго- и ресурсосбережение - 21 век. – Орел: ОрелГТУ, 2001. – С. 12–15.

101. Сисенда, В. В. Исследования трибологических свойств смесей нефтяного, растительного и полигликолевого масел / В. В. Сисенда, Л. Н. Багдасаров, И. А. Буяповский, И. Г. Фукс. – СПб, 2000. – С. 283–285.

102. Сарбаев, В. И. Автомобильные эксплуатационные материалы / В. И. Сарбаев, Н. С. Роганова; под ред. В. И. Сарбаева. – М. : МГИУ, 2002. – 84 с.

103. Сарбаев, В. И. Современные масла и технические жидкости для автомобилей / В. И. Сарбаев, Н. С. Роганова // Автомобильный транспорт.

Передовой производственный опыт и научно-технические достижения, рекомендуемые для применения на автомобильном транспорте. «Вопросы технической эксплуатации и ремонта автомобилей»: инф. сб. – М.: Информавтотранс, 2002.–Вып. 2. –49 с.

104. Терхунов, А.Г. Некоторые направления оптимизации условий работы подшипников скольжения автомобильных двигателей/ А.Г. Терхунов, Н. Н. Якунин, Д. А. Дрючин, Р. Ф. Калимуллин// Прогресс транспортных средств и систем : тез.докл. междунар. науч.-практ. конф. – Волгоград: ВолХТУ, 1999. – Ч. 2. – С. 36–37.

105. Кузнецов, Е.С. Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов./ Е.С.Кузнецов, А.П.Болдин, В.М. Власов [и др.]. – 4-е изд., перераб. и доп. –М.: Наука, 2001. – 535 с.

106. Кузнецов, Е.С. Техническая эксплуатация автомобилей : учебник для вузов /Е.С.Кузнецов, В.П.Воронов, Д.П. Болдин [и др.], под ред. Е.С. Кузнецова. – 3-е изд., перераб. и доп.– М.: Транспорт, 1991. – 413 с.

107. Школьников, В. М. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости: ассортимент и области применения /под ред. В.М. Школьников. – М.: ВНИИ НП, 1999. – С.431.

108. Трейгер, М.И. О работоспособности смазочного масла в циркуляционной системе / М. И. Трейгер // Эффективные экспресс-методы контроля работоспособности смазочного масла на объектах эксплуатации. – Л. : ЛДНТП, 1983. – С. 17–25.

109. Школьников, В.М. Масла и составы против износа автомобилей / В.М.Школьников, Ю. Л. Шехтер, А.А. Фуфаек. – М.: Химия, 1988. – 35 с.

110. Шишигин, А.А. Изменение качества моторных масел при обводнении / А.А. Шишигин, В. И. Бельгапович// Химия и технология топлив и масел. – 1976. – № 2. – С. 46.

111. Хазиев, А. А. Моторные масла: требования, классификации и системы обозначений / А.А. Хазиев, В.А. Максимов, С.П. Горбунов, А.П. Комлев // Автомобильный транспорт. –М. :Информавтотранс, 2001. –37 с.

112. Якунин, Н.Н. Комплексная лаборатория исследования свойств моторных масел / Н. Н. Якунин, Д. А. Дрючин // Тез.докл. 1 Междунар. НГК. – Брянск, 1996. – С.56.

113. Якунин, Н.Н. Управление качеством моторных масел в АГГТ / Н.Н. Якунин, Д.А. Дрючин // Автоматизация и прогрессивные технологии : тезисы докладов. – Оренбург: ОГУ. –С. 27–31.

114. Мачехин, Н.Ю. Особенности эксплуатации техники при использовании высококачественных моторных масел с увеличенными интервалами замены / Н.Ю. Мачехин, И.И. Ширлин, С.В. Пашукевич / Вестник СибАДИ – Омск: СибГАДУ (СибАДИ), 2019. – № 3. –С. 446– 454.

115. Мачехин, С.В.Корнеев, С.В. Пашукевич, Д.С. Рыбальский, В.Д.Бакулина, Р.В. Буравкин, И.И. Ширлин // Приборы, машины и технологии Мачехин, Н.Ю. Влияние качества дизельного топлива на работу двигателя / Н.Ю.: Омский научный вестник. – Омск: ОмГТУ, 2017. – № 2 (152). –С. 13–16.

116. Бакулина В.Д., Корнеев С.В., Мачехин Н.Ю.Алгоритм расчета коэффициента корректирующего периодичность технического обслуживания автомобилей/ В.Д. Бакулина, С.В. Корнеев, Н.Ю. Мачехин // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов Наука и образование, 2017. –№ 4 (95). –С. 50.

117. Мачехин, Н.Ю. Алгоритм выбора моторных масел для техники / Н.Ю. Мачехин, С.В.Корнеев, А.А. Аноприенко, С.В. Пашукевич, В.Д. Бакулина, Р.В. Буравкин /Автомобильная промышленность. – Москва: Изд-во «Инновационное машиностроение», 2019. – С. 22– 25.

118. Мачехин, Н.Ю. Пути повышения долговечности высоконагруженных подшипников качения / Н. Ю. Мачехин, С.В.Корнеев, Р.В. Буравкин, А.А. Аноприенко// Трибология машиностроению: труды Всероссийской научно-технической конференции с участием иностранных специалистов. – Москва, 2014. – С. 65.

119. Мачехин, Н.Ю. Эффективное использование вооружения, военной и специальной техники за счет комплексного мониторинга смазочных материалов/ Н. Ю. Мачехин, И. И. Ширлин//Тр.IVМежвуз. науч.-практ. конф. – Омск, 2017. – С. 214–223.

120. Мачехин, Н.Ю. Изучение методики выбора масел по вязкостно-температурным характеристикам при проведении занятий/ Н. Ю. Мачехин, А.П. Жигадло// Тр.V Межвуз. науч.-метод. конф. – Омск, 2017. – С. 70 – 73.

121. Горбунов, С.П. Разработка методики выбора моторного масла в эксплуатации на примере городских автобусов: дис....канд. техн. наук :05.22.10 / Горбунов Сергей Петрович.– М., 2006. – 201 с.

122. Мачехин, Н.Ю. Влияние конструкции дизельных двигателей камаз на изменение показателей работоспособности моторных масел/Н. Ю. Мачехин, С.В.Корнеев // Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства: тр. 8 Междунар. науч.-техн. конф. – Омск, 2018.– С. 22–23.

123. Machehkin, N.Y. The influence of the KAMAZ diesel engines design on changing engine oil performance/ N.Y. Machehkin, S.V. Korneev, Y.V. Yarmovich, S.V. Saveliev, I.K. Poteryaev, R.V. Buravkin// AIP Conference Proceedings. – 2018. – Vol. 2007./ Oilandgasengineering 2018. Omsk 2018. Doi:10.1063/1.5051856

124. Мачехин, Н.Ю. Влияние низких температур на внутренние потери в агрегатах трансмиссии./ Н. Ю. Мачехин, С.В.Корнеев // Омский научный вестник. – Омск, 2017. – № 5 (155). –С. 18 –21.

125. Мачехин, Н.Ю. Технические средства обучения в решении проблемы технизации на учебных занятиях / Н. Ю. Мачехин, А.П. Жигадло // Тр. VII Межвуз. науч.-практ.конф. – Омск, 2018 г. – С. 109 – 113.

126. Maceiras, R. Recyclingofwasteengineoilfordieselproduction / R. Maceiras, V. Alfonsín, F.J. Moralesb // WasteManagement.-2017. Vol. 60, P.351-356.

127. Besser, C. Comparison of engine oil degradation observed in laboratory alteration and in the engine by chemometric data evaluation / C. Besser, N. Dörr, F. Novotny-Farkas, K. Varmuza, G. Allmaierd // *Tribology International*. – 2013.Vol.65, P.37–47.

128. Wolak, A. Changes in the operating characteristics of engine oils: A comparison of the results obtained with the use of two automatic devices/ A. Wolak, G. Zającb // *Measurement*.– 2018.Vol.113, P.53– 61.

129. Kalam, M. A. Influences of thermal stability, and lubrication performance of biodegradable oil as an engine oil for improving the efficiency of heavy duty diesel engine / M.A. Kalam, H.H. Masjuki, Haeng Muk Cho, M.H. Mosarof, Md. Iqbal Mahmud, M. A. Chowdhury, N.W.M. Zulkifli// *Fuel*. – 2017.Vol.196, P.36– 46.

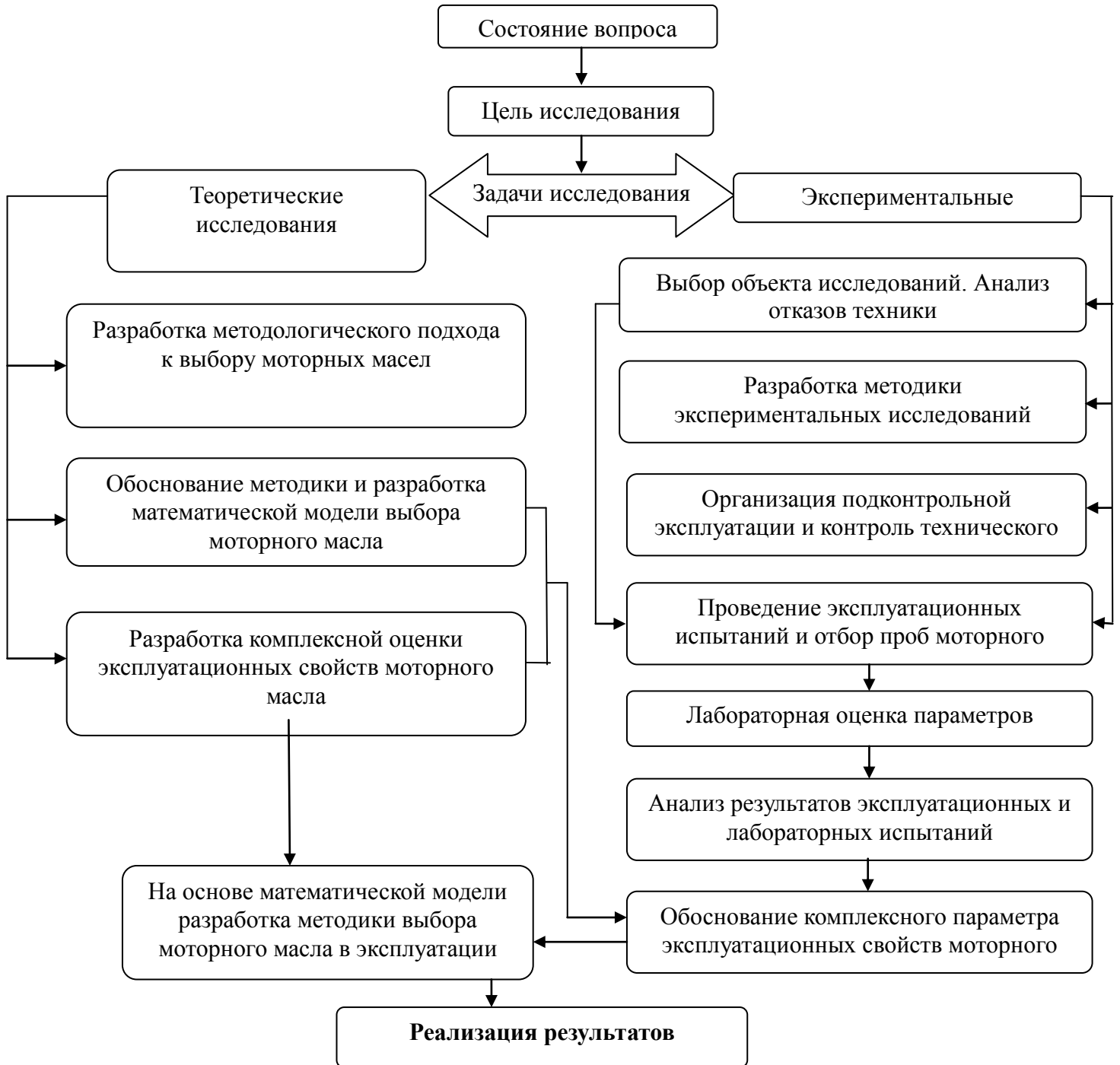
130.Rostek, E. The Influence of Oil Pressure in the Engine Lubrication System on Friction Losses / E. Rostek, M. Babiak, E. Wróblewski // *Procedia Engineering*. – 2017. Vol. 192, P.771–776.

131. Zhu, X. Lubricating oil conditioning sensors for online machine health monitoring – A review / X. Zhu, C. Zhong, J. Zhe // *Tribology International*. – 2017.Vol.109, P.473– 484.

132. Abdulgazis, D. Development of Endothermic Properties and Improvement of Tribotechnological Properties in Oil Cutting and Cooling Lubricants / D. Abdulgazis, E. Umerov, U. Abdulgazis // *Procedia Engineering*. – 2017.Vol.206, P.1503– 1507.

Приложение А

Структурная схема общей методики исследований



Приложение Б



Приложение В

Утверждаю
 Проректор по учебной работе
 ФБГОУ ВО «Сибирский государственный
 автомобильно-дорожный университет
 (СибАДИ)

Мельник С.В.



2019 г.

Акт

Внедрения в учебный процесс результатов диссертационного исследования «Влияние низких температур на рациональный выбор и периодичность замены моторных масел при техническом обслуживании автомобилей» соискателя Мачехина Николая Юрьевича.

В учебный процесс внедрена методика по предварительному отбору моторного масла для конкретных автомобилей, эксплуатирующихся в конкретных климатических условиях и с какой интенсивностью.

Предложенный метод позволяет объективно и научно обоснованно производить выбор моторного масла (осуществляется по специально разработанному алгоритму с учетом рекомендаций заводов - изготовителей и существующих классификаций моторных масел) из огромного количества производителей и марок масел.

Комиссия подтверждает, что материалы выше названной диссертационной работы соискателя Мачехина Николая Юрьевича используются в учебном процессе, а именно в лекционном курсе и лабораторном практикуме дисциплин: «Химмотология» и «Эксплуатационные материалы» для специальностей Автомобильный транспорт, Сервис транспортных и технологических машин, Нефтегазовая и строительная техника.

Декан факультета
 «Автомобильный транспорт» _____ И.М. Князев

Заведующий кафедрой «Тепловые
 двигатели и автотракторное оборудование» _____ А.Л. Иванов

Лектор дисциплин «Химмотология»
 и «Эксплуатационные материалы» _____ С.В. Корнеев

Приложение Г

Справка
о принятии материалов научного исследования к внедрению

Настоящая справка дана в том, что результаты исследований проведенные Мачехиным Николаем Юрьевичем в рамках диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата технических наук **«Влияние низких температур на рациональный выбор и периодичность замены моторных масел при техническом обслуживании автомобилей»** приняты к внедрению для корректировки сроков проведения технического обслуживания и замены моторного масла по уточненной методике с учетом интенсивности использования автомобилей при их эксплуатации в условиях низких температур.

Внедрение рекомендованной номенклатуры моторных масел и корректирование периодичности проведения технического обслуживания позволило сократить внезапные отказы двигателей, снизить эксплуатационные расходы и повысить авторитет СТО среди заказчиков при проведении технического обслуживания.

СТО А-моторс

ИП Филоненко Р.Ю.

«18» 10 2019 г.



Приложение Д

Справка

о принятии материалов научного исследования к внедрению

Настоящая справка дана в том, что результаты исследования проведенные Мачехиным Николаем Юрьевичем в рамках диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата технических наук **«Влияние низких температур на рациональный выбор и периодичность замены моторных масел при техническом обслуживании автомобилей»** приняты к внедрению для корректировки сроков проведения технического обслуживания и замены моторного масла по уточненной методике с учетом интенсивности использования автомобилей при их эксплуатации в условиях низких температур. Уточнена номенклатура используемых моторных масел.

Внедрение рекомендованной номенклатуры моторных масел и корректирование периодичности проведения технического обслуживания позволило сократить внезапные отказы двигателей, снизить эксплуатационные расходы и повысить надёжность и долговечность техники за счёт качественного и своевременного проведении технического обслуживания.

ООО «Лаборатория транспорта»

Директор



Руцких В.И.