Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

Балясников Валерий Александрович

МЕТОД КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ОБЛАСТИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СМАЗОЧНЫХ МАСЕЛ РАЗЛИЧНОЙ БАЗОВОЙ ОСНОВЫ И НАЗНАЧЕНИЯ

05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Безбородов Юрий Николаевич

Красноярск – 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5
1 Анализ современных методов контроля температурной области работоспособности смазочных масел 10
1.1 Современная классификация смазочных масел 10
1.1.1 Классификация моторных масел 10
1.1.2 Классификация трансмиссионных масел 16
1.2 Роль влияния температурных условий эксплуатации агрегатов машин на ресурс смазочных масел 18
1.3 Анализ влияния базовой основы на температурную область работоспособности смазочных масел 24
1.3.1 Минеральные базовые масла 24
1.3.2 Синтетические базовые масла 26
1.3.3 Частично синтетические масла 28
1.4 Современные методы определения температурных условий работоспособности смазочных масел 29
1.4.1 Метод FTMS 2504 30
1.4.2 Метод MS Sequence Tests 31
1.4.3 Метод по ГОСТ 8674-58 34
1.5 Выводы по первой главе 40
2 Разработка метода контроля температурной области работоспособности смазочных масел 41
2.1 Обоснование средств контроля и испытания смазочных масел 41
2.1.1 Прибор для термостатирования смазочных масел 41
2.1.2 Фотометрическое устройство 43
2.1.3 Электронные весы 44
2.2 Выбор смазочных материалов для исследования 45
2.3 Методика контроля температурной области работоспособности смазочных масел 45
2.4 Метод обработки экспериментальных исследований 48
2.5 Выводы по второй главе 51
3. Исследование влияния режимов испытания на температурную область работоспособности смазочного масла 53
3.1 Минеральное моторное масло Лукой СТАНДАРТ 10W – 40 SF / CC 53
3.2 Частично синтетическое моторное масло Castrol MAGNATEC 10W – 40 R SL / CF 58
3.3 Синтетическое моторное масло GAZPROMNEFT PREMIUM N SAE 5W – 40 SN / CF 66
3.4 Частично синтетическое трансмиссионное масло G – Box Expert GL – 5 75W – 90 71
3.5 Сравнение результатов исследования температурных показателей работоспособности при разных температурных режимах испытания 76

3.6 Анализ результатов исследования разных температурных режимов и времени испытания 82
3.7 Выводы по третьей главе 86
4 Исследование температурной области работоспособности смазочных материалов 87
4.1 Исследование температур начала процессов окисления, испарения и температурных преобразований моторных масел, минеральной базовой основы..... 87
4.1.1 Моторное масло ZIC HIFLO 10W – 40 API SL 87
4.1.2 Минеральное моторное масло Роснефть OPTIMUM SAE 10W – 40 SG / CD 89
4.1.3 Моторное масло Castrol GTX Professional A3 10W – 40 SL / CF 92
4.1.4 Анализ результатов исследования минеральных моторных масел 95
4.2 Исследование температур начала процессов окисления, испарения и температурных преобразований моторных масел, частично синтетической базовой основы 97
4.2.1 Моторное масло Роснефть Maximum 10W – 40 SL / CF 97
4.2.2 Моторное масло Лукойл Люкс 5W – 40 SL / CF 100
4.2.3 Моторное масло Motul 6100 Synergie + 5W – 30 SL / CF 103
4.2.4 Анализ результатов исследования частично синтетических моторных масел 106
4.3 Исследование температур начала процессов окисления, испарения и температурных преобразований моторных масел, синтетической базовой основы..... 107
4.3.1 Моторное масло elf EVOLUTION 900 NF 5W – 40..... 107
4.3.2 Моторное масло Лукойл Люкс 5W - 40 SN / CF..... 110
4.3.3 Моторное масло Kixx G1 5W – 40 SN / CF 112
4.3.4 Моторное масло Alpha`s 5W – 40 SN..... 115
4.3.5 Анализ результатов исследования синтетических моторных масел 118
4.4 Анализ результатов испытания моторных масел с различной базовой основой 120
4.5 Исследование температур начала процессов окисления, испарения и температурных преобразований трансмиссионных масел с различными базовыми основами 120
4.5.1 Минеральное трансмиссионное масло Лукойл трансмиссионное 80W – 90 ТМ - 5 (GL – 5)..... 120
4.5.2 Синтетическое трансмиссионное масло MOTUL gear 300 SAE 75W – 90 API GL – 4 GL – 5 123
4.5.3 Анализ результатов исследования трансмиссионных масел с различной базовой основой..... 125
4.6 Исследование связи между группами эксплуатационных свойств, температурами вспышки исследуемых смазочных материалов и критическими температурами работоспособности 126

4.7 Выводы по четвертой главе 130
5. Разработка практических рекомендаций по определению температурной области работоспособности смазочных масел 131
5.1 Предложения по усовершенствованию существующей системы классификации смазочных масел 131
5.2 Рекомендации для проведения опытов с другими смазочными материалами 133
5.3 Выводы по пятой главе 135
ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ 136
Библиографический список 137
ПРИЛОЖЕНИЕ А 143
ПРИЛОЖЕНИЕ Б 144
ПРИЛОЖЕНИЕ В 146

ВВЕДЕНИЕ

Надежность машин, механизмов и технологического оборудования определяется процессами, протекающими в смазочных маслах.

Наряду с температурой застывания и температурой вспышки, которые характеризуют температурные пределы работоспособности смазывающего материала, нет устоявшихся или рекомендуемых тепловых режимов эксплуатации в классификации масел, при которых масло максимально сохраняет свои эксплуатационные свойства. Рекомендуемые тепловые режимы эксплуатации редко фиксируются для агрегатов машин и механизмов. Определение оптимального теплового режима эксплуатации смазывающего материала позволило бы экономить расход масла. Существует проблема выбора масел для механизма, которое соответствовало бы необходимым требованиям.

Одними из важных показателей работоспособности смазочного материала являются процессы окисления и испарения. С увеличением скорости окисления увеличивается концентрация продуктов окисления в масле. Увеличение кислотного числа влечет за собой усиление окисления масла и формирование шлака и нагара. Образование шлака и нагара ведет к образованию кислородосодержащих продуктов, увеличивающих молекулярный вес масла. Длительное нагревание способствует разложению углеродистой основы масла.

Контроль процесса окисления важен, так как при этом, происходит образование твердых частиц, усиливающих механическое изнашивание деталей, ускоряются процессы окисления и снижается эффективность присадок. Контроль процесса испарения важен, так как при этом увеличивается вязкость смазывающего материала и разрушаются защитные граничные слои, разделяющие поверхность трения.

Исходя из этого для предотвращения понижения ресурса смазывающего материала и как следствие понижение надежности механизмов, необходимо знать температуры начала процессов окисления и испарения, предельные температуры (температуры, при которых масло сохраняет своих заданные свойства), а так же критические температуры (температуры, при достижении которых происходит резкое ухудшение ресурса смазывающего материала).

При выборе масла для двигателей внутреннего сгорания неформированных или с различной степенью форсированности, используют классификацию по SAE, API и по ГОСТ 17479.1 – 58. Классификация осуществляется по таким показатели как проворачиваемость и прокачиваемость в зависимости от температуры, кинематической вязкости при 100 °С, в зависимости от степени форсирования двигателя и области применения. Учитываются такие свойства как образование отложений, антиокислительные свойства, коррозионная активность, моющие свойства. Проблема выбора масел по приведенным классификациям состоит в том, что в них не отражены рабочие температуры масел по параметрам окисления и испарения, при которых смазывающий материал может максимально сохранять свои эксплуатационные свой-

ства, а также не установлены температуры, при которых резко уменьшается ресурс масел. В классификациях отсутствует методика сравнительной оценки температурных характеристик масел, различной базовой основы и назначения.

Поэтому разработка средств и методов контроля показателей термоокислительной стабильности смазочного материала, является актуальной задачей, решение которой позволит создать теоретические и практические разработки, направленные на повышение эффективности использования смазочных масел и надежности механических систем.

Актуальность диссертационной работы.

- Повышение механических и эксплуатационных показателей проектируемой и эксплуатируемой техники невозможно без соответствующих смазочных материалов, выбора оптимальных режимов эксплуатации и смазки.
- Развитие техники и технологий современного производства предъявляет более строгие требования к конструкционным и эксплуатационным материалам, в следствие чего необходима разработка новых методов контроля оценки качества применяемых топлив и смазочных масел.
- Несмотря на достаточную изученность отечественными и зарубежными учеными вопросов оценки состава, свойств, эксплуатационных возможностей смазочных материалов остаются актуальными требования к разработке новых методов, определяющих их качество и ресурс.
- Существующая система классификации смазочных масел не обладает достаточной информативностью, что требует при обоснованном их выборе, проведения дополнительных испытаний.
- Квалификационные методы испытания, применяемые при контроле производства смазочных масел и обоснованности области их применения, не устанавливают температурные пределы их работоспособности.
- Эффективное и обоснованное применение смазочных материалов имеет большое значение для экономики страны, позволяющее получить значительный эффект за счет снижения износа, затрат на техническое обслуживание и ремонт, увеличение сроков службы машин и оборудования.

Объект исследования: моторные и трансмиссионные масла различных базовых основ.

Предмет исследования. Температурные показатели работоспособности смазочных масел, различной базовой основы и назначения.

Степень разработанности темы. Для определения температурной области работоспособности смазочных масел, включающей определение температур начала процессов окисления, испарения, а так же критические температуры этих процессов и предельно допустимых температур, применялись

следующие средства контроля и испытания: прибор для термостатирования масел в широком температурном диапазоне с перемешиванием их в процессе испытания; фотометрическое устройство для прямого фотометрирования окисленных масел и электронные весы. Испытания масел проводилось при ступенчатом повышении, а затем понижении температуры в выбранном интервале в зависимости от базовой основы и назначения исследуемого масла.

Существенный вклад в изучение механизма окисления внесли: А.Н. Соловьев, Ю.Д. Третьяков, Я.Б. Чертков, В.С. Азев, Т.И. Кирсанова, Б. И. Ковальский, Г. И. Шор и другие.

На основе анализа патентной и научно – технической литературы в настоящей работе предложены новые технологии определения температурной области работоспособности смазочных масел, позволяющие расширить информацию о их качестве и разработать предложения по совершенствованию их классификации по группам эксплуатационных свойств.

Цель диссертационной работы. Расширить информацию о температурной области работоспособности смазочных масел различной базовой основы и назначения, позволяющую осуществлять глубокий контроль качества при их производстве и классификации.

Задачи исследования.

1. Разработать метод контроля температурной области работоспособности смазочных масел различной базовой основы и назначения.
2. Установить влияние заданных температур и времени испытания на показатели работоспособности смазочных масел.
3. Исследовать смазочные масла различной базовой основы и назначения при ступенчатом увеличении и понижении температуры испытания в диапазоне от 120 до 200 °С, определить показатели: температур начала процессов окисления, испарения, температурных преобразований. Определить критические и предельно допустимые температуры в протекающих процессах.
4. Разработать практические рекомендации по технологиям контроля температурной области работоспособности смазочных масел различного назначения, предлагаемых в качестве критерия оценки при совершенствовании системы классификации смазочных материалов по группам эксплуатационных свойств.

Методы исследования. Решение поставленных задач осуществлялось с применением оптических, физических методов исследования и регрессионного анализа экспериментальных данных.

При выполнении работы применялись стандартные и специально разработанные средства контроля и испытания, а для обработки экспериментальных данных использовались методы математической статистики и регрессионного анализа.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций. Подтверждается экспериментально и теоретически, научные положения аргументированы, теоретические результаты при выполнении работы получены при использовании положений теплотехники, оптики, выводы подтверждены экспериментальными исследованиями, сопоставимы с результатами других авторов и результатами математической обработки с использованием сертифицированных программ.

На защиту выносятся:

1. Метод контроля температурной области работоспособности смазочных масел различной базовой основы и назначения.
2. Результаты исследования влияния заданных температур и времени испытания на температурную область работоспособности смазочных масел.
3. Результаты обоснования температурных показателей работоспособности смазочных масел различной базовой основы и назначения.
4. Практическая рекомендация по технологиям контроля температурной области работоспособности смазочных масел различного назначения и совершенствованию системы классификации смазочных масел по группам эксплуатационных свойств.

В работе получены следующие научные результаты:

1. Разработан метод контроля температурной области работоспособности смазочных масел, различной базовой основы и назначения, позволивший определить температуры начала процессов окисления, испарения и температурных преобразований, критические и предельно допустимые температуры этих процессов.
2. Установлено влияние заданных температур и времени испытания на показатели работоспособности смазочных масел различного назначения, что позволило обосновать методику исследования для их сравнения.
3. Получены функциональные зависимости и регрессионные уравнения процессов окисления, испарения и температурных преобразований в смазочных маслах различных базовых основ и назначения. Установлены и обоснованы предельно допустимые температуры работоспособности смазочных масел и влияние базовой основы на этот показатель.
4. Установлены предельно допустимые температуры работоспособности смазочных масел по процессу температурных преобразований, которые предложены в качестве критериев их классификации по группам эксплуатационных свойств.

Практическая значимость работы. На основе теоретических и экспериментальных исследований разработаны и внедрены практические рекомендации, включающие технологии определения температур начала процес-

сов окисления, испарения и температурных преобразований, протекающих в смазочных маслах, а также предложения по совершенствованию системы классификации по группам эксплуатационных свойств.

Реализация результатов работы. Результаты исследования внедрены в учебный процесс кафедры «Топливообеспечение и горюче – смазочные материалы» Института нефти и газа «Сибирского Федерального Университета», а так же на предприятиях.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 11 научных работ, включая 6 работ в изданиях, рекомендованных перечнем ВАК, 1 Scopus, 1 РИНЦ. Получен патент № 2627562, а также выступление на 2 научно практических конференциях.

Апробация работы. Основные научные положения и результаты теоретических и экспериментальных исследований докладывались на:

1. На научно-технических семинарах кафедры «Топливообеспечения и горюче – смазочных материалов» института нефти и газа «Сибирского федерального университета» (Красноярск, 2015 – 2017 гг.).
2. XXIV Научно практической конференции в Самаре: «Тенденции развития науки и образования» (Самара 31. 03. 17).
3. IV международной научно – практической конференции: «Наука и инновации в XXI веке» (Пенза 05.06.17).

Акты внедрения. Внедрение разработанной методики было осуществлено (Приложение Б):

- АО «Таймырская Топливная Компания» в «Отдел технического контроля»;
- В учебный процесс в «Сибирский федеральный университет», Института «Нефти и газа» на кафедру «Топливообеспечения и горюче – смазочных материалов».

1 Анализ современных методов контроля температурной области работоспособности смазочных масел

1.1 Современная классификация смазочных масел

1.1.1 Классификация моторных масел

Классификация моторных масел имеет три вида, это классификация по SAE, API и по ГОСТ 17479.1 – 85. SAE – это классификация смазывающих материалов по параметру вязкости, которая была разработана Американской ассоциацией автомобильных инженеров (SAE), классификация подразделяет смазывающие материалы на классы по параметру текучести, т.е. способности смазывающего материала течь и параллельно "прилипать" к поверхности металла. SAE действует в Японии, Европе, США и других странах [1].

Вязкость жидкости – выражение внутреннего трения ее молекул друг с другом. Полагают, что вязкость - это сопротивление, препятствующее передвижению одной частицы смазывающего материала.

Как правило, кинематическая вязкость смазывающего материала измеряется в двух температурах (40°С и 100°С) в сантистоксах (сокращенно cST или сСт). Измерения проводятся в капилляр – визкозиметрах, характеризуется временем вытекания заданного количества смазывающего материала из узкого сосуда с воздействием силы тяжести, выраженной в мм^2/с.

Динамическая вязкость имеет размерность в миллипаскаль – секундах с температурой 150°С (сокращенно: mPas или мПа·с).

Прокачиваемость – прокачка масла насосом при минимальной температуре.

Проворачиваемость – проворачиваемость двигателя стартером при минимальном значении температуры.

Класс SAE обозначает интервал температур, окружающей среды, при котором масло сможет обеспечить проворачивание двигателя стартером, прокачивание масляным насосом масла в смазочной системе двигателя, при холодном запуске в режиме, который не учитывает в узлах трения сухого трения (вторая слева колонка), и, при долгой работе, хорошее смазывание летом, в предельном скоростном и нагрузочном режимах.

Таблица 1.1 – Степени вязкости моторных масел.

Степень вязкости	Низкотемпературная вязкость		Высокотемпературная вязкость		
	Проворачиваемость	Прокачиваемость	Вязкость при 100° С, $мм^2/с$ (1 сСт = 1 $мм^2/с$)		Вязкость при 150° С и скорости сдвига 10^6; $с^{-1}$; мПа с, не менее
	Максимальная вязкость, мПа с		min	max	
0W	при -30°С - 3250	при - 40°С - 60000	3,8		

Окончание таблицы.

5 W	при -25°C - 3500	при -35°C - 60000	3,8		
10 W	при -20°C - 3500	при -30°C - 60000	4,1		
15 W	при -15°C - 3500	при -25°C - 60000	5,6		
20 W	при -10°C - 4500	при -20°C - 60000	5,6		
25 W	при -5°C - 6000	при -15°C - 60000	9,3		
20			5,6	<9,3	2,6
30			9,3	<12,5	2,9
40			12,5	<16,3	2,9 (для масел SAE 0W-40, 5W-40 и 10W-40)
40			12,5	<16,3	3,7 (для масел SAE 40, 15W-40, 20W-40 и 25W-40)
50			16,3	<21,9	3,7
60			21,9	<26,1	3,7

Таблица 1.2 – Значения диапазонов температур моторных масел согласно классификации по SAE.

Класс по SAE	Рабочий диапазон температур, °C
5 W – 30	(-30 … +20)
5 W – 40	(-30 … +35)
5 W – 50	(-30 … +45)
10 W – 30	(-30 … +20)
10 W – 40	(-25 … +35)
10 W – 50	(-25 … +45)
15 W – 30	(-20 … +35)
15 W – 40	(-20 … +45)
15 W – 50	(-20 … +45)
20 W – 30	(-15 … +40)
20 W – 40	(-15 … +45)
20 W – 50	(-15 … +45)

Таблица 1.3 – Классификация моторных масел по API для двигателей, работающих на бензине [2].

SA	Двигатели, которые работают при облегченных условиях, применяется по требованию изготовителя.
SB	Для двигателей, работающих на средних нагрузках, применяется по требованию изготовителя.
SC	Для двигателей, эксплуатирующихся при высоких нагрузках (выпускались автомобили в период 1964 – 1967).
SD	Для среднефорсированных двигателей, которые работают в тяжелых условиях (выпускались в период 1968 – 1971).
SE	Разработана для высокофорсированных двигатели, эксплуатация сопровождается жесткими условиями (выпускались автомобили в период 1972 – 1979).

Продолжение таблицы 1.3.

SF	Двигатели, работающие при тяжелых условиях, с использованием неэтилированного бензина, высокофорсированные, с отсутствием турбонаддува (годы выпуска до 1988). Масла этой категории производятся для двигателей модели годов 1988 и старше, с использованием этилированного бензина.
SF	Масла этой категории имеют более эффективные, чем предыдущие категории, противоизносные, противоокислительные, антикоррозийные свойства, а так же обладают более меньшей наклонностью к появлению шлака, а так же высоко – и низкотемпературных отложений. Масла API SF могут заменить масла API SD, API SC и API SE в более устарелых двигателях.
SG	Высокофорсированные двигатели при наличии турбонаддува (Годы выпуска автомобилей 1989-1993). Лицензированная категория, которая была утвержденна в 1988 году. Выдача лицензий была закончена под конце 1995 года. Смазывающие материалы предназначены для моделей двигателей 1993 года выпуска и старше, эксплуатирующиеся на неэтилированном бензине с наличием ксигенатами. Удовлетворяют требованиям, относящихся к смазывающим материалам для дизельных двигателей категории которых API CD и API CC. Они имеют высокую противоокислительную термическую и стабильности, повышенные противоизносные свойства, сниженную склонность к появлению отложений и шлама. Смазывающие материалы API SG могут заменить масла категорий API SF, API SF/CC и API SE/CC, SE.
SH	Действует, если совмещается с действующими классами для дизельных двигателей. Высокофорсированные перспективные автомобили при наличии высокого турбонаддува (годы выпуска автомобилей до 1996). Лицензированная категория, утвержденная в 1992 году. На сегодня, категория условно действующая и сертифицирована может быть как дополнительная к таким категориям как API C (к примеру API AF – 4 / SH). В связи с требованиями, масло соответствует такой категории, как ILSAC GF-1, без обязательного энергосбережения. Смазывающие материалы данной категории произведены для бензиновых двигателей произведенных 1996 года или старше. При процессе сертификации на показатель энергосбережения, в взаимозависимости от величины экономии топлива давали категории API SH / EC и API SH / EC II.
SJ	Для используемых моделей (1996г.). Категория была утверждена 06.11.1995, лицензии начали выдаваться с 15.10.1996. Масла этой категории изготовлены для практически всех используемых на сегодняшнее время бензиновых двигателей, а так же полностью могут заменить масла практически всех существовавших раньше категорий в устаревших моделях двигателей. Возможно, сертифицировать по категории энергосбережения API SJ/EC.
SL	Категория для автомобилей изготовленных 2004 года и раньше. Масла отличаются повышенной стабильностью энергосберегающих свойств, заниженной летучестью, увеличенными промежутками замены. API разрабатывал проект именуемый PS-06 как следующую категорию API SK, однако один корейский поставщик масел использует сокращение обозначаемое как "SK", как элемент своего корпоративного имени. В качестве исключения возможной неразберихи буква "K" пропускается для следующей категории "S".
SM	Для практически всех автомобилей, которые находятся в данный момент в эксплуатации. Был внедрен 30 ноября 2004. Масла обладают повышенными антиокислительными свойствами, армирования отложений, предохранение от износа и использовании при низких температурах в течение всего срока эксплуатации масла. Кое какие, масла из данной категории могут соответствовать современным спецификациям ILSAC и/или идентифицировать как энергосберегающие.

Окончание таблицы 1.3.

SN	Введена в 2010 году.
EC	Энергосберегающие масла.

Таблица 1.4 – Классификация моторных масел по API для дизельных двигателей.

CB	Тип среднефорсированных двигателей в которых отсутствует наддув, эксплуатируются при повышенных нагрузках с использованием сернистого топлива (выпуск автомобилей осуществлялся в 1949 – 1960).
CC	Категория для высокофорсированных двигателей (с умеренным наддувом), которые работают при тяжелых условиях (выпуск с 1961). Категория была внедрена в 1961 году. Данные масла созданы для дизельных двигателей с отсутствием наддува. Допускаются для эксплуатации в двигателях с наличием турбонаддува, которые работают при легком и среднем режиме, так же для эксплуатации в бензиновых двигателях с большой мощностью. Масла этой категории могут содержать антикоррозийные присадки, а так же присадки предотвращающие образование высоко – и низкотемпературных отложений.
CD	Используется для высокофорсированных двигателей обладающие сильным наддувом, работающие при тяжелых условиях с использованием высокосернистого топлива (годы выпуска с 1955). Категория была введена в 1955 году. Категория масел, сделанная для использования в дизельных двигателей с наличием турбонаддува или без, для которых важен высокоэффективный контроль за аккомулированием продуктов износа. Возможно, использование топлива с высоким содержанием серы. Данные масла имеют присадки, которые предотвращают возникновение высокотемпературных отложений, а так же защищают подшипники от воздействия коррозии. Соответствует требованиям MIL-L-2104C/D.
CD+	Данная категория была создана по требованиям японских автопроизводителей. Эти масла обладают высокой устойчивостью к окислению, а так же загущению (происходящему под влиянием аккумулирования сажи) и увеличенной защитой механизма клапанов от процесса износа.
CD-II	Эта категория была внедрена в 1987 году. Смазывающие материалы этой категории изготовлены для дизельных двухтактных двигателей. Могут эффективно подавлять износ, а так же образование шлама. Категория соответствует требованиям предъявляемым к категории API CD.
CE	Высокофорсированные двигатели, обладающие высоким турбонаддувом, способные работать в тяжелых условиях, эксплуатируется вместо масел классов CC и CD (выпуск 1987). Категория была внедрена в 1987 году. Данные масла произведены для форсированных, мощных дизельных двигателей при наличии турбонаддува и без, работающих при малых оборотах и больших нагрузках, так и наоборот. Может заменить смазывающие материалы категорий API CC, так же CD в старых двигателях.
CF	Эта категория внедрена в 1994 году. Данные масла изготовлены для эксплуатации во внедорожной технике, двигателей с распределенным впрыском, в том числе двигатели которые работают на топливе с содержанием серы более 0,5% от массы топлива. Масла этой категории эффективно сдерживают появление нагара на поверхностях поршня и процесс коррозии подшипников из медных сплавов. Может заменить масла таких категорий как API CD в устаревших двигателях.

Продолжение таблицы 1.4.

CF-2	Обладает улучшенными характеристиками, заменяет CD – II для двухтактных двигателей (выпуск с 1994). Категория была внедрена в 1994 году. Смазочные материалы созданы для в дизельных двухтактных двигателей с высокой нагрузкой. Эффективно предотвращают износ цилиндров и (закоксовывание) поршневых колец. Может заменить масла категории API CD-II в устаревших моделях.
CF-4	Создана, для четырехтактных, высокоскоростных двигателей при наличии турбонаддува, может эксплуатироваться вместо смазывающих материалов класса CE (выпуск с 1990). Категория была введена в 1990 году.
CF-4	Масла разработаны для высокоскоростных, четырехтактных, мощных дизельных двигателей при наличии турбонаддува и без него, устанавливается на магистральных мощных тягачах. Масла соответствуют всем требованиям качества такой категории как API CE и обладают более меньшим расходом на угар, а так же меньшей склонностью к образованию нагара на поршнях.
CF-4	В процессе согласования с требованиями предъявляемыми категории API SG (API CF-4/SG), могут применяться для использования в бензиновых двигателей, малых грузовых и легковых автомобилей. Соответствуют высоким требованиям относящимся к токсичности отработанных газов. Может заменить смазывающие материалы категории API CE для устаревших двигателей.
CG-4	Используются в четырехтактных двигателей, которые работают при тяжелых условиях, масло может заменить масла CD, CE и CF-4 (выпуск с 1995). Категория введена в 1995 году. Данные масла произведены для высокоскоростных, высоконагруженных, дизельных четырехтактных двигателей, для грузовых автомобилей магистрального типа при использовании топлива с содержанием серы меньше 0,05% от массы и немагистрального типа (с содержание серы может достигать 0,5% от массы топлива). Эффективно предотвращают образование нагара при высоких температур на поршнях, пенообразоване, износ, окисление, образование сажи (эти свойства необходимы для эксплуатации двигателей для новых магистральных автобусов и тягачей). Категория была создана для соответствия требованиям в стандартах США по показателю токсичности отработанных газов (произведено в 1994 году). Может заменить смазывающие материалы категорий API CE, API CD и API CF-4. Недостатком может является относительно большая зависимость качества топлива от ресурса смазывающего материала.
CH-4	Проектное название группы API PC-7. Эта категория была введена 1 декабря 1998 года. Масла этой категории используются для четырехтактных, высокоскоростных двигателей, которые выполняют требования ужесточенных стандартов разработанных в 1998 году по токсичности отработанных газов. Соответствуют высочайшим требованиям как американских, так и европейских заводов производителей дизельных двигателей. Специально созданные для эксплуатации в двигателях, которые используют топливо с присутствием серы до 0,5% от массы топлива. В противовес категории API CG – 4, уместно эксплуатация дизельного топлива с присутствием серы более 0,5%, что в свою очередь является важным преимуществом для стран, в которых распространено использование высокосернистых топлив (Южная Америка, Африка, Азия). Масла соответствуют высоким требованиям по уменьшению возникновения нагара и уменьшению износа клапанов. Могут заменить масла следующих категорий API CG – 4, API CE, API CF – 4 и API CD.

Окончание таблицы 1.4.

CI-4	Был внесен в 2002 году для 4-тактных, высокоскоростных двигателей, которые разработанны в соответствии со стандартом 2002 года по выпуску выхлопных газов. Специально для двигателей имеющих функцию рециркуляции выхлопных газов. Для применения с топливами с < 0.5% серы. Замещает CD, GH-4,CF-4,CG-4, и CE.

Таблица 1.5 – Классы вязкости моторных масел по ГОСТ 17479.1 – 85 [3].

Класс вязкости	Кинематическая вязкость при 100°С ($мм^2/с$)		Класс вязкости	Кинематическая вязкость при 100°С ($мм^2/с$)	
	100°С	не более 18°С			100°С
3з	3,8	1250	3з/8	3з	3,8
4з	4,1	2600	4з/6	4з	4,1
5з	5,6	6000	4з/8	5з	5,6
6з	5,6	10400	4з/10	6з	5,6
6	5,6...7,0	-	5з/10	6	5,6...7,0
8	7,0...9,5	-	5з/12	8	7,0...9,5
10	9,5...11,5	-	5з/14	10	9,5...11,5
12	11,5...13	-	-	12	11,5...13
14	13,0...15,0	-	6з/10	14	13,0...15,0
16	15,0...18,0	-	6з/14	16	15,0...18,0
20	18,0...23,0	-	6з/16	20	18,0...23,0

В зависимости от области применения моторные масла делят на группы А, Б, В, Г, Д, Е.

Таблица 1.6 – Группы смазывающих материалов по эксплуатационным свойствам [2].

Группы масел по эксплуатационным свойствам		Рекомендуемые условия применения
А		Нефорсированные дизели и бензиновые двигатели
Б	$Б_1$	Бензиновые малофорсированные двигатели, способные работать в условиях, способствующих появлению отложений от высокой температуры и коррозии подшипников
	$Б_2$	Малофорсированные дизели
В	$В_1$	Бензиновые среднефорсированные двигатели, способные работать в условиях, благоприятных для окисления масла и образованию всех разновидностей отложений
	$В_2$	Дизели среднефорсированные, требующие повышенные критерии к противоизносным и антикоррозионным свойствам масел, а так же склонности к образованию отложений при высоких температурах
Г	$Г_1$	Бензиновые высокофорсированные двигатели, способные работать в тяжелых условиях эксплуатации, благопрепятствующих окислению масла, образованию всех разновидностей отложений, ржавлению и коррозии

Окончание таблицы 1.6.

	$Г_2$	Дизели не оснащенные наддувом или с умеренным наддувом Высокофорсированные, работающие в условиях эксплуатации, располагающие к образованию высокотемпературных отложений
Д	$Д_1$	Двигатели высокофорсированные бензиновые, способные к работе в условиях эксплуатации, более утяжеленных чем условия для смазывающих материалов группы $Г_1$
	$Д_2$	Дизели высокофорсированные с наддувом, которые работают в тяжелых условиях эксплуатации, а так же если эксплуатируемое топливо требует эксплуатирование смазывающих материалов с высокой нейтрализующей способностью, противоизносными и антикоррозионными свойствами, малой предрасположенностью к образованию всех разновидностей отложений
Е	$Е_1$	Бензиновые и дизельные высокофорсированные двигатели, которые работают в условиях эксплуатации, тяжелее, чем для групп масел $Д_1$ и $Д_2$. Различаются улучшенной диспергирующей способностью, более качественными противоизносными свойствами
	$Е_1$	Бензиновые и дизельные высокофорсированные двигатели, которые работают в условиях эксплуатации, тяжелее, чем для групп масел $Д_1$ и $Д_2$. Различаются улучшенной диспергирующей способностью, более качественными противоизносными свойствами

1.1.2 Классификация трансмиссионных масел

Таблица 1.7 – API - для трансмиссионных масел [2].

GL-1	Минеральные масла, в которых отсутствуют присадки или с противопенными и антиокислительными присадками с отсутствием противозадирных компонентов для применения, в ручных коробках передач с низким показателем удельного давления и скоростями скольжения. Червячные, цилиндрические и спирально-конические зубчатые передачи, которые эксплуатируются при низких нагрузках и скоростях.
GL-2	Передачи червячного типа, эксплуатирующиеся в условиях GL-1 при низких значениях скорости и нагрузки, к антифрикционным свойствам предъявляются высокие требования. Возможно содержание антифрикционного компонента.
GL-3	Масла трансмиссионные, в которых высокое содержание присадок при уровне эксплуатационных свойств MIL-L-2105. Данные масла эксплуатируются предпочтительно в коробках передач ступенчатых и рулевых механизмах, в главных и гипоидных передачах с незначительным смещением, как в автомобилях, так и безрельсовых транспортных средствах, которые служат для транспортировки грузов, пассажиров и для нетранспортных работ. Вид спирально – конических передач, который работает в средне жестких условиях. Стандартные трансмиссии имеющие спирально – конические шестерни, работают в умеренно жестких эксплуатационных условиях по нагрузкам и скоростям. Имеют лучшие противоизносными свойствами, чем GL-2.

Окончание таблицы 1.7.

GL-4	Масла трансмиссионные обладающие очень высокой концентрацией присадок при уровне эксплуатационных свойств MIL-L-2105. Данные масла применяются в большинстве случаев в рулевых механизмах и ступенчатых коробках передач, в главных передачах, а так же гипоидных передачах при малом смещении, как в автомобилях, так и безрельсовых транспортных средствах предназначенных для транспортировки грузов, а так же пассажиров, и дополнительно для нетранспортных работ. Вид гипоидных передач, эксплуатируемых в условиях больших скоростей при незначительных крутящих моментах, а так же незначительных скоростей при высоких крутящих моментах. Обязательно присутствие противозадирных присадок высокого качества.
GL-5	Масла гипоидных передач при уровне эксплуатационных свойств MIL-L-2105 C/D. Данные масла предпочтительно эксплуатируются в передачах имеющих гипоидные конические зубатые колеса, так же коническими колесами имеющие круговые зубья для главной передачи, как в автомобилях, так и в карданных приводах мотоциклов, а так же мотоциклетных ступенчатых коробках передач. Особо для передач гипоидного типа с большим смешением оси. Предназначены для очень тяжелых условий работы с знакопеременной и ударной нагрузками. Гипоидные передачи, эксплуатирующиеся в режимах больших скоростей при незначительных крутящих моментах, а так же и ударных нагрузках действующих на зубья шестерен. Масла должны иметь высокое количество присадки противозадирной серофосфорсодержащей.
GL-6	Гипоидные, с увеличенным смещением передачи, эксплуатируемые в условиях высоких скоростей, ударных нагрузок и больших крутящих моментов. Присутствует большая концентрация противозадирной серофосфорсодержащей присадки, чем смазывающие материалы GL-5.
MT-1	Масла для агрегатов с высокой нагрузкой. Предназначены для несинхронизированных коробок передач механического типа, коммерческих мощных автомобилей (например тягачей и автобусов). Схожие с маслами API GL-5, и обладают улучшенной термической стабильностью.
PG-2	Масла созданные для передач ведущих мостов, мобильной техники, а так же коммерческих мощных автомобилей (например тягачей и автобусов). Схожи с маслами API GL-5, но обладают улучшенной термической стабильностью и повышенной совместимостью с эластомерами.

Для классификации трансмиссионных масел по критерию вязкости, наибольшую известность и одобрение в мире получила система, которая была создана Американским Обществом Инженеров - SAE. Разработка описывается стандартом с наименованием SAE J306 "Классификация вязкости созданная для трансмиссионных масел, для ведущих мостов, а также механических коробок передач" (Axle and Manual Transmission Lubricant Viscosity Classification). Вязкость смазывающего материала выражается в условных единицах - степенях вязкости по SAE.

Спецификация с наименованием SAE J306 (таблица 1.2) эксплуатируется изготовителями автомобильных трансмиссий при установлении и рекомендации трансмиссионных смазывающих материалов произведенных для ведущих мостов и коробок передач механического типа, а также при разработке новых составов, маркировке и производстве готовых продуктов.

Таблица 1.8 – Классы вязкости.

Класс вязкости	Температура достижения динамической вязкости 150 мПа*с, °С	Кинематическая вязкость при 100°С, $мм^2/с$	
		не менее	не более
Зимнее трансмиссионное масло			
70W	-55	4,1	-
75W	-40	4,1	-
80W	-26	7	-
85W	-12	11	-
Летнее трансмиссионное масло			
90	-	13,5	24
140	-	24	41
250	-	41	-
Всесезонное трансмиссионное масло			
80W-90	-26	13,5	24,0
85W-90	-12	13,5	24,0
85W-140	-12	24.0	41,0

1.2 Роль влияния температурных условий эксплуатации агрегатов машин на ресурс смазочных масел

Оптимальные показания температур охлаждающей жидкости, а также моторных масел, большинства двигателей для автомобилей, находится в интервале 85 – 95 ^{0}С. При больших или меньших значений температур существенно возрастает износ деталей цилиндровой и поршневой группы двигателей [4].

Оптимальные значения температур масел и охлаждающих жидкостей соразмерно оптимальным значениям температур, на поверхности теплонагруженных деталей двигателя. При превышении температур может произойти оплавление деталей состоящих из алюминия, которые образуют камеру сгорания, ускоряются процессы коксования моторных масел, образуются лаковые отложения на поверхностях и т.д. По причине разжижения масел увеличивается износ цилиндров. Помимо этого, увеличивается токсичность отработавших газов, по выбросам оксида азота NO [5].

Температура при эксплуатации масла в трансмиссионных системах в промышленных редукторах и транспортных машин изменяется в широком диапазоне. Она меняется от показания температуры окружающего воздуха до показания температуры, которая установилась в процессе работы, последняя может приближаться к 120 – 150 °С. Описанные значения установлены для температуры масла в объеме. Фактическое значение температуры масла в точке контакта зубьев шестерен может вырасти до 200 – 250 °С и более. Зна-

чение температуры масла зависит от удельных нагрузок, а также скорости вращения шестерен, которая определяется скоростью скольжения в точке контакта. При увеличении нагрузки уменьшается толщина пленки смазочного материала, которая разделяет трущиеся поверхности, при этом возрастает вероятность заедания и интенсивного износа. [6-7].

Интенсивность окисления масла повышается с возрастанием температуры на поверхности контакта смазки с воздухом. При увеличении температуры на +10 °С скорость окисления удваивается [8].

На интенсивность окисления смазывающего материала в значительной степени влияет процесс эксплуатации агрегатов, длительная работа механизма на холостом ходу, частые запуски и остановки, работа на предельных режимах. В следствие чего, возможно начнется процесс нагарообразования. Состав нагара это кокс, смолистые вещества масла и несгораемые частицы, находящихся в нем. Влияние нагара отрицательно для деталей агрегата, ухудшается отвод тепла, в результате перегреваются детали, происходит уменьшение проходного сечения продувочных и выхлопных окон [9].

В процессе изучения влияния температурных условий эксплуатации, важным фактором, влияющим на интенсивность процесса окисления масла, является процентное содержание серы в топливе [10]. Чтобы оценить влияние серы можно воспользоваться методом С. Г. Арабяна [11].

Чтобы предотвратить понижение ресурса смазочного материала, в масла добавляются присадки. Присадки, в зависимости от назначения, разделяют на: вязкостные – для повышения вязкости масел и смазок; депрессорные – которые понижают температуру застывания; противоизносные - произведены для уменьшения износа контактирующих поверхностей; антиокислительные – замедляют окисление масла и смазок; антикоррозионные - снижают коррозирующее действие масел и смазок, а также повышения сохранности смазываемых узлов; моющие – разработаны для уменьшения лакообразования; маслянистые – служат для понижения коэффициента трения; противозазорные – предупреждают заедания и схватывания трущихся поверхностей при увеличенных нагрузках; антипенные и другие. Существуют также комплексные или многофункциональные – которые повышают свойства масел и смазок параллельно по нескольким показателям [12].

Чтобы снизить воздействие на металл, твердых частиц нагара, которые вызваны высокой температурой, в масла добавляют моющие присадки. Наиболее широко распространенным объяснением алгоритма действия моющих присадок это допущение образования присадкой защитных пленок на поверхности твердых частицах нагара, пленки препятствуют их слипанию между собой, а также прилипанию к твердой поверхности, и поддерживают частицы в масле во взвешенном состоянии [13].

Стоит выделить температурный диапазон работоспособности присадок. Для каждого сочетания присадки с металлом, существует определенный температурный интервал, в котором присадки имеют большую эффективность. Для большинства серо – и фосфоросодержащих присадок температурным

диапазоном является 80 – 120 °С. При более низких температурах, защитная пленка восстанавливается медленнее, чем происходит коррозия металла, а при температурах, превышающих верхний предел (120 °С), идет преимущественно разрушение защитной пленки [14].

Противозадирные присадки, которые содержатся в трансмиссионных маслах, при высоких температурах становятся коррозионно-агрессивными, в связи с этим в эти масла необходимо добавлять ингибиторы коррозии. Однако они заметно понижают несущую способность смазывающего материала вследствие плохой совместимости обеих присадок с поверхностями металлов. По аналогичным причинам в смазочно – охлаждающие жидкости, а также эмульсии необходимо добавлять ингибиторы атмосферной коррозии [15].

Для нормализации действия присадок, а также снижения несовместимости между присадками, как правило используют многофункциональные присадки [16]. Многофункциональные присадки дают маслам противокоррозионные, антиокислительные и другие эксплуатационные свойства. Соответственно этому в некоторых ГОСТ и ТУ на масла составлены нормы по названым эксплуатационным показателям (коррозионность по Пинкевичу [17], моющие свойства по ПЗВ [18]. При этом необходимо учитывать показатель испарения легких фракций. Испарение смазывающего материала из пленки и его дальнейшее сгорание в цилиндрах обусловлено тем, что в тактах расширения и выпуска пленка на поверхности стенки цилиндра взаимодействует с газами, которые имеют высокую температуру. Происходит процесс испарения легких фракций с поверхности пленки в надпоршневое пространство. Пары смазывающего материала сгорают или, при условии, что температура недостаточно высока, выносятся вместе с отработавшими газами в атмосферу. Процент испаряющегося масла зависит от давления газов и температуры в цилиндре, фракционного состава и температуры пленки масла. В бензиновых двигателях в такте выпуска имеет место значительное разрежение, по этой причине расход масла зависит от фракционного состава [19].

В процессе испарения масла повышается вязкость масел (по причине повышения концентрации загустителя), на их поверхности появляются корки (засыхание смазки), защитные свойства масла ухудшаются. Испарение масла, кроме ухудшения свойств, вредно сказываться на процессе работы механизмов. Во – первых, это относится к высокоточным приборам. Например, эксплуатация смазок, которые склонны к испарению масла, в оптических приборах, ведет к помутнению оптики. Большую опасность испаряемость смазочного материала представляет при эксплуатации смазок при повышенной температуре. Для защитных и других смазочных материалов, находящихся в тонком слое, лучше, чтобы интенсивность испаряемости была минимальной. Следует отметить, что процесс испарения масла из смазки, нанесенной тонким слоем, может достигать значительных величин. [20].

При испарении смазывающего материала, смазки растрескиваются, на поверхности слоя могут появиться корочки; при чрезмерном испарении

остаются только мыла, которые образуют сухие, иногда разрушающиеся слои, которые не обладают защитными, а также антифрикционными свойствами. Процесс испарения масла, из низкотемпературных смазок, ухудшает их морозостойкость; смазки которые высохли, не обеспечивают работу механизмов при воздействии низких температур [21].

Отложения, располагающиеся на поверхности деталей двигателей, разделяются на три базовых вида: лаки, нагары и шламы (осадки).

Нагар может появиться как из топлива, так и из смазывающего материала. В предкамерах дизельных двигателей, куда практически не может попасть масло, в камерах сгорания расположенных в реактивных двигателях, в процессе сжигания топлива без примеси масла, на стенках камеры откладывается нагар исключительно топливного происхождения. В механизмах компрессоров нагар появляется только из масла. В бензиновых двигателях, а также в пространстве камеры сгорания, дизельных двигателей нагар образуется параллельно из топлива и масла [22].

Лак – продукт окисления масляных пленок, которые растекаются и покрывают поверхности деталей двигателя под воздействием высоких температур. Лаковые отложения – это продукт высокой концентрации оксикислот. В структуру лака входит как углерод (до 80%), так и кислород, твердые несгораемые соединения (например зола) и водород [23].

Больший вред несет лакообразование в зоне расположения поршневых колец, которое вызывает их закоксовывание. Лаки, как правило, откладываясь на поршнях, которые контактируют со смазочным материалом, нарушают оптимальную теплопередачу через тело поршня (теплоотвод от него) и, после чего, в систему охлаждения двигателя.

Осадки (шламы) – это мазеобразные низкотемпературные отложения, которые представляют раствор продуктов окисления углеводородов с продуктами загрязнения моторного смазочного материала эмульсиями, а также водой. На концентрацию осадков основное влияние вносит качество смазывающего материала, температурный режим работы деталей, а также конструктивные особенности строения двигателя, и условия эксплуатации агрегатов. Отложения такого вида наиболее характерны при зимней эксплуатации, и при частых запусках и остановках двигателя [24].

Тепловое техническое состояние деталей цилиндропоршневой группы общепринято анализировать по показаниям температур в количестве четырех характерных точках представленных на рисунке 1.1.

Показания температур берутся в расчет при производстве, испытаниях и доработке ДВС для улучшения конструкции, также выборе моторного масла.

Показания температур в определенных точках деталей цилиндропоршневой группы обладают критическими уровнями:

1. Максимальное показание температуры в точке 1 (двигателях работающих на бензине – в центральной части донышка поршня, в дизельных двигателях – на кромке камеры сгорания), не должно увеличиваться выше

350 ^{0}С для всех алюминиевых сплавов которые серийно применяются в двигателестроении, в ином случае происходит оплавление кромок камер сгорания в дизельных двигателях или прогар тела поршня в бензиновых двигателях.

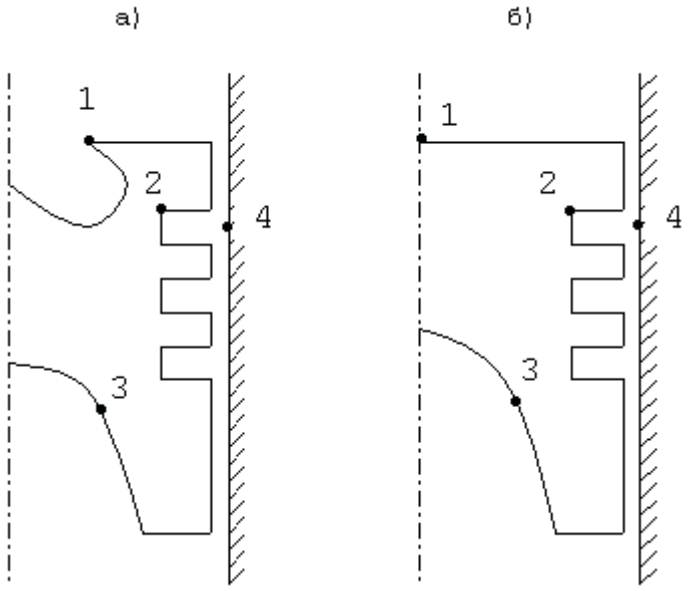


Рисунок 1.1 – Характерные точки поршня и цилиндра ДВС при исследовании их тепловой напряжённости для дизельных (*а*), а также бензиновых (*б*) двигателей

В автомобилестроении, критическое значение температуры удается увеличить путем добавления в сплав кремния.

Предотвращение превышения критических показаний температур в данной точке, так и во всех деталях двигателя внутреннего сгорания, достигается путем совершенствования их форм и эффективной системы охлаждения.

Процесс превышения температур в деталях двигателя обычно становится основным тормозом для форсирования их по показателям мощности.

2. Критические показания температур в точке 2 тела поршня (над верхним компрессионным кольцом) в диапазоне – 250 – 260 ^{0}С (кратковременно до 290 ^{0}С). В случае превышения данной величины во всех моторных маслах идет процесс коксования, что, приводит к “залеганию” поршневых колец, утрате их подвижности, существенному понижению компрессии и расходованию масла на угар. Масляный кокс является симбиозом лака и нагара.

В случае уменьшения компрессии, следует проверить герметичность клапанов механизма газораспределения, или место прогорания прокладки между головкой и телом блока цилиндров, а также износ цилиндропоршневой группы и «залегания» колец.

3. Предельная температура точки 3 поршня (которая размещена симметрично по контуру головки тела поршня на внутренней стороне) – 220 ^{0}С. С высокими температурами внутренней поверхности тела поршня происходит быстрое лакообразование. Лаковые отложения являются сильным тепловым барьером, который препятствует теплопередаче через масло, что может привести к нежелательному повышению температур во всем объеме тела поршня, как следствие и на поверхности зеркала цилиндра.

4. Максимально допустимая температура в точке 4 (расположенной на поверхности тела цилиндра, против места приостановки верхнего компрессионного кольца (ВКК) расположенного в верхней мертвой точке) – температура составляет 200 ^{0}С. При превышении температуры масло разжижается, что приводит к потере стабильности при процессе образования масляной пленки на поверхности зеркала цилиндра, что может вызывать «сухое» трение колец по зеркалу, а также ускоряет молекулярно – механическое изнашивание поверхностей деталей цилиндропоршневой группы.

На современных, спортивных автомобилей и ряде респектабельных, конструкцией предусмотрен контроль температуры измеряемой в точке 4, которая, в объеме тела цилиндра расположена на глубине примерно 1 – 1,2 мм от поверхности зеркала.

Датчиками температур выступают термопары или термосопротивления. Измерение температуры с использованием термопар основано на изменении показания силы тока в электрической цепи. У термосопротивлений при их нагревании происходит изменение сопротивления цепи. Сигналы, которые преобразуются и фиксируются соответствующими приборами контроля, так же на панели приборов, или же координируют команды установленного бортового микропроцессора [25].

Относительно большое изнашивание в области верхних поясов цилиндра объясняется воздействием горячих газов и дестабилизацией масляной пленки при запуске и прогреве двигателя, в зимнее время. Собственно на часть пусков, и прогревов двигателя приходится около 60% износа деталей цилиндропоршневой группы. Износ, происходящий в процессе пуска двигателя при температуре минус 18 ^{0}С можно сравнить с износом за пробег в 210 км пробега транспортного средства. Если осуществлять предпусковую подготовку двигателя, можно существенно увеличить его ресурс (до 1,5 - 2 раз) [26].

Чтобы уменьшить рабочие температуры масла, в систему ДВС, устанавливаются охлаждающие радиаторы. Водо – масляные радиаторы могут устанавливаться в системе водяного охлаждения, что обеспечит постоянство температуры масла во время работы двигателя и быстрый прогрев масла при запуске холодного двигателя [27].

Дополнительно могут устанавливаться воздушно масляные радиаторы [28].

Чтобы предотвратить перегрев охлаждающей жидкости или моторного масла, а так же двигателя в целом, в конструкции предусмотрен термостат,

который обеспечивает непрерывное движение охлаждающей жидкости через радиатор при повышенных показаниях температуры, то есть циркуляцию по “большому кругу”. В связи с этим не обосновано опасение, что при установленном термостате зимой имеется вероятность размораживания радиатора. У термостата для обеспечения процесса циркуляции необходимого объема жидкости через радиатор изготовлено специальное перепускное отверстие, температура в масляном термостате измеряется палочным стеклянным термометром и поверяемым парогазовым термометром [29].

Большое количество транспортных средств, эксплуатирующихся в России, выпускается для эксплуатации в умеренной климате. Расчетное показание температуры окружающего воздуха устанавливается в интервале от температур – 45 ^{0}С до + 50 ^{0}С. В условиях завышенных значений температур окружающей среды наблюдаются особенные отказы, которые вызваны ухудшением физико – механических свойств конструкционных материалов автомобилей. Эксплуатация автомобилей в условиях жаркого климата связана с меньшими трудностями, чем в условиях низких температур. В этих областях температурный режим деталей машин и прочих агрегатов двигателя существенно ниже оптимального. При показании температуры окружающей среды ниже температуры – 30 ^{0}С, значение температуры смазывающего материала в главной передаче не увеличивается выше уровня в + 20 ^{0}С; при значении температуры окружающей среды ниже – 40 ^{0}С, показатель температуры смазывающего материала не увеличивается выше температуры 0 ^{0}С.

Следовательно, при обеспечении эксплуатации двигателя в наилучшем тепловом режиме значительно увеличивается срок его эксплуатации и экономится количество топлива. Так же благоприятен предпусковой подогрев системы двигателя, и утепление моторного отделения в зимний период. При остановках на короткое время двигатель глушить не рекомендуется.

1.3 Анализ влияния базовой основы на температурную область работоспособности смазочных масел

1.3.1 Минеральные базовые масла

Производство большого количества видов масел технически, а также экономически нецелесообразно [30]. Чтобы это избежать, нефтеперерабатывающая промышленность производит ограниченное количество базовых масел, которые перемешиваются между собой, а также с присадками на маслосмесительных заводах, что бы получить товарные масла (commercial oils, service oils) с необходимыми эксплуатационными свойствами. Изготовление товарных масел проходит две стадии – производства базовых масел, и смешения компонентов (компаундирования) (blending, compounding, formulation).

Базовые масла составляют основную долю смазочного материала - от - 75 %, а в моторных маслах до 99 % [31].

Базовые масла, которые в дальнейшем смешивают (компаундированием) и добавляют присадки, получают индустриальные, моторные, электроизоляционные и другие масла, изготавливают на нефтеперерабатывающих заводах по очень сложной технологии. Начальный процесс – это прямая перегонка под вакуумом мазута – остатка после процедуры отгона светлых продуктов [32].

Базовые масла отличаются между собой вязкостью, химическим составом, а также другими свойствами. Сырьем для смазочных материалов могут быть минеральные, и синтетические базовые масла. Химический состав минеральных масел сильно зависит от нефти, из которой было произведено масло. Химический состав масел с синтетической базовой основой зависит от исходного сырья (мономеров) и метода синтеза.

Качество товарного масла обуславливается типом исходной нефти, способа синтезирования базового масла, глубины химического преобразования и очистки. В характеристиках продукта часто показываются особенности его изготовления и состава, это дает потребителю возможность сделать вывод о качестве исходного базового масла.

Базовые масла необходимо подвергать глубокой очистке для максимального удаления смолистых соединений, а также полициклических углеводородов [33 – 34].

Химический состав базового масла обуславливается химическим составом нефти [35 – 36]:

- парафиновые (содержание парафинов больше 75%),
- нафтеновые (содержание нафтеновых соединений больше 75%),
- ароматические (содержание ароматических соединений больше 50%),
- смешанные.

Для изготовления смазочных масел большое значение имеют например парафиновые нефти, они различаются хорошими вязкостно-температурными свойствами (высокий индекс вязкости). В след за традиционными операциями очистки парафиновое минеральное масло имеет хорошие эксплуатационные свойства. Некоторые элементы нефти, которые обычно установлены как вредные, в некоторых сферах назначения могут оказаться весьма ценными. Определенные соединения серы и азота имеют антиокислительные свойства. Таким образом, используя глубокую очистку масла, определенные его антиокислительные, смазывающие и антикоррозионные свойства возможно могут ухудшиться [37].

Усовершенствование базовых масел происходит по двум основным видам. При первом, масло проходит очистку только до определенной степени, чтобы в нем сохранилось оптимальное содержание кислот, смол, соединений серы, азота, а так же вводятся присадки, которые улучшают некоторые функциональные свойства. При таком методе невозможно получить масла с достаточно высоким качеством, которое требуется для современных двигателей. Во втором виде, базовое масло проходит полную очистку от всего количества примесей и осуществляется молекулярная модификация при помощи

метода гидрообработки (гидроочистки, гидрокрекинга и др.) [38]. В результате чего, получается масло, которое обладает ценными свойствами для эксплуатации при тяжелых режимах работы (высокое сопротивление к деформациям сдвига при воздействии высоких скоростей, нагрузках и значениях температур, с высоким показателем индекса вязкости, а также стабильностью физико – химических критериев).

При осуществлении очистки масел (finishing) - удаляются следующие примеси:

- непредельные углеводороды (unsaturated hydrocarbons), которые понижают антиокислительную стабильность масла;
- асфальтеновые соединения и смолистые вещества (resins, bitumen), образующие лаковые отложения, а также нагар, появляющийся на горячих поверхностях деталей двигателя, эти соединения понижают низкотемпературные свойства, а также снижают эффективность антикоррозионных и антиокислительных присадок.

Для повышения антиокислительных свойств масла применяют селективную очистку [39 – 40]. Масла селективной очистки, такие как брайтстоки, стабилизируют показатель вязкости в условиях окисления. В основном только эти масла пригодны для изготовления трансмиссионных масел, которые удовлетворяют требованиям спецификации MIL – L – 2105 B, по ней же оценивают термоокислительную стабильность в шестеренчатом редукторе при 163 C° [41].

1.3.2 Синтетические базовые масла

Это маслообразные синтетические жидкости – олигомеры или полимеры, которые получены методом синтеза из различных мономеров. Масло с синтетической базовой основой не имеет полной совокупности свойств, которые характерны для масла с минеральной базовой основой, но стоит отметить, что отдельные масла, с синтетической базовой основой, обладают выделяющимися эксплуатационными свойствами, которые превышают свойства масел с минеральной базовой основой [42]. Например, отдельные синтетические масла могут иметь особенно высокий индекс вязкости, пониженный показатель температуры застывания, высокую стойкость к высоким температурам, а также деформациям сдвига, различаются низкой испаряемостью и горючестью. Данные свойства предоставляют универсальность применения и высокий срок службы.

Свойства синтетических масел обуславливаются химическим строением, поэтому это служит основным критерием классификации:

- углеводородные масла (hydrocarbon oil, HC oil) основа которых: полиальфаолефины, изопарафиновые углеводороды и алкилбензолы [43];
- полиэфирные масла [44], на основе:
  1) первичных спиртов и эфиров двухосновных кислот (например, изооктиловый эфир себациновой кислоты);

2) полифениловых эфиров,эфиров полиолов;
3) олигликолевых эфиров (например, олиалкиленгликолевый эфир);
4) эфиров фосфорной кислоты.

- силиконовые масла [45];
- фторсодержащие эфирные масла [46].

Смешиваемость синтетических с минеральными маслами отличаются и зависит от процесса изготовления синтетического масла. Ниже приводится обзор свойств, синтетических масел которые наиболее распространены.

Полиальфаолефиновые масла (ПАО) (polyalphaolefin - PAO) обрели широкое распространение и занимают более одной третьей всех масел с синтетической базовой основой. Они выделяются многофункциональными смазочными свойствами, также могут эксплуатироваться в большом диапазоне температур, имеют высокий показатель индекса вязкости и стабильность свойств в течение всего срока службы, не создают коррозию металлов и отложений, и нагара, не оказывают плохого воздействия на материалы из которых делают прокладки и уплотнители, хорошо перемешиваются с маслами на минеральной базовой основе. Масла ПАО, в основном, эксплуатируют для производства универсальных, автомобильных, всесезонных моторных, а также гидравлических жидкостей, трансмиссионных масел и индустриальное масел для использования в холодильниках, компрессорах, других агрегатов, работающих при больших нагрузках и при повышенной температуре, а также моторные масла для дизельных, мощных двигателей среднескоростных тепловозов и судов. Масла ПАО – являются самыми дешевыми.

Масла изготовленные из алкилированных ароматических соединений (alkylatedaromatics). В их производстве используется алкилбензол (alkylbenzene). На рынок сбыта поставляются два продукта – это алкилбензол, который имеет низкий индекс вязкости, применяется в смешении с добавлением нафтенового масла, чтобы получить масла используемые в компрессорах холодильников, и диалкилбензол, с еще более высоким индексом вязкости, который напоминает парафиновое и полиальфаолефиновое масло, оно отличается высокими низкотемпературными свойствами, а также используется для производства арктических моторных масел, для использования в двухтактных двигателях.

Фторсодержащие эфирные масла. Масла, соответствующие стандарту DIN 51 502 обозначаются FK. Основные плюсы – химическая инертность, негорючие, высокое сопротивление к окислению и к высокой температуре, обладает очень хорошими диэлектрическими свойства. К недостаткам относятся – относительно низкий индекс вязкости, высокий показатель температуры застывания. Фторсодержащие масла используются в холодильной технике и в агрегатах, где масло контактирует с кислородом или же с другими агрессивными веществами. Стоимость этих масел очень высока, во много раз дороже минерального масла.

В таблице 1.9 приведена сравнительная характеристика минеральных и синтетических масел.

Таблица 1.9 – Сравнительные характеристики минеральных и синтетических масел.

Свойство	Минеральное парафиновое масло	Синтетические масла		
		Углеводородные		Фторсодержащие эфирные масла
		Полиальфаолефиповые	Алкилбензол	
Термостойкость	3	3	3	3
Термоокислительная стойкость	3	5	4	3
Смешиваемость	6	6	6	2

1.3.3 Частично синтетические масла

Так называются минеральные масла, в состав которых добавлено более 25% масла с синтетической базовой основой, как правило, полиальфаолефинового, в другом варианте на основе органических сложных полиэфиров. Некоторые фирмы (“Kuwait Petroleum”) частично синтетическими или же гидросинтетическими (hydro synthetic) именуют масла с глубоким каталитическим гидрокрекингом, или же масла минерального происхождения, но с большим изменением молекулярной структуры [47 – 48].

Масла, высшего качества, вырабатываются при смешивании масел с синтетических масел с минеральными или же частично синтетическими маслами [49].

Смешиваемость (miscibility) синтетической базовой основой с минеральными (табл. 1.10) имеет высокую практическую ценность по следующим пунктам:

- возможность синтезирование смешанного масла с повышенными свойствами;
- возможность производить долив в картер синтетического масла, в то время когда двигатель наполнен минеральным маслом, и наоборот.

Таблица 1.10 – Совместимость синтетических масел с минеральными.

Синтетическое	Совместимость
Полиальфаолефиповые	отличная
Алкилбензол	хорошая
Фторсодержащие эфирные масла	достаточная

Используя частично синтетические масла, можно уменьшить количество вязкостной присадки, как следствие повысить сопротивляемость масла к сдвигу и его термоокислительную стабильность. Преимущество проявляется при эксплуатации гидроочищенных масел [50].

1.4 Современные методы определения температурных условий работоспособности смазочных масел

Антиокислительные свойства масел определяют сопротивляемость масла к старению. Условия эксплуатации моторных масел в системе двигателя очень тяжелые, настолько, что устранить их окисление полностью не возможно. Согласованной очисткой базовых масел от вредных соединений, фигурирующих в сырье, эксплуатацией синтетических базовых составляющих, а также внедрением продуктивных антиокислительных присадок возможно значительно приостановить процессы, при которых масло окисляется, они ведут к увеличению его вязкости, также коррозионности, склонности к появлению отложений, загрязнению специальных масляных фильтров и ухудшении процесса холодного пуска, ведут к ухудшение процесса прокачиваемости смазочного материала [51].

Окисление смазывающего материала в двигателе более интенсивно проходит в тонких пленках расположенных на поверхностях деталей, которые нагреваются до высоких температур и контактирующие с горячими газами (поршневые кольца, цилиндр, поршень, стебли клапанов, а также направляющие). В объеме смазывающий материал окисляется с меньшей интенсивностью. Во внутренних пространствах двигателя, которые заполнены масляным туманом, процесс окисления проходит более быстрее.

На скорость окислительных процессов существенно влияют проникающие в масло продукты частичного сгорания топлива автомобиля. Они попадают в масло с газами, поступающими из надпоршневого пространства в картер. Каталитическое действие на процессы окисления оказывают частицы износа и загрязнения неорганического происхождения, которые аккумулируются в масле, в следствие изнашивания деталей в двигателе, качеством очистки потока всасываемого воздуха, снижение концентрации присадок, а также металлорганические соединения элементов меди, железа, а так же других металлов, возникающих в следствие коррозии деталей. Все эти вещества — ускоритель процесса окисления.

Устойчивость моторных смазывающих материалов к окислению повышают легированием антиокислительными присадками. Лучший антиокислительный эффект получен при введении в смазывающий материал присадок, которые обладают различным механизмом действия. В качестве антиокислительных присадок в моторных маслах используют диалкил – и диариддитио – фосфаты цинка, они улучшают, как и антикоррозионные, так и противоизносные свойства. Присадки часто можно комбинировать друг с другом, а также с беззольными антиокислителями, к которым относят ароматические амины, пространственно затрудненные фенолы, беззольные дитиофосфаты и др. Достаточно эффективными антиокислителями являются отдельные моющее – диспергирующие присадки, особенно алкилсалицилатные присадки и алкилфенольные.

При продолжительной эксплуатации масла в двигателе увеличивается вязкость, за счет его окисления, и снижении концентрации антиокислительных присадок. В технических условиях, а также стандартах на моторные смазывающие материалы их стойкость к процессу окисления характеризуется индукционным интервалом осадкообразования (процесс окисления проходит по методу [52] при температуре 200 °С). При опытах, проводимых на двигателях, антиокислительные свойства смазывающего материала анализируют по увеличению вязкости за период работы в двигателе таких установках как ИКМ [53] или Petter W – 1.

В настоящее время существует ряд методов контроля температурных пределов работоспособности смазывающего материала описанных в отечественных работах [54 – 59] и зарубежных [60 – 66].

1.4.1 Метод FTMS 2504

Термоокислительную стойкость трансмиссионных масел оценивают по методу FTMS 2504 в специальном стенде [67]. Основа стенда – это пара цилиндрических шестерен (угол давления которых 14,5°, диаметр 20, ширина 9,5 мм). Ведущая шестерня имеет в наличии 50 зубьев, а ведомая — 34. За большей шестерней, на ведущем валу установлен тестируемый шариковый подшипник, который нагрузке не подвержен. Редуктор, который приводится в движение от электрического мотора мощностью 550 Вт, установлен на плите с антивибрационными подкладками.

Для нагрузки используют специальный генератор. Если возникает необходимость, масло в редукторе нагревают с помощью воздуха, который подается вентилятором сквозь специальный нагреватель под нижний элемент картера редуктора. По направлению внутрь полости редуктора, для увеличения скорости окисления смазочного материала по специальной трубке непрерывно подают воздух, избыток которого выводят сквозь сапун. Шестерни в редукторе установлены консольно, потому что подшипники, на которых были установлены валы шестерен, вынесены в изолированную коробку. За процессом работы шестерен проводят мониторинг через смотровое окно, которое выполнено из термостойкого стекла. Перед началом испытаний в картере с помощью особого устройства устанавливают катализаторы, выполненные в виде полоски из электролитической меди (чистота меди 99,9%) размер которых 92,1 х 28,6 х 1,6 мм. Испытания проводятся в условиях приведенных в таблице 1.11:

Таблица 1.11 – Условия проведения испытания.

Температура испытуемого масла, °С	163
Объем испытуемого масла, мл	120
Выходная мощность генератора (нагрузка на шестерни), Вт	128
Избыточное давление подаваемого в картер воздуха, Па	6865
Расход воздуха, л/ч	1,11

Окончание таблицы 1.11.

Частота вращения вала, c^{-1} ведущего ведомого	 28,8 42,3
Площадь поверхности катализатора, $см^2$	26,3
Длительность испытаний, ч	50

После 30 мин испытания, а также через каждые 10 ч исследуют вязкость масла. После проведения замера масло сливают обратно в картер редуктора. В случае если до завершения исследования вязкость масла увеличится примерно в 2 раза, то дальнейшие проведение испытания прекращают. О термоокислительной стойкости смазывающего материала судят по степени увеличения вязкости и количеству возникших в нем некоторого количества нерастворимых продуктов.

Предрасположенность смазочных материалов различного применения к возникновению отложений на поверхностях деталей при высоких температурах за границей оценивают по методу наименованием FTMS 3462. Рассматривая отечественную литературу, такие испытания обычно называют исследованиями «на наклонной плите». Прибор служащий для испытания представлен в виде камеры, закрываемой сверху наклонной пластинкой выполненной из алюминия. В процессе испытаний пластинку нагревают до температуры 315 °С и затем в течение 8 ч наносят на нее исследуемое масло. Снимают пластинку, отмывают растворителем остатки масла, доводят до постоянной массы, и определяют массу отложений.

1.4.2 Метод MS Sequence Tests

Испытания по ряду методов, которые получили наименование MS Sequence Tests, осуществляют в многоцилиндровых бензиновых двигателях. Данные методы предназначены для оценки эксплуатационных свойств характеризующих моторные масла:

MS Sequence II — для противокоррозионных, а также противоржавейных свойств смазывающего материала в процессе работы двигателя при низкотемпературных режимах;

MS Sequence III — антиокислительных и противоизносных свойств смазывающего материала, а также его склонности к возникновению отложений при процессе работы двигателя при высокотемпературных режимах;

MS Sequence IV — отображает противозадирные свойства смазывающего материала при эксплуатации двигателя работающего при высокотемпературных режимах;

MS Sequence V — служит для определения склонности смазывающего материала к возникновению низкотемпературных отложений в процессе работы двигателя при переменных режимах;

Испытания проводимые по методу MS Sequence II осуществляют на V – образном восьмицилиндровом двигателе наименованием Oldsmobile (первоначально эксплуатировали модель 1964 г., в последующем — модель 1967 г.). Режимы испытаний смазывающего материала по двум модификациям метода Sequence IIA и 1IB, которые незначительно различаются друг с другом, приведены в таблице 1.12:

Таблица 1.12 – Параметры проведения испытаний.

	Методы испытания MS Sequence		
	II A	II B	II C
Частота вращения коленчатого вала, об/мин	1500	1500	1500
Мощность, кВт	18,4	18,4	18,4
Коэффициент избытка воздуха	0,81	0,88	0,88
Температура, °С - масла -охлаждающей жидкости в двигателе - на входе - на выходе -воздуха перед карбюратором	49 32 35 27	49 38 41 27	49 41 43 27
Продолжительность работы двигателя, ч	20	20	28

Основные характеристики и продолжительность испытания по методу Sequence 110 были изменены с целью усиления условий работы смазывающего материала в двигателе [68]: первые 28 ч двигатель эксплуатируется в постоянном режиме, далее 2 ч при более высокой температуре охлаждающей жидкости (составляет на входе в двигатель 46 °С, показатель при выходе из системы двигателя температурой 49 °С); далее, двигатель отключают на 30 мин, после чего 2 ч он эксплуатируется на ненасыщенной топливо – воздушной смеси, также высокотемпературном режиме (при n = 3600 об/мин, N_e = 73,5 кВт, температура смазывающего материала составляет 127 °С, показатель температуры охлаждающей жидкости составляет на входе в систему двигателя температурой 88 °С, на выходе температура составляет 93 °С).

По завершению испытаний изучают ржавление гидравлических толкателей, шатунов двигателя, а так же перепускного клапана масляного насоса. Общий анализ состояния двигателя обязана быть: для смазывающих материалов группы SC — не менее 8,2 балла (метод Sequence II A), для масел группы SD — не менее 8,8 балла (метод Sequence II B), для масел группы SE — не менее 8,4 балла (метод Sequence IIC).

Исследования по методам с наименованием MS Sequence III A и III B являются продолжением испытаний проводившихся по методам MS Se-

quence IIA и IIB — используется идентичный двигатель (без последующей очистки деталей), используемый смазывающий материал не заменяется. До начала проведения испытания по методу с наименованием Sequence II 1C детали должны быть тщательно очищены от отложений и промыты, в двигатель необходимо залить свежее масло. Поэтому, разница методов Sequence IIA и IIIA, и методов Sequence IIB и IIIB, методы исследования масел Sequence IIC и II 1C не взаимосвязаны друг с другом. Это реализует лучшую воспроизводимость итогов опытов по методу с наименованием Sequence II 1C (в сравнении с методами с наименованием Sequence IIIA и IIIB), это особенно важно, поэтому данный метод служит для описания антиокислительных свойств смазывающего материала по приросту его вязкости за время исследования [69] (возможное увеличение вязкости масла при температуре 38 °C за 40 ч эксплуатации двигателя — не превышающим 400%). Иными показателями оценки (и нормами классификации) при испытании смазывающего материала по методу с наименованием Sequence II 1C (за 64 ч работы двигателя) являются показатели приведенные в таблице 1.13.

Таблица 1.13 – Показатели оценки смазочного материала по методу Sequence II 1C.

Пригорание поршневых колец	нет
Лакообразование на поршне, баллы, не менее	9,3
Количество отложений на перемычках между маслосъемными кольцами, баллы, не ниже	6
Возникновение осадков в двигателе, баллы, не ниже	9
Залегание толкателей	Нет
Задир кулачков и толкателей	Нет
Суммарный износ кулачков и толкателей, мм, не более	0,05

Итоги испытаний в первых двух методах анализируют по наименьшему числу показателей (лако – и возникновение осадков в двигателе, а также задиру и износу кулачков и толкателей).

В методе MS Sequence IV свойства испытуемого смазывающего материала характеризуют взаимозависимость структуры рабочей поверхности тела толкателей клапанов и кулачков.

По методикам Sequence IIIA и IIIB испытания масла осуществляют в более легких условиях, нежели по методу Sequence IIIC, параметры которых приведены в таблице 1.14.

Суммированная продолжительность испытания 24 ч; из них V-образный восьмицилиндровый бензиновый автомобильный двигатель 12 ч эксплуатируется без нагрузки при 3600 об/мин, показании температуры масла 104 °C, а также охлаждающей жидкости на выходе из двигателя 82 °C; испытание осуществляют четырехчасовыми циклами, в процессе которых двигатель 2 ч эксплуатируется, а затем его на 2 ч производят остановку. Противозадирные качества масла считают удовлетворительными, при условии, что

рабочая поверхность толкателей и кулачков чистая или на поверхности толкателей присутствуют отдельные небольшие риски.

Таблица 1.14 – Параметры проведения испытаний MS Sequence.

	Методы испытания MS Sequence		
	III A	III B	III C
Частота вращения коленчатого вала, об/мин	3400	3600	3000
Мощность, кВт	62,5	73,5	73,5
Коэффициент избытка воздуха	1,14	1,14	1,14
Температура, °С - масла -охлаждающей жидкости в двигателе - на входе - на выходе -воздуха перед карбюратором	129 88 93 27	132 88 93 27	149 113 118 27
Продолжительность работы двигателя, ч	40	58	64

1.4.3 Метод по ГОСТ 8674-58

Подготовительные работы к испытанию по [70] осуществляется следующим образом. Аппарат Папок монтируется в месте, которое обеспеченно приточно – вытяжной системой вентиляции. Контролируют горизонтальность установки аппарата по специальному уровню. Аппарат показан на рисунке 1.2.

Диск обязан быть чистым, а также отшлифованным и прижатым к поверхности нагревательной пластине таким образом, чтобы нагрев производился равномерно по всем точкам. Характер шероховатости поверхности обратной стороны диска *Ra* обязаны быть в диапазоне 0,63 … 0,32 мкм по ГОСТ 2789 – 73 [71].

В случае обнаружения на диске отложений в виде лака, они обязаны быть сняты скальпелем, после чего необходима шлифовка шкуркой.

Приготовленный диск монтируют сверху нагревательной пластины аппарата. Металлический сплав устанавливают в гнездо диска.

Испарители до процесса испытания обязаны быть сухими и очищенными. Испарители изображены на рис. 1.3 .

В случае, когда испарители находятся в процессе работы и на них присутствуют лаковые отложения, в этом случае их кипятят в 10 - 15% - ном растворе щелочи продолжительностью 20 – 60 мин.

После кипячения в щелочном растворе, испарители следует тщательно промыть водой. Лаковые отложения, которые остались, снимают осторожно при помощи скальпеля.

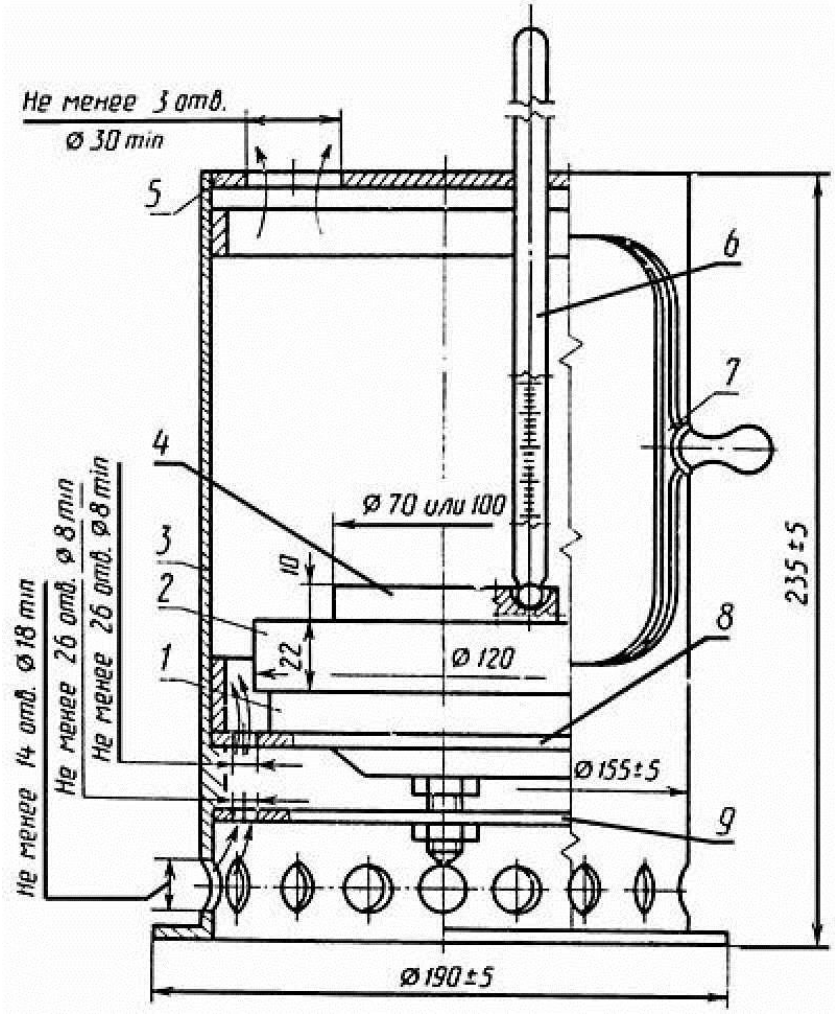


Рисунок 1.2 – Аппарат Папок. 1 – электрический нагревательный элемент (мощность составляет 650 Вт min); 2 – пластина нагрева; 3 – корпус из металла; 4 – диск; 5 - верхняя крышка; 6 – градусник; 7 –стеклянная подвижная дверца; 8 – накладка; 9 - нижняя крышка.

После чего, испарители опускают в стакан, в котором содержится соляная кислота на 1 – 2 мин, в последующем этапе сливают кислоту, потом наполняют водой и детально омывают струей воды и перемешивают, далее испарители протирают, дают им высохнуть и производят доочистку, вручную, шлифовальной шкуркой при помощи электромоторчика, для этого на

шкив моторчика, как правило, надевают резиновую пробку, диаметр которой равен внутреннему диаметру испарителя, далее наклеивают шкурку для шлифования шлифования.

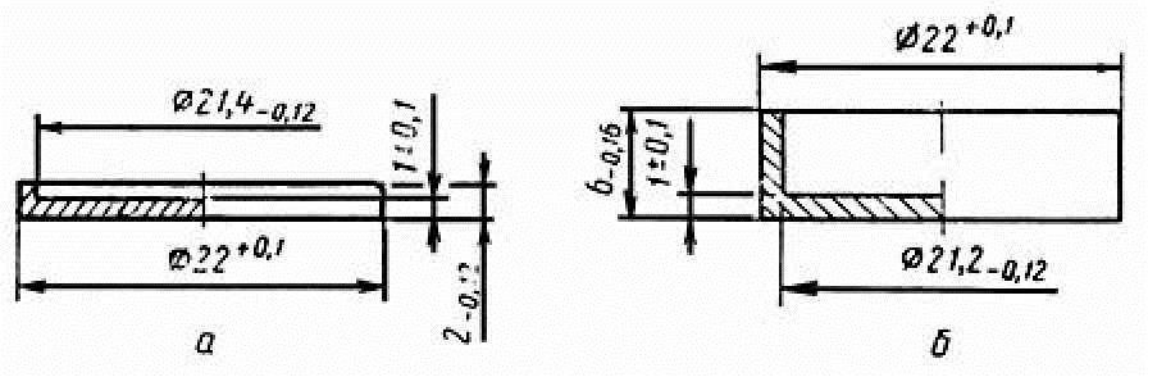


Рисунок 1.3 – Испарители *а* - испаритель для навески масла весом 0,035 … 0,040 г; *б* - испаритель для навески масла весом 0,2 г.

Чтобы отшлифовать внутреннею сторону испарителя его с периодичностью прижимают внутренней стороной к поверхности вращающейся пробки со шкуркой. Поверхность испарителя под нагружением шлифуют ослабленным прижатием испарителя к поверхности пробки шлифовальной шкуркой, параллельно испарители вращаются одновременно с пробкой и шлифуются с наружной поверхности. После чего испарители следует промыть в бензине, протереть хлопчатобумажной тонкой тканью, далее помещают на специальной фильтровальной бумаге перемещают в специальный сушильный шкаф, обязательно выдерживают при значении температуры (100 ± 5) °С, продолжительностью 30 мин, далее охлаждают, затем взвешивают при погрешности не превышающей 0,0002 г. Процесс высушивания, взвешивания и охлаждения необходимо повторять до получения разности между двумя последовательными взвешиваниями не более 0,0004 г.

Монтируют экстракционный аппарат из холодильника, колбы и насадки, на закрытую холодную электроплитку, далее заливают в него примерно 350 – 400 см^3 петролейного эфира. Исследуют плотность соединения некоторых элементов аппарата, а также прочность их прикрепления к штативу.

Процесс испытания начинается с включения нагрева аппарата Папок, после полного расплавления металлического сплава в полости гнезда диска опускают туда термометр так, чтобы сплав смог полностью скрыть ртутный резервуар термометра. После чего происходит оценка моторных свойств. Моторные свойства смазывающих материалов оцениваются количеством рабочей фракции и лака, которые образовались за определенный период времени, испаряемостью, а так же критической температурой лакообразования (это максимальный уровень температуры, при воздействии которой за время в 30 мин появляется не более трех процентов лака).

В каждом из имеющихся четырех испарителей берут пробу масла 0,05 ± 0,02 г, при этом погрешностью не должна превышать 0,0002 г.

При достижении уровня температуры, которая указана в нормативно-технической документации для продукта, диск выдерживают на протяжении 10 мин, затем приоткрывают дверцу аппарата, монтируют на поверхность диска испарители с пробами испытуемого масла, затем пускают секундомер, закрывают дверцу.

Нагрев диска с испарителями осуществляется в течение 30 мин (или с продолжительностью времени, которая указана в нормативно – технической документации), контролируя температуру при погрешности не превышающей ± 2 °С контактным термометром или терморегулятором.

Каждый испаритель снимают с поверхности диска съемником, далее опускают на плитку состоящую из керамики, необходимо охладить изначально на воздухе на протяжении 10 мин, после чего в эксикаторе в течение около 20 мин, взвесить с погрешностью не превышающей 0,0002 г и вычислить испаряемость исследуемого масла.

Испарители, на которых остались остатки продукта, необходимо поместить в алюминиевую подставку продуктом вверх. Все испарители заворачивают в фильтровальную бумагу.

Подставку и испарители помещают в насадку экстракционного аппарата, далее нагревают колбу таким образом, чтобы конденсат тек со скоростью примерно 3 – 5 капель в 1 с. Экстрагирование проводят до получения бесцветного раствора в объеме насадки. Подставку и испаритель извлекают после процесса полного остывания экстракционного аппарата.

Далее испарители с наличием проэкстрагированного остатка перемещают в сушильный шкаф на специальной фильтровальной бумаге, затем выдерживают при значении температуры(100 ± 5) °С продолжительностью в 30 мин, потом охлаждают и взвешивают, погрешность не должна превышать 0,0002 г.

При условии, что на фильтровальной бумаге содержаться частички лака, их необходимо осторожно перенести в испаритель. Процессы сушки, взвешивания, а также охлаждения повторяют до выявления расхождения между двумя последовательными процессами взвешивания не превышающего 0,0004 г. По показаниям взвешивания вычисляют среднюю величину рабочей фракции масла, которая была извлечена растворителем в экстракторе, а так же величину остатка на поверхности испарителя – лака.

Чтобы определить критическую температуру процесса лакообразования, смазывающий материал нагревают при значении температуры 250 °С продолжительностью в 30 мин. В случае превышения количества лака более чем 3%,следовательно испытания повторяют в процессе понижения температуры на 5 – 10 °С. В случае, если количество лака меньше или составляет 3%, соответственно надо повысить температуру испытания. Значение критической температуры лакообразования обязана быть кратной 5.

Термоокислительную стабильность смазывающего материала исследуют следующим способом. В каждый испаритель берут пробу испытуемого масла с погрешностью, не превышающей 0,0002 г:

- 0,035 – 0,040 г – для смазывающих материалов с вязкостью выше $8{,}5\cdot10^{-6}$ $м^2/с$ (8,5 сСт) при температуре 100 °С;
- (0,2 ± 0,005) г – для смазывающих материалов с вязкостью до $8{,}5\cdot10^{-6}$ $м^2/с$ (8,5 сСт) при 100 °С.

После того, как масляная пленка потемнеет, что будет свидетельствовать об окислении масла, при помощи съемника снимают с диска один испаритель и помещают на керамическую поверхность плитки, фиксируют время снятия образца. Следующие три испарителя следует снять поочередно, через промежутки в 5 – 10 мин для смазывающих материалов без присадок, через 20 мин для смазывающих материалов с применением присадок, фиксируя время.

Испарители на керамической плитке, сначала охлаждают на воздухе 10 мин, после чего в эксикаторе на протяжении 15 – 20 мин, далее взвешивают с погрешностью, которая не превышает 0,0002 г.

По результатам процесса взвешивания вычисляют испаряемость исследуемого масла. Испарители в которых остался остаток помещают в подставку из алюминия (см. черт.4 или 5) остатком вниз для смазывающих материалов с вязкостью до $8{,}5\cdot10^{-6}$ $м^2/с$ (8,5 сСт) при температуре 100 °С или остатком вверх для масел имеющих вязкость выше $8{,}5\cdot10^{-6}$ $м^2/с$ (8,5 сСт) при 100 °С.

Термоокислительная стойкость смазывающих материалов выражается временем в минутах, при температуре в 250 °С или температуре при которой остаток, состоит из 50% - рабочей фракции и 50% - лака.

После чего производится обработка полученных результатов.

Испаряемость смазывающего материала при температуре испытания T в продолжительности времени m ($И_T^\tau$) в процентах вычисляют по следующей формуле:

$$И_T^\tau = \frac{m_1 - (m_3 - m_2)}{m_1}\cdot 100, \qquad (1)$$

где m_1 - масса навески масла, г;

m_2 - масса чистого испарителя до опыта, г;

m_3 - масса испарителя с остатком масла после испарения в аппарате Папок, г.

Массовую долю рабочей фракции масла при температуре T в течение времени τ ($РФ_T^\tau$) в процентах вычисляют по формуле:

$$РФ_T^{\tau} = \frac{m_3 - m_4}{m_1} \cdot 100, \qquad (2)$$

где m_4 - масса испарителя с остатком лака после экстрагирования, г.

За полученный результат определения процесса испаряемости, а также рабочей фракции смазывающего материала принимают среднее арифметическое из двух проведенных испытаний. Расхождения между единовременными опытами (не менее трех испарителей), не должно быть выше 10%.

Массовую долю материала лака при температуре T в течение времени τ ($Л_T^{\tau}$) в процентах вычисляют по формуле:

$$Л_T^{\tau} = \frac{m_4 - m_2}{m_1} \cdot 100, \qquad (3)$$

За полученный результат вычисления принимают среднее арифметическое значение по двум испытаниям, допускаемые расхождения не должны быть выше 2%.

За результат по определению критической температуры лакообразования необходимо принимать меньшее значение результатов по двум параллельным испытаний, допускаемые расхождения не должны быть выше 5 °С.

На основе полученных данных, необходимо построить графическую зависимость рабочей фракции $РФ_T^{\tau}$ и лака $Л_T^{\tau}$ от показания времени (рис 1.4). По оси ординат откладывают в одинаковом масштабе $РФ_T^{\tau}$ и $Л_T^{\tau}$ в процентах, а по оси абсцисс - время в минутах.

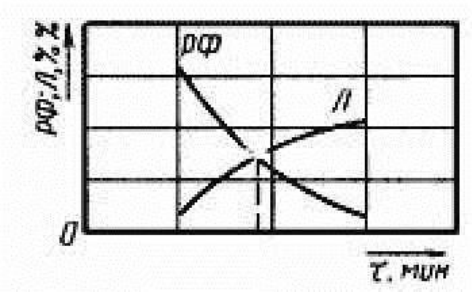


Рис. 1.4 - Зависимость рабочей фракции и лака от времени.

Точка пересечения кривых $РФ_T^{\tau}$ и $Л_T^{\tau}$ соответствует термоокислительной стабильности в минутах.

В случае если же кривые не имеют пересечения, необходимо повторить определение при ином времени выдержки.

За полученный результат установления термоокислительной стойкости возможно принять среднеарифметическое значение из двух испытаний, допускаемые расхождения не должны превышать величины, которые указаны в таблице 1.15.

Таблица 1.15 – Допускаемые расхождения результатов испытания.

Наименование величины	Допускаемое расхождение
Термоокислительная стойкость смазывающего материала с вязкостью выше $8,5 \cdot 10^{-6}\ м^2/с$ (8,5 сСт) при 100 °С: до 15 мин св. 15 мин	2 мин между параллельными определениями 10% от среднего результата
Термоокислительная стойкость смазывающих материалов с вязкостью до $8,5 \cdot 10^{-6}\ м^2/с$ (8,5 сСт) при 100 °С: до 15 мин св. 15 мин	3 мин между одновременными определениями 15% от среднего результата

1.5 Выводы по первой главе

В главе 1.1 представлены классификации масел по следующим параметрам: диапазон температур внешней среды, класс вязкости, в зависимости от эксплуатационных свойств, а так же относительно показаний динамической и кинематической вязкости. Отсутствует классификация по температурной области работоспособности смазывающих материалов.

Проведенный анализ показал, что температура является важным фактором, влияющим как на надежность двигателя внутреннего сгорания, так и на ресурс моторного масла, поэтому установления предельных температурных показателей для моторных масел является актуальной задачей, направленной на обоснованный их выбор.

Анализ базовых основ масел показал, что масло с минеральной базовой основой обладает самыми низкими эксплуатационными показателями по сравнению с частично синтетическими и синтетическими маслами. В частично синтетических маслах эксплуатационные показатели имеют улучшения по отдельным параметрам. Масла с синтетической базовой основой обладают наилучшими эксплуатационными показателями. Из этого следует, что лучшими температурными показателями работоспособности смазывающих материалов должны обладать синтетические масла, с пониженными показателями частично синтетические масла, и самими низкими показателями обладают минеральные масла.

На основе проведенного анализа методов определения температурных параметров работоспособности смазочных материалов, показана необходимость разработки новых, более информативных и менее трудоемких методов контроля.

2 Разработка метода контроля температурной области работоспособности смазочных масел

2.1 Обоснование средств контроля и испытания смазочных масел

2.1.1 Прибор для термостатирования смазочных масел

Данный прибор предназначен для определения термоокислительной стабильности товарных и работавших смазочных материалов.

Рисунок 2.1 Общий вид прибора для термостатирования смазочных материалов: 1 — механический блок; 2 — блок измерения и управления

Термоокислительная стабильность выражает склонность смазывающего материала к окислению и возникновению продуктов окисления. В процессе термостатирования смазочных материалов меняются их оптические свойства, испаряемость и вязкость. На рисунке 2.1 представлен общий вид прибора для термостатирования смазочных масел [72].

Прибор (рисунок 2.1) состоит из механического блока 1, обеспечивающего нагрев и перемешивание пробы масла и измерительного блока 2 с органами управления, установленными на передней панели.

Механический блок (рисунок 2.2) имеет стеклянный стакан 1, на внешней поверхности которого смонтирован нагревательный элемент 2, изолированный с помощью термоизоляцией 3 и смонтирован в корпус 4. Стакан 1 монтируют на поверхности шарнирной платформе 5, выполненной поворотной и фиксируемой в горизонтальном положении фиксатором 6. В стакан 1 погружается стеклянная мешалка 7, зафиксированная на валу 8, смонтированном на подшипниках 9 в подшипниковом узле 10, закрытым крышкой 11. Вал 8 с помощью упругой муфты 12 соединен с микроэлектродвигателем 13,

установленным в кронштейне 14. Для выполнения соосности валов мешалки и электродвигателя подшипниковый узел установлен в кронштейне 16. Оба кронштейна 14 и 16 крепятся к передней панели с помощью винтов 15 и 17. Температура исследуемого масла измеряется с помощью термопары 18 (хромель – копель). Измерительный блок включает схемы питания, задания и сравнения температуры, настройки частоты вращения мешалки и автоматического поддержания температуры.

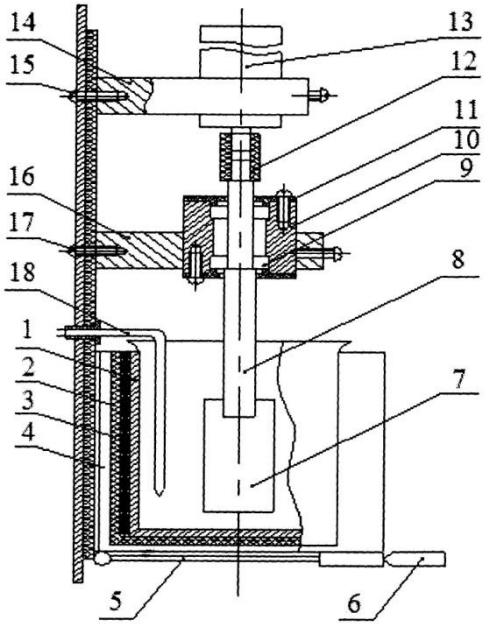


Рисунок 2.2 – Механический блок прибора для термостатирования смазочных масел: 1 - стакан для испытуемого масла; 2 - нагреватель; 3 - теплоизоляция; 4 - кожух; 5 - платформа; 6 - фиксатор платформы; 7 - мешалка; 8 - вал; 9 - подшипник; 10 - узел подшипниковый; 11 - крышка; 12 муфта; 13 — микроэлектродвигатель; 14, 16 - кронштейн; 15, 17 - винт; 18 – термопара.

Органы управления, регистрации и установки значения температуры вынесены на лицевую панель прибора. Защита элементов измерительного блока от перепадов напряжения сети обеспечивается предохранительным устройством. Температура испытуемого масла регистрируется цифровым индикатором, а необходимая температура задается дискретно и в процессе испытания поддерживается автоматически с точностью ± 1 °С. Напряжение питания на нагревательный элемент подается через штепсельный разъем от измерительного блока. Частота вращения мешалки устанавливается дискретно, регистрируется цифровым индикатором и в процессе испытания поддерживается автоматически с точностью ± 5 об/мин. После каждого испытания отбирается проба масла для оценки текущих параметров. Проба масла взвешивается для определения испаряемости масла, а также оцениваются изменения оптических свойств масла.

В таблице 2.1 представлена техническая характеристика прибора для термостатирования.

Таблица 2.1 - Техническая характеристика прибора для термостатирования смазочных материалов.

Параметры	Значения параметров
Напряжение питания, В	220 ± 10 %
Максимальная мощность нагревателя, ВА	400 ± 1,0 %
Частота вращения мешалки, об / мин (регулируемая)	300 ± 2,0
Масса испытуемого масла, г	100 ± 0,1
Температурный диапазон нагрева масел, °С	От 50 до 250
Датчик температуры	Хромель – копель
Габариты прибора: мм Высота Ширина Длина	 450 ± 5,0 170 ± 5 740 ± 5
Масса прибора, *кг*	8,5 ± 0,5

2.1.2 Фотометрическое устройство

Фотометрическое устройство предназначено для оценки загрязненности гидравлических, индустриальных, моторных и трансмиссионных масел. Показателем оценки смазывающих материалов является коэффициент поглощения светового потока или оптическая плотность [73].

Фотометрическое устройство состоит из оптического 1 и измерительного 2 блоков (рисунок). Оптический блок предназначен для прямого фотометрирования масел различной прозрачности. Фотометрическая кювета предназначена для образования фотометрируемого слоя смазывающего материала заданной толщины. В таблице 2.2 приведена техническая характеристика фотометра.

Прибор пропускает стабилизированный монохроматический световой поток сквозь слой исследуемого смазочного материала на фотоприемник. В зависимости от концентрации механических примесей и продуктов окисления масла на фотоприемник излучают различные световые потоки, пропорциональные концентрации. Чем больше примесей, тем ниже показания прибора.

Рисунок 2.3 - Фотометрическое устройство: 1 – блок измерения; 2 – фотометрическая кювета.

Степень окисления моторных масел оценивалась по оптической плотности D.

Таблица 2.2 - Техническая характеристика фотометрического устройства

Наименование параметра	Единицы измерения	Значение
Диапазон измерений	мкА	0 … 300
Фотоэлемент	-	Сф 2 - 1 А
Погрешность измерения	%	± 2,0
Время одного измерения с учетом вспомогательного	мин	3,0 ± 0,1
Время непосредственного измерения	с	5,0 ± 0,1
Толщина фотометрируемого слоя при фотометрировании моторных масел	мм	2,0
Габаритные размеры, (Д × Ш × В) мм		225 × 40 × 105
Масса, кг		1,2
Спектр		Красный
Длина волны	Нм	740

Браковочные показатели по механическим примесям устанавливаются экспериментально для каждого сорта масла и типа двигателя.

2.1.3 Электронные весы

Предназначены для контроля и измерения массы заливаемого смазочного материала в прибор для определения теормоокислительной стабильности с точностью ± 0,1 г и массы испарившегося масла при испытании.

2.2 Выбор смазочных материалов для исследования

Для исследования были выбраны два вида смазочных материалов, моторные и трансмиссионные масла.

В качестве моторных масел выбраны масла по трем базовым основам: минеральной, частично синтетической и синтетической.

Минеральные масла: ZIC HIFLO 10W – 40 SL, Роснефть OPTIMUM SAE 10W – 40 SG / CD, Лукойл СТАНДАРТ 10W – 40 SF / CC, Mobil Super 1000 15W – 40 SL / CF, Castrol GTX Professional A3 10W – 40 SL / CF.

Частично синтетические масла: Роснефть Maximum 10W – 40 SL / CF, Castrol Magnatec 10W – 40 R SL / CF, Лукойл Люкс 5W – 40 SL / CF, Motul 6100 Synergie + 5W – 30 SL / CF.

Синтетические масла: elf EVOLUTION 900 5W – 40 NF, Лукойл Люкс 5W – 40 SN / CF, GAZPROMNEFT PREMIUM N 5W – 40 SN / CF, Kixx G1 5W – 40 SN / CF, Alpha`s 5W – 40 SN.

Для испытаний трансмиссионных масел, выбраны: минеральное масло Лукойл трансмиссионное 80W – 90 ТМ - 5 (GL – 5), частично синтетическое G - Box EXPERT 75W – 90 GL – 5 и синтетическое масло MOTUL gear 300 SAE 75W – 90 GL – 4, GL – 5.

Данные моторные и трансмиссионные масла различаются базовой основой, классом вязкости и группами эксплуатационных свойств, поэтому предстоит исследовать влияние этих параметров на температурные параметры их работоспособности.

2.3 Методика контроля температурной области работоспособности смазочных масел

Методика исследования заключалась в следующем (ПРИЛОЖЕНИЕ А). Проба смазочного масла постоянной массы (100 ± 0,1 г) заливалась в стеклянный стакан прибора для термостатирования и термостатировалась в течение 8 – ми часов с перемешиванием стеклянной мешалкой с частотой вращения 300 об / мин при температурах от 150 до 180 °С (цикл повышения температуры). Затем новая проба масла термостатировалась также 8 – мь часов при температурах от 180 до 150 °С (цикл понижения температуры). Температура термостатирования в процессе испытания и частота вращения мешалки поддерживались автоматически. После каждых 8 – ми часов термостатирования проба окисленного масла взвешивалась, определялись масса испарившегося масла, отбиралась часть окисленного масла 2 г для прямого фотометрирования и определения оптической плотности окисленного масла D:

$$D = lg\frac{\varphi}{\varphi_0}, \qquad (2.1)$$

где φ - монохроматический световой поток падающий на слой окисленного масла; φ_0 - световой поток прошедший через слой окисленного масла;

Показатель термоокислительной стабильности $П_{тос}$ рассчитывается по формуле:

$$П_{тос} = D + K_g \tag{2.2}$$

где K_g - коэффициент испаряемости.

$$K_g = \frac{m}{M}, \tag{2.3}$$

где m – масса испарившегося масла, г; M – масса пробы до испытания, г.

На рисунке 2.4 представлен алгоритм испытания смазочных масел по определению температурной области работоспособности.

Введены следующие обозначения: $T_{н.о}$ - температура начала окисления; $T_{н.и}$ - температура начала испарения; $T_{н.пр}$ - температура начала преобразований в масле; $T_{кр.о}$ - критическая температура окисления; $T_{кр.и}$ - критическая температура испарения; $T_{кр.пр}$ - критическая температура процессов преобразования в масле; $T_{п.д.о}$ - предельно допустимая температура процессов окисления; $T_{п.д.и}$ - предельно допустимая температура процессов испарения; $T_{п.д.пр}$ - предельно допустимая температура преобразований в масле.

При проведении испытаний, температурный диапазон для некоторых масел смещался на 10, 20, 30 °С в большую сторону, так как некоторые масла имеют большую стойкость к окислению.

По полученным данным оптической плотности D, испаряемости G и коэффициенту термоокислительной стабильности $П_{тос}$, строились графические зависимости от температуры термостатирования в циклах повышения и понижения температуры, по которым определялись регрессионные уравнения. Причем, по регрессионным уравнениям, полученным в циклах повышения температуры испытания, определялись температуры начала процессов окисления, испарения и температурных преобразований в исследуемом масле, а в циклах понижения температуры определялись критические температуры этих процессов. Это позволило установить влияние базовой основы, класса вязкости и группы эксплуатационных свойств на температурные параметры работоспособности исследуемых масел, их сравнивать и определить соответствие классификации.

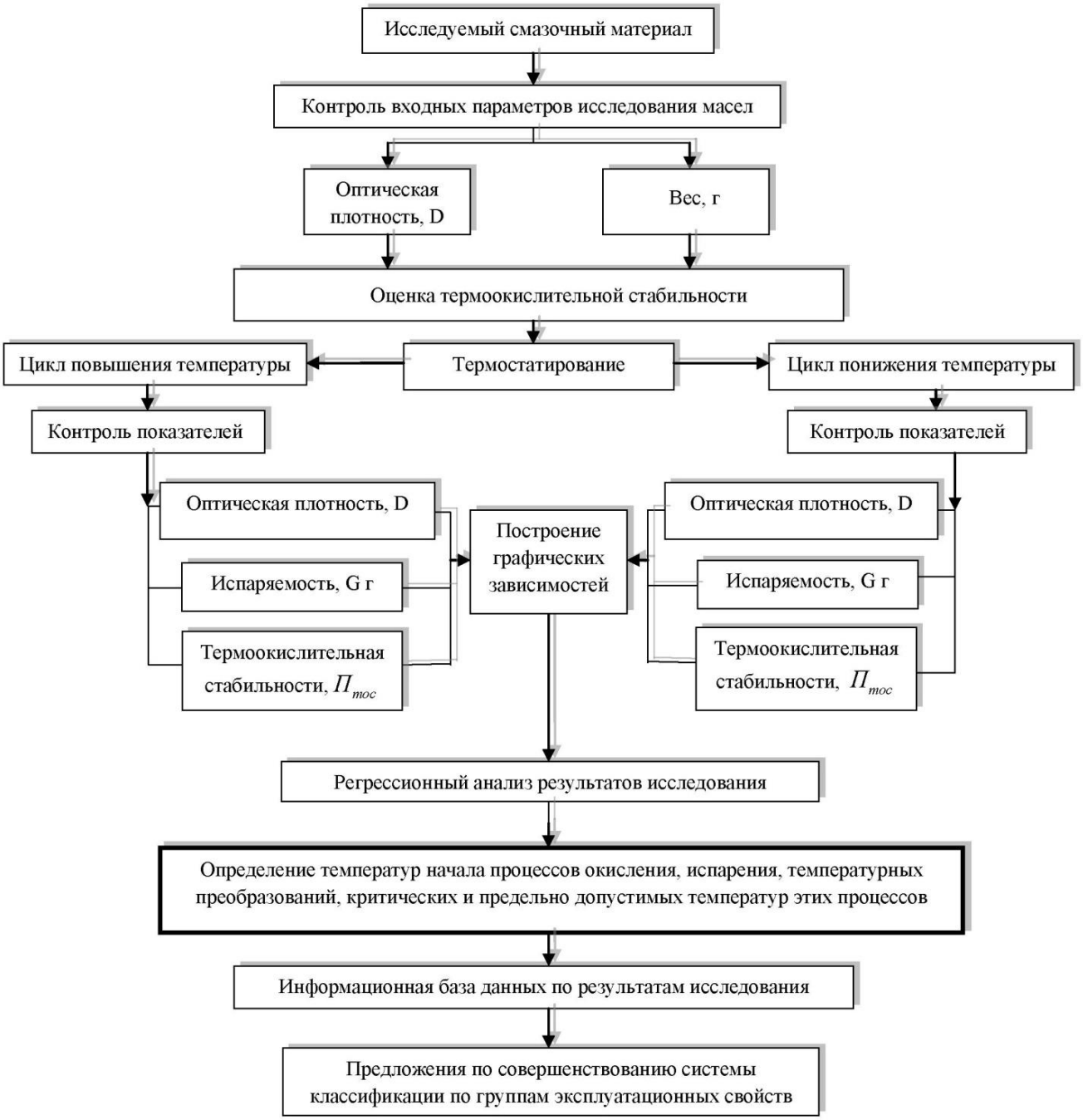


Рисунок 2.4 - Схема методики определения температурной области работоспособности смазочных масел.

Совместное решение регрессионных уравнений показателей термоокислительной стабильности (D=f(T); G=f(T); $П_{тос}$=f(T)) в циклах повышения и понижения температуры определяет температуру, при которой происходит их пересечение, названную предельно допустимой температурой работоспособности.

2.4 Метод обработки экспериментальных исследований

Достоверность показаний прибора для определения температурной стойкости (оптическая плотность, коэффициент относительной вязкости, испаряемости) оценивалось по сопоставимости результатов четырехкратного испытания одного сорта моторного масла Castrol Magnatec 10W – 40 R SL / CF и определении абсолютной, относительной погрешностей [74, 75, 76]. Использовались программы ЭВМ «Advanced Grapher» и «Excel» для определения среднего квадратичного отклонения, коэффициента корреляции, коэффициента регрессии и средней погрешности аппроксимации, результаты сведены в таблице 2.3.

Для оценки величины случайной ошибки результата измерения при *n* наблюдениях применим способ средней квадратичной ошибки по формуле:

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{1}^{n}(\bar{x} - x_i)^2}{n-1}}, \qquad (2.4)$$

где n – число наблюдений;

$\bar{x}$ – среднее арифметическое значение показателя;

x_i – результаты наблюдений.

Среднее значение каждого из показателя определяли как среднее арифметическое из полученных результатов наблюдений:

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i . \qquad (2.5)$$

Абсолютную погрешность данного прибора определяли как разность между средним арифметическим значением каждого из показателей и значением, полученным при отдельном наблюдении:

$$\Delta x_i = \left|\bar{x} - x_{от.набл}\right|. \qquad (2.6)$$

Относительная погрешность определяется как отношение средней квадратичной ошибки к среднему арифметическому значению показателей:

$$\varepsilon = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{\Delta x_i}{\bar{x}} \cdot 100\% . \qquad (2.7)$$

Для характеристики величины случайной ошибки необходимо знать доверительный интервал и величину доверительной вероятности, которая позволяет оценить степень надежности полученного результата. При измерениях можно ограничиться доверительной вероятностью α=0,95, которой

соответствует доверительный интервал в долях ω=2,0. Так для измерений показателей каждого наблюдения при соответствующей температуре испытания доверительный интервал $\Delta\tau_{\bar{x}}$ определяется по формуле:

$$\Delta\tau_{\bar{x}} = S_{\text{п}} \cdot \omega . \qquad (2.8)$$

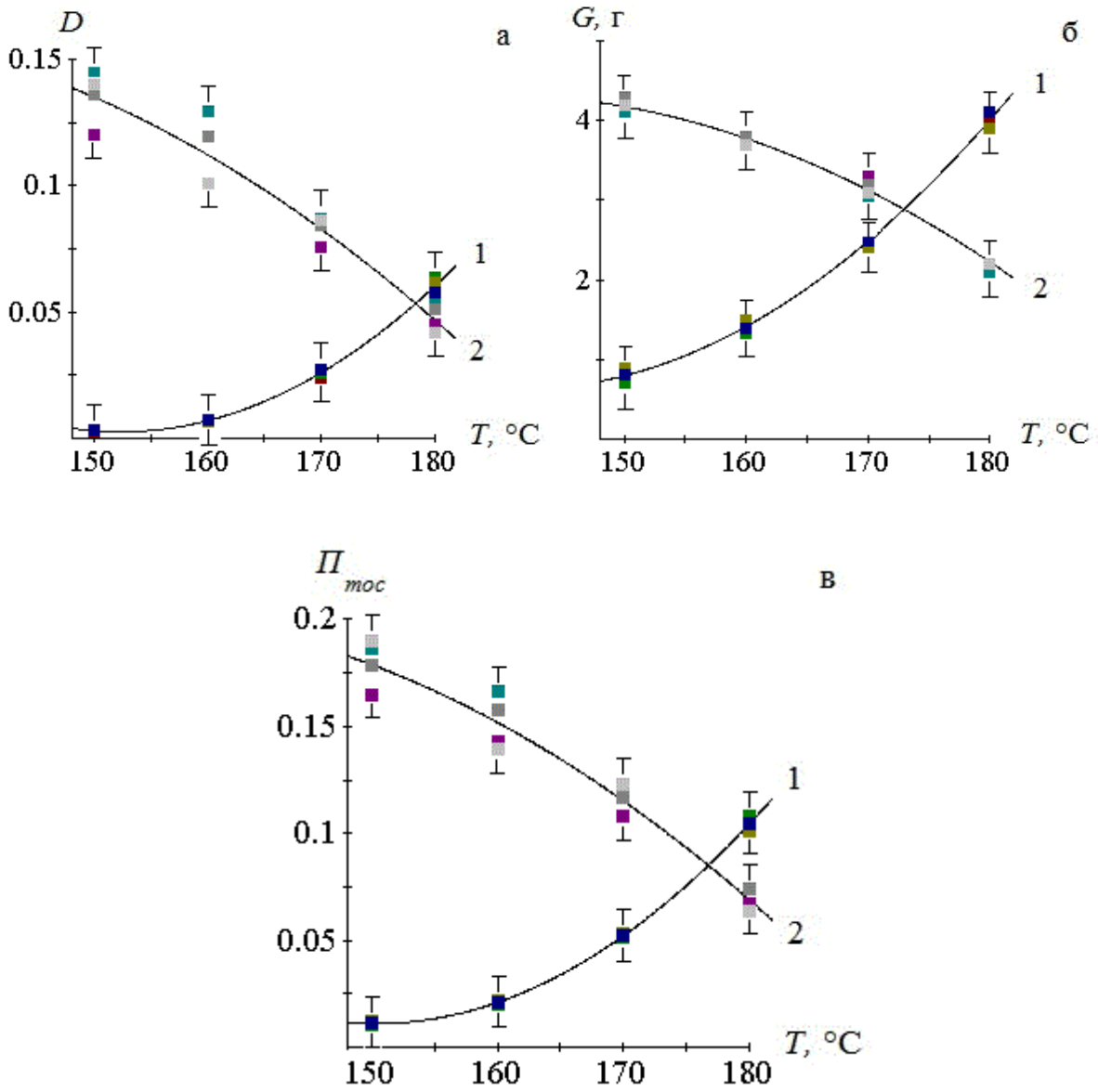


Рисунок 2.4 – Зависимости оптической плотности (а), испаряемости (б) и показателя термоокислительной стабильности (в) от температуры окисления частично синтетического моторного масла Castrol Magnatec 10W – 40 R SL / CF: 1 – цикл увеличения температуры; 2 – цикл понижения температуры (время испытания 8 часов).

После статической обработки результатов испытаний, полученные данные заносим в таблице 2.3.

Таким образом, в доверительные интервалы будут укладываться 95% результатов всех измерений. Значения средней относительной погрешности измерений и средняя погрешность аппроксимации не превышают 15%.

Статистическая обработка результатов при четырех наблюдениях с указанием доверительного интервала представлена на рисунке 2.4.

Таблица 2.3 – Данные статической обработки и регрессионного анализа результатов испытания частично синтетического моторного масла Castrol Magnatec 10W – 40 R SL / CF при термоокислении в диапазонах повышения температуры от 150 до 180 °С и понижения температур от 180 до 150 °С.

Показатель	Оптическая плотность, *D*							
Цикл	Повышение температуры				Понижение температуры			
Температура испытания, °С	150	160	170	180	180	170	160	150
Опыт №1	0,0027	0,0067	0,024	0,056	0,0451	0,0759	0,101	0,1202
Опыт №2	0,0035	0,0074	0,026	0,064	0,0533	0,0867	0,1293	0,1452
Опыт №3	0,0036	0,0069	0,027	0,062	0,051	0,0843	0,1197	0,136
Опыт №4	0,0035	0,0071	0,027	0,058	0,0417	0,0865	0,1012	0,1403
Среднее значение $D, \bar{x}$	0,0033	0,0070	0,0260	0,0600	0,0478	0,0834	0,1128	0,1354
Средняя квадратичная погрешность, S_n	0,0003	0,0002	0,0014	0,0037	0,0022	0,0051	0,0105	0,0108
Средняя относительная погрешность, %	7	2	4	5	3	4	6	6
Доверительный интервал $\Delta\tau_{\bar{x}}$	0,001	0,000	0,003	0,007	0,004	0,010	0,021	0,022
Уравнение регрессии	$7,5\cdot10^{-5}\cdot x^2-0,02285\cdot x+1,743$				$-3,25\cdot10^{-5}\cdot x^2+0,007795\cdot x-0,30305$			
Коэффициент корреляции	1				0.9			
Среднее квадратическое отклонение	$1,5\cdot10^{-19}$				$1,2\cdot10^{-4}$			
Показатель	Испаряемость, G							
Цикл	Повышение температуры				Понижение температуры			
Температура испытания, °С	150	160	170	180	180	170	160	150
Опыт №1	0,8	1,4	2,5	4	2,2	3,3	3,7	4,2
Опыт №2	0,7	1,3	2,5	3,9	2,1	3	3,7	4,1
Опыт №3	0,9	1,5	2,4	3,9	2,2	3,2	3,8	4,3
Опыт №4	0,8	1,4	2,5	4,1	2,2	3,1	3,7	4,2
Среднее значение $K_\mu, \bar{x}$	0,8	1,4	2,5	4	2,2	3,2	3,7	4,2
Средняя квадратичная погрешность, S_n	0,0816	0,0816	0,0500	0,0957	0,0500	0,1291	0,0500	0,0816

Окончание таблицы 2.3.

Средняя относительная погрешность, %	6	4	2	2	2	3	1	1
Доверительный интервал $\Delta\tau_{\bar{x}}$	0,163	0,163	0,100	0,191	0,100	0,258	0,100	0,163
Уравнение регрессии	$0,00225\cdot x^2-0,6355\cdot x+45,495$				$-0,00125\cdot x^2+0,3475\cdot x-19,825$			
Коэффициент корреляции	0.9				0.99			
Среднее квадратическое отклонение	0.01				0.06			
Показатель	Показатель термоокислительной стабильности, $П_{тос}$							
Цикл	Повышение температуры				Понижение температуры			
Температура испытания, °С	150	160	170	180	180	170	160	150
Опыт №1	0,0107	0,0207	0,052	0,102	0,0671	0,1079	0,143	0,1648
Опыт №2	0,0105	0,0204	0,051	0,108	0,0743	0,1177	0,1663	0,1862
Опыт №3	0,0126	0,0219	0,053	0,101	0,0739	0,1168	0,1577	0,1788
Опыт №4	0,0115	0,0211	0,052	0,105	0,0637	0,1228	0,1391	0,1898
Среднее значение $G,\bar{x}$	0,0113	0,0210	0,0520	0,1040	0,0698	0,1163	0,1515	0,1799
Средняя квадратичная погрешность, S_n	0,0010	0,0006	0,0008	0,0032	0,0052	0,0062	0,0127	0,0111
Средняя относительная погрешность, %	6	2	1	2	6	4	7	5
Доверительный интервал $\Delta\tau_{\bar{x}}$	0,002	0,001	0,002	0,006	0,010	0,012	0,025	0,022
Уравнение регрессии	$1,05\cdot10^{-4}\cdot x^2-0,03155\cdot x+2,381$				$-4,75\cdot10^{-5}\cdot x^2+0,012025\cdot x-0,55625$			
Коэффициент корреляции	1				0.9			
Среднее квадратическое отклонение	$3,9\cdot10^{-19}$				$6,4\cdot10^{-4}$			

2.5 Выводы по второй главе

Разработан метод контроля температурной области работоспособности смазочных масел различной базовой основы и назначения, включающий определение температуры начала процессов окисления, испарения и температурных преобразований, предельные и критические температуры этих процессов.

Разработана методика обработки экспериментальных результатов с применением регрессионного анализа, определены абсолютная и относи-

тельная погрешности измерений, среднее квадратичное отношение и коэффициент корреляции.

3. Исследование влияния режимов испытания на температурную область работоспособности смазочного масла

В этой главе представлены результаты исследований масел, выбранных из перечня исследуемых масел, для подтверждения неизменности полученных значений температур показателей термоокислительной стабильностипри разном времени испытания.

Для доказательной базы, выбрано время проведения испытаний по 6 и, 8 часов, а так же для частично синтетического моторного масла, были проведены испытания по 10 часов. Методика проведения испытания выполняется алогично пункту 2.3. В описаниях опытов приведены значения полученных данных при 6, 8 и 10 часах проведения опытов.

Для испытаний выбраны следующие масла:

1) Минеральное моторное масло Лукой СТАНДАРТ SF / CC 10W – 40;
2) Частично синтетическое моторное масло Castrol MAGNATEC 10W – 40 R SL / CF;
3) Синтетическое моторное масло GAZPROMNEFT PREMIUM N SAE 5W – 40 SN / CF;
4) Частично синтетическое трансмиссионное масло G-Box Expert GL – 5 75W – 90.

3.1 Минеральное моторное масло Лукой СТАНДАРТ 10W – 40 SF / CC

Моторное масло Лукойл Стандарт 10w – 40 SF / CC изготовлено из высококачественной минеральной базовой основы и качественного пакета присадок. Рекомендуется к использованию в автомобилях имеющим большой пробег, а так же с увеличенным расходом моторного масла. Данное масло следует использовать для бензиновых, а также дизельных двигателей имеющих большой пробег, которые не нуждаются в применении высококачественных масел. Не рекомендуется к применению в двигателях, которые оснащены интеркулером или турбонаддувом. Может отлично подойти как для грузовой техники, так и для легковых автомобилей. Из грузовой техники это: автофургон, внедорожник, кроссовер, микроавтобус и т.д., которые эксплуатируются с постоянными нагрузками и в сложных климатических условиях [77].

Данные были получены на основе 6 –ти часовых испытаний.

В таблице 3.1 приведены экспериментальные данные масла Лукойл СТАНДАРТ 10W – 40 SF / CC [78].

На рисунке 3.1 представлены зависимости оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения (кривая 1) и понижения (кривая 2) температуры испытания, при 6 – ти часовых испытаниях.

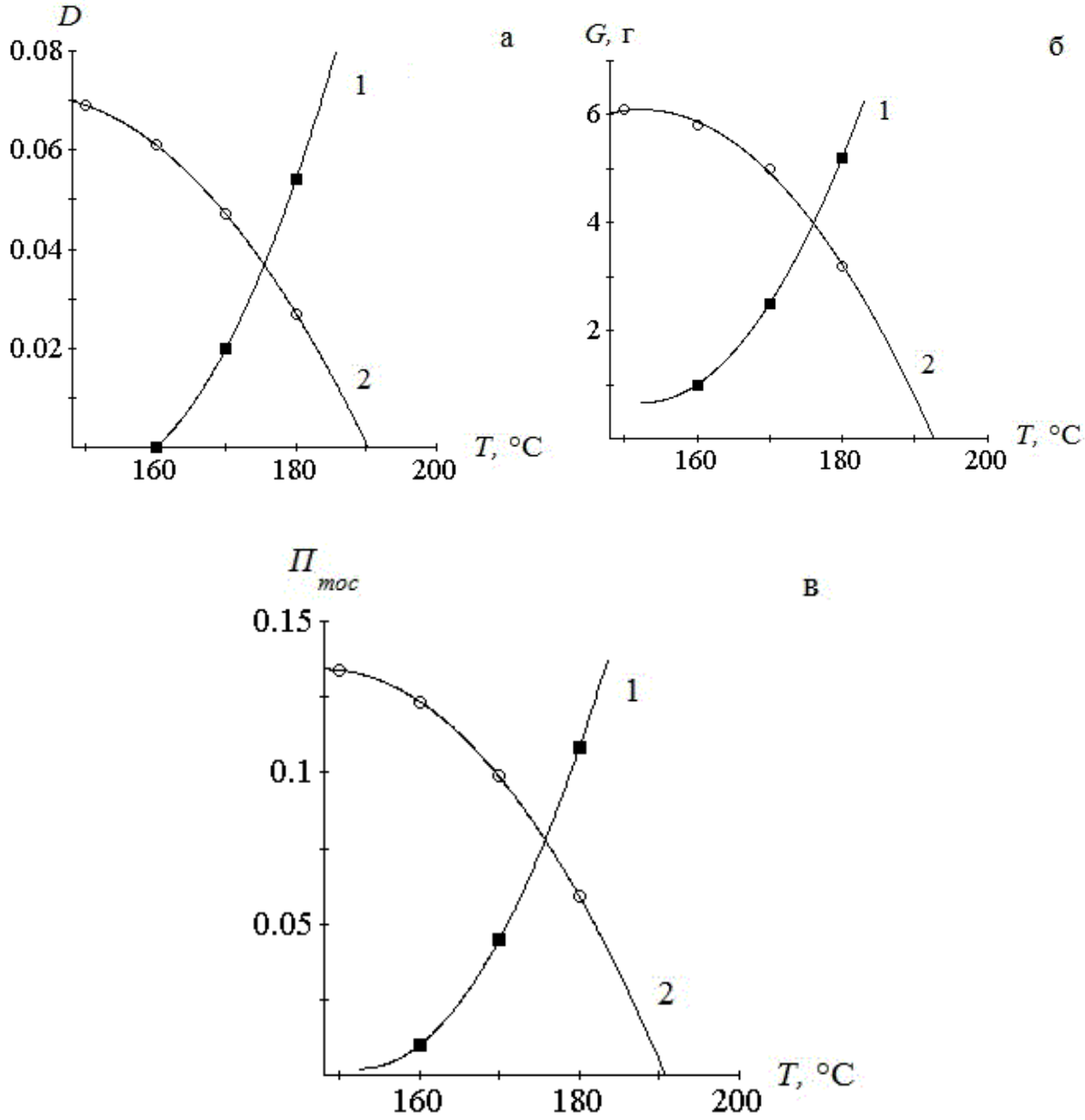


Рисунок 3.1 – Зависимости оптической плотности (а), испаряемости (б) и показателя термоокислительной стабильности (в) от температуры окисления минерального моторного масла Лукой СТАНДАРТ 10W – 40 SF / CC при 6 – ти часовых испытаниях: 1 – цикл повышения температуры; 2 – цикл понижения температуры.

Таблица 3.1 – Экспериментальные данные исследования масла Лукойл СТАНДАРТ 10W – 40 SF / CC, при 6 – ти часовых испытаниях.

Марка масла	Цикл температур	Температура испытания T, °C	Оптическая плотность, D	Испаряемость, G (суммарная)	Показатель термоокислительной стабильности, $П_{тос}$
Лукой СТАНДАРТ 10W – 40 SF / CC	повышения	160	0,0	1,0	0,01
		170	0,0202	2,5	0,0456
		180	0,0548	5,2	0,1085
	понижения	180	0,027	3,2	0,059
		170	0,0478	5,0	0,0997
		160	0,0619	5,8	0,1235
		150	0,069	6,1	0,1345

Таблица 3.2 – Регрессионные уравнения процессов окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной стабильности при испытании минерального моторного масла Лукой СТАНДАРТ 10W – 40 SF / CC, в течение 6 – ти часовых испытаний.

Показатели термоокислительной стабильности	Регрессионные уравнения цикла повышения температуры испытания	Температуры начала процессов, C°
Окисление	$D = 7 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 - 0,0211 \cdot T + 1,584$	160
Испарение	$G = 0,006 \cdot T^2 - 1,83 \cdot T + 140,2$	152,5
Температурные преобразования	$П_{тос} = 1,4 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 - 0,0427 \cdot T + 3,258$	152,5
	Регрессионные уравнения цикла понижения температуры испытания	Критические температуры процессов, C°
Окисление	$D = -3 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 0,0085 \cdot T - 0,531$	190,3
Испарение	$G = -0,00375 \cdot T^2 + 1,1425 \cdot T - 80,925$	192,6
Температурные преобразования	$П_{тос} = -7,25 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 0,021435 \cdot T - 1,45015$	190,8
	Разность регрессионных уравнений циклов повышения и понижения температуры испытания	Предельно допустимые температуры, C°
Окисление	$D = 0,0001 \cdot T^2 - 0,0296 \cdot T + 2,115$	175,4
Испарение	$G = 0,00975 \cdot T^2 - 2,9725 \cdot T + 221,125$	176
Температурные преобразования	$П_{тос} = 0,0002125 \cdot T^2 - 0,064135 \cdot T + 4,70815$	175,7

В таблице 3.3 приведены экспериментальные данные масла Лукойл Стандарт 10w – 40 SF / CC.

На рисунке 3.2 представлены зависимости оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения (кривая 1) и понижения (кривая 2) температуры испытания, при 8 – ти часовых испытаниях.

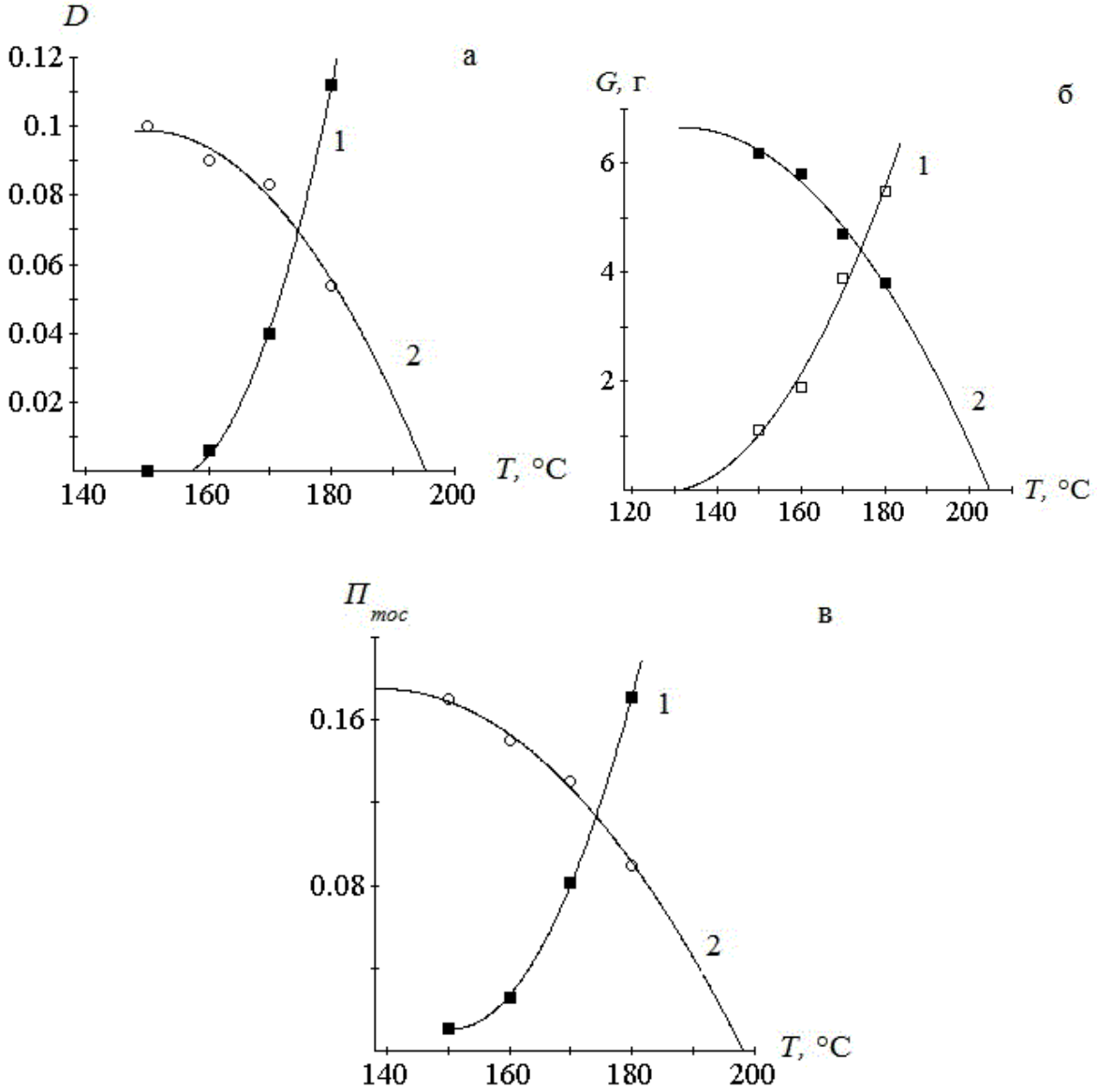


Рисунок 3.2 – Зависимости оптической плотности (а), испаряемости (б) и показателя термоокислительной стабильности (в) от температуры окисления минерального моторного масла Лукойл СТАНДАРТ 10W – 40 SF / CC, при 8 – ми часовых испытаниях: 1 – цикл повышения температуры; 2 – цикл понижения температуры.

Из приведенных данных (таблица 3.2) для минерального моторного масла Лукой СТАНДАРТ 10W – 40 SF / CC следует, что температура начала

процессов окисления – 160 С°, испарения – 152,5 С°, температурных преобразований составляет – 152,5 С°. Критическая температура составляет для: процессов окисления – 190,3 С°, испарения – 192,6 С°, температурных преобразований – 190,8 С°. Предельная температура составляет для: процессов окисления – 175,4 С°, испарения – 176 С°, температурных преобразований – 175,7 С°.

Данные были получены на основе 8 –ти часовых испытаний.

Регрессионные уравнения зависимостей оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения и понижения температуры сведены в таблице 3.4, с помощью которых вычислены температуры начала процессов окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной стабильности, критические температуры, а также предельно допустимые температуры работоспособности исследуемого моторного масла.

Таблица 3.3 – Экспериментальные данные испытания масла Лукойл Стандарт 10w – 40 SF / CC, при 8 – ми часовых испытаниях.

Марка масла	Цикл температур	Температура испытания T, °C	Оптическая плотность, D	Испаряемость, G (суммарная)	Показатель термоокислительной стабильности, $П_{тос}$
Лукойл СТАНДАРТ 10W – 40 SF / CC	повышения	150	0,0000	1,1	0,0110
		160	0,0067	1,9	0,0261
		170	0,0408	3,9	0,0812
		180	0,1128	5,5	0,1712
	понижения	180	0,0548	3,8	0,0928
		170	0,0834	4,7	0,1326
		160	0,0907	5,8	0,1525
		150	0,1054	6,2	0,1725

Таблица 3.4 – Регрессионные уравнения процессов окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной стабильности при испытании минерального моторного масла Лукойл СТАНДАРТ 10W – 40 SF / CC, при 8 – ми часовых испытаниях.

Показатели термоокислительной стабильности	Регрессионные уравнения цикла повышения температуры испытания	Температуры начала процессов, С°
Окисление	$D = 1,65 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 - 0,05075 \cdot T + 3,9005$	153,7
Испарение	$G = 0,002 \cdot T^2 - 0,508 \cdot T + 32,22$	127,1
Температурные преобразования	$П_{тос} = 1,8675 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 - 0.0562765 \cdot T + +4,250335$	150

Окончание таблицы 3.4.

	Регрессионные уравнения цикла понижения температуры испытания	Критические температуры процессов, С°
Окисление	$D = -4,75 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 0,014225 \cdot T - 0,96625$	195,3
Испарение	$G = -0,00125 \cdot T^2 + 0,3295 \cdot T - 15,055$	204,7
Температурные преобразования	$\Pi_{тос} = -5 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 0,0139 \cdot T - 0,791$	198,1
	Разность регрессионных уравнений циклов повышения и понижения температуры испытания	Предельно допустимые температуры, С°
Окисление	$D = 0,0002125 \cdot T^2 - 0,064975 \cdot T + 4,86675$	174,5
Испарение	$G = 0,00325 \cdot T^2 - 0,8375 \cdot T + 47,275$	174,1
Температурные преобразования	$\Pi_{тос} = 0,00023675 \cdot T^2 - 0,0701765 \cdot T + +5,041335$	174,1

Из приведенных данных (таблица 3.4) для минерального моторного масла Лукойл СТАНДАРТ SF – CC 10W – 40 следует, что температура начала процессов окисления – 157,1 С°, испарения – 131,3 С°, температурных преобразований составляет – 150 С°. Критическая температура составляет для: процессов окисления – 195,3 С°, испарения – 204,7 С°, температурных преобразований – 198,1 С°. Предельная температура составляет для: процессов окисления – 174,5 С°, испарения – 174,1 С°, температурных преобразований – 174,1 С°.

3.2 Частично синтетическое моторное масло Castrol MAGNATEC 10W – 40 R SL / CF

Моторное масло Castrol Magnatec 10W – 40 R SL / CF производится для применения в бензиновых и дизельных двигателях, в эксплуатации которых производитель рекомендует использование смазочных материалов, которые соответствуют классам вязкости SAE 10W – 40 и спецификациям ACEA A3 / B4, A3 / B3, API SL / CF или более ранним. Castrol Magnatec 10W – 40 R одобрен к эксплуатации в автомобилях от ведущих производителей техники [79].

Данные были получены на основе 6 –ти часовых испытаний.

В таблице 3.5 приведены экспериментальные данные масла Castrol MAGNATEC 10W – 40 R SL / CF.

На рисунке 3.3 представлены зависимости оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения (кривая 1) и понижения (кривая 2) температуры испытания.

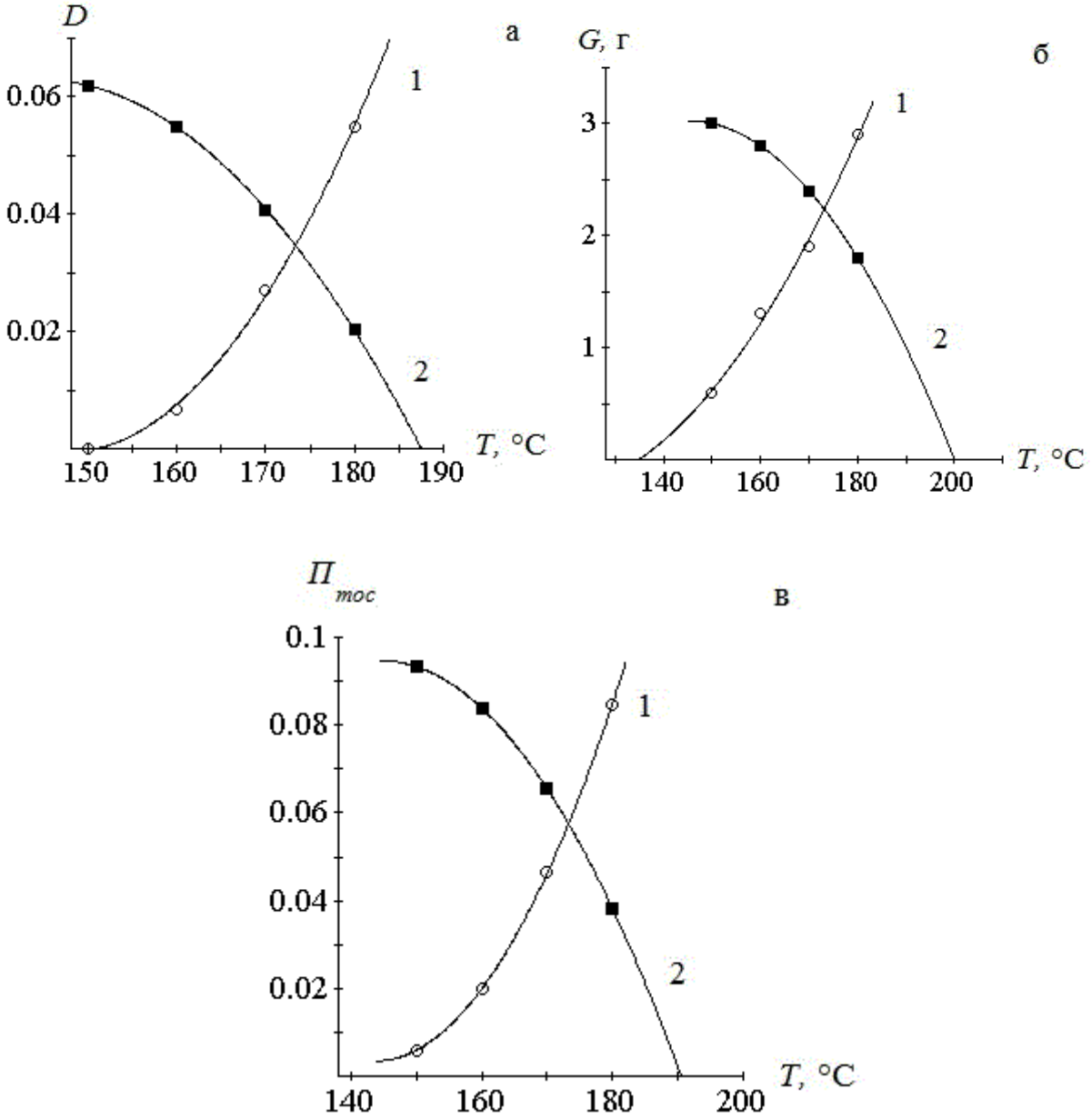


Рисунок 3.3 – Зависимости оптической плотности (а), испаряемости (б) и показателя термоокислительной стабильности (в) от температуры окисления частично синтетического моторного масла Castrol MAGNATEC 10W – 40 R SL / CF, при 6 – ти часовых испытаниях: 1 – цикл повышения температуры; 2 – цикл понижения температуры.

Регрессионные уравнения зависимостей оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения и понижения температуры сведены в таблице 3.6, с помощью которых вычислены температуры начала процессов окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной стабильности, критические температуры, а также предельно допустимые температуры работоспособности исследуемого моторного масла.

Таблица 3.5 – Экспериментальные данные исследования масла Castrol MAGNATEC 10W – 40 R SL / CF, при 6 – ти часовых испытаниях.

Марка масла	Цикл температур	Температура испытания T, °C	Оптическая плотность, D	Испаряемость, G (суммарная)	Показатель термоокислительной стабильности, $П_{тос}$
Castrol MAGNATEC 10W – 40 R SL / CF	повышения	150	0	0,6	0,0060
		160	0,0067	1,3	0,0198
		170	0,0270	1,9	0,0464
		180	0,0548	2,9	0,0848
	понижения	180	0,0202	1,8	0,0382
		170	0,0408	2,4	0,0654
		160	0,0548	2,8	0,0838
		150	0,0619	3	0,0933

Таблица 3.6 – Регрессионные уравнения процессов окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной стабильности при испытании частично синтетического моторного масла Castrol MAGNATEC 10W – 40 R SL / CF, при 6 – ти часовых испытаниях.

Показатели термоокислительной стабильности	Регрессионные уравнения цикла повышения температуры испытания	Температуры начала процессов, C°
Окисление	$D = 5,275 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 - 0,0155605 \cdot T + 1,146895$	150,9
Испарение	$G = 7,5 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 - 0,1725 \cdot T + 9,625$	134,7
Температурные преобразования	$П_{тос} = 6,15 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 - 0,017665 \cdot T + 1,27195$	143,8
	Регрессионные уравнения цикла понижения температуры испытания	Критические температуры процессов, C°
Окисление	$D = -3,375 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 0,0097465 \cdot T - 0,640685$	187,5
Испарение	$G = -0,001 \cdot T^2 + 0,29 \cdot T - 18$	200
Температурные преобразования	$П_{тос} = -4,425 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 0,0127655 \cdot T - -0,825895$	190,5
	Разность регрессионных уравнений циклов повышения и понижения температуры испытания	Предельно допустимые температуры, C°
Окисление	$D = 0,0000865 \cdot T^2 - 0,025307 \cdot T + 1,78758$	173,3

Окончание таблицы 3.6.

Испарение	$G = 0,00175 \cdot T^2 - 0,4625 \cdot T + 27,625$	173
Температурные преобразования	$П_{тос} = 0,00010575 \cdot T^2 - 0,0304305 \cdot T + +2,097845$	173,2

Из приведенных данных (таблица 3.6) для частично синтетического моторного масла Castrol MAGNATEC 10W – 40 R SL / CF следует, что температура начала процессов окисления – 150,9 С°, испарения составляет – 134,7 С°, температурных преобразований составляет – 143,8 С°. Критическая температура составляет для: процессов окисления – 184,5 С°, испарения – 200 С°, температурных преобразований – 190,5 С°. Предельная температура составляет для: процессов окисления – 173,3 С°, испарения – 173 С°, температурных преобразований – 173,2 С°.

Данные рассчитанные на основе 8 – ти часовых испытаний.

В таблице 3.7 приведены экспериментальные данные масла Castrol Magnatec 10W – 40 R SL / CF.

На рисунке 3.4 представлены зависимости оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения (кривая 1) и понижения (кривая 2) температуры испытания.

Таблица 3.7 – Экспериментальные данные испытания масла Castrol Magnatec 10W – 40 R SL / CF, при 8 – ми часовых испытаниях.

Марка масла	Цикл температур	Температура испытания T, °C	Оптическая плотность, D	Испаряемость, G (суммарная)	Показатель термоокислительной стабильности, $П_{тос}$
Castrol Magnatec 10W – 40 R SL / CF	повышения	150	0,0033	0,8	0,0113
		160	0,0070	1,4	0,0210
		170	0,0260	2,5	0,0520
		180	0,0600	4,0	0,1040
	понижения	180	0,0478	2,2	0,0698
		170	0,0834	3,2	0,1163
		160	0,1128	3,7	0,1515
		150	0,1354	4,2	0,1799

Регрессионные уравнения зависимостей оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения и понижения температуры сведены в таблице 3.8, с помощью которых вычислены температуры начала процессов окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной стабиль-

ности, критические температуры, а также предельно допустимые температуры работоспособности исследуемого моторного масла.

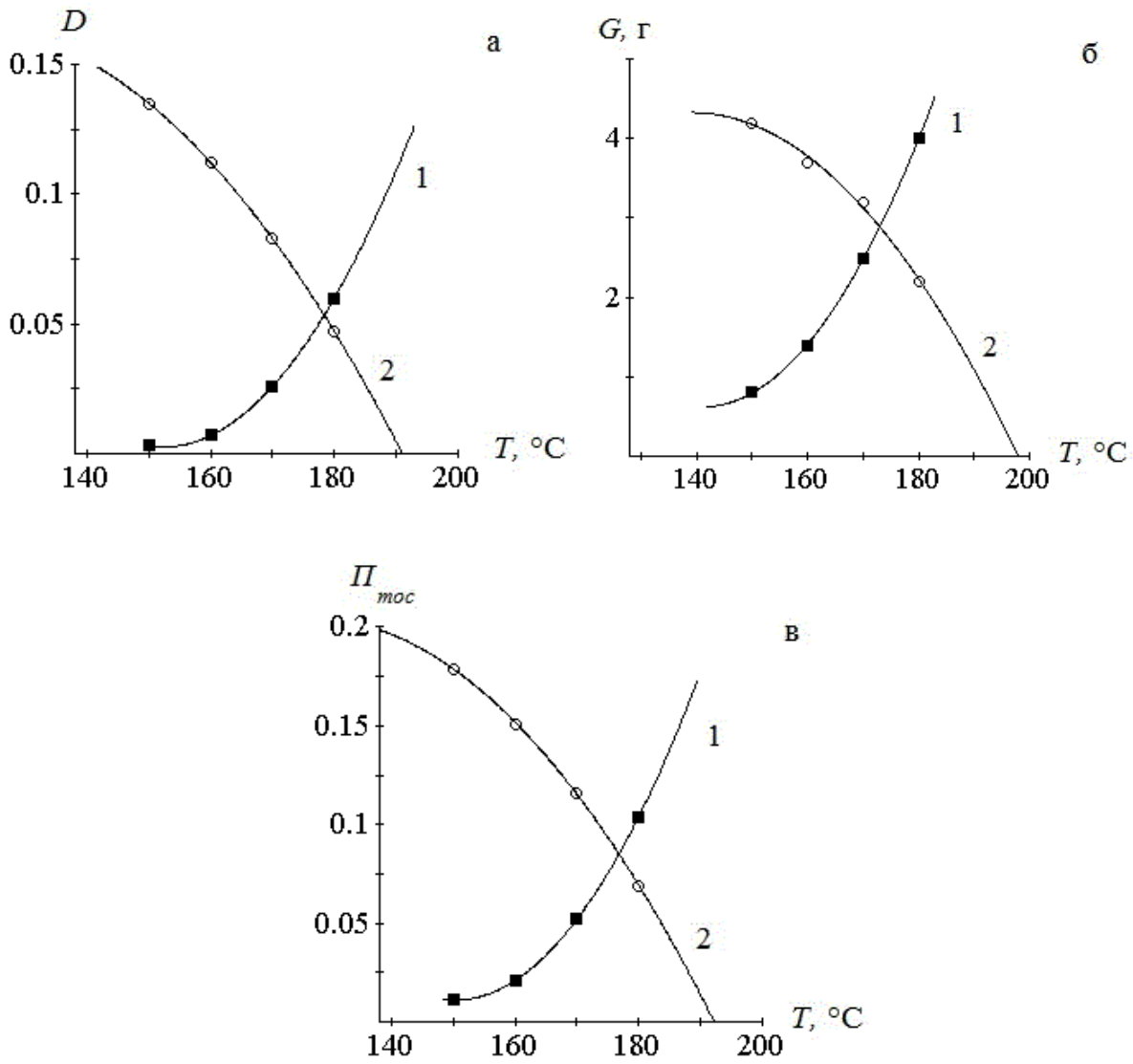


Рисунок 3.4 – Зависимости оптической плотности (а), испаряемости (б) и показателя термоокислительной стабильности (в) от температуры окисления частично синтетического моторного масла Castrol Magnatec 10W – 40 R SL / CF, при 8 – ми часовых испытаниях: 1 – цикл повышения температуры; 2 – цикл понижения температуры.

Из приведенных данных (таблица 3.8) для моторного масла, с частично синтетической базовой основой, Castrol Magnatec 10W – 40 R SL / CF следует, что температура начала процессов окисления – 152,2 С°, испарения составляет – 141,1 С°, преобразований – 150,2 С°. Критическая температура составляет для процессов окисления – 191 С°, для испарения – 197,8 С°, для преобразований – 192,2 С°. Предельная температура составляет для процессов окисления – 178,3 С°, для испарения – 172,9 С°, для преобразований – 176,7 С°.

Таблица 3.8 – Регрессионные уравнения процессов окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной стабильности при испытании частично синтетического моторного масла Castrol Magnatec 10W – 40 R SL / CF, при 8 – ми часовых испытаниях.

Показатели термоокислительной стабильности	Регрессионные уравнения цикла повышения температуры испытания	Температуры начала процессов, С°
Окисление	$D = 7,5 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 - 0,02285 \cdot T + 1,743$	152,2
Испарение	$G = 0,00225 \cdot T^2 - 0,6355 \cdot T + 45,495$	141,1
Температурные преобразования	$\Pi_{тос} = 1,05 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 - 0,03155 \cdot T + 2,381$	150,2
	Регрессионные уравнения цикла понижения температуры испытания	Критические температуры процессов, С°
Окисление	$D = -3,25 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 0,007795 \cdot T - 0,30305$	191
Испарение	$G = -0,00125 \cdot T^2 + 0,3475 \cdot T - 19,825$	197,8
Температурные преобразования	$\Pi_{тос} = -4,75 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 0,012025 \cdot T - 0,55625$	192,2
	Разность регрессионных уравнений циклов повышения и понижения температуры испытания	Предельно допустимые температуры, С°
Окисление	$D = 0,0001075 \cdot T^2 - 0,030645 \cdot T + 2,04605$	178,3
Испарение	$G = 0,0035 \cdot T^2 - 0,983 \cdot T + 65,32$	172,9
Температурные преобразования	$\Pi_{тос} = 0,0001525 \cdot T^2 - 0,043575 \cdot T + 2,93725$	176,7

Данные рассчитанные на основе 10 – ти часовых испытаний.

В таблице 3.9 приведены экспериментальные данные масла Castrol MAGNATEC 10W – 40 R SL / CF.

Регрессионные уравнения зависимостей оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения и понижения температуры сведены в таблице 3.10, с помощью которых вычислены температуры начала процессов окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной стабильности, критические температуры, а также предельно допустимые температуры работоспособности исследуемого моторного масла.

На рисунке 3.5 представлены зависимости оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения (кривая 1) и понижения (кривая 2) температуры испытания, при 10 – ти часовых испытаниях.

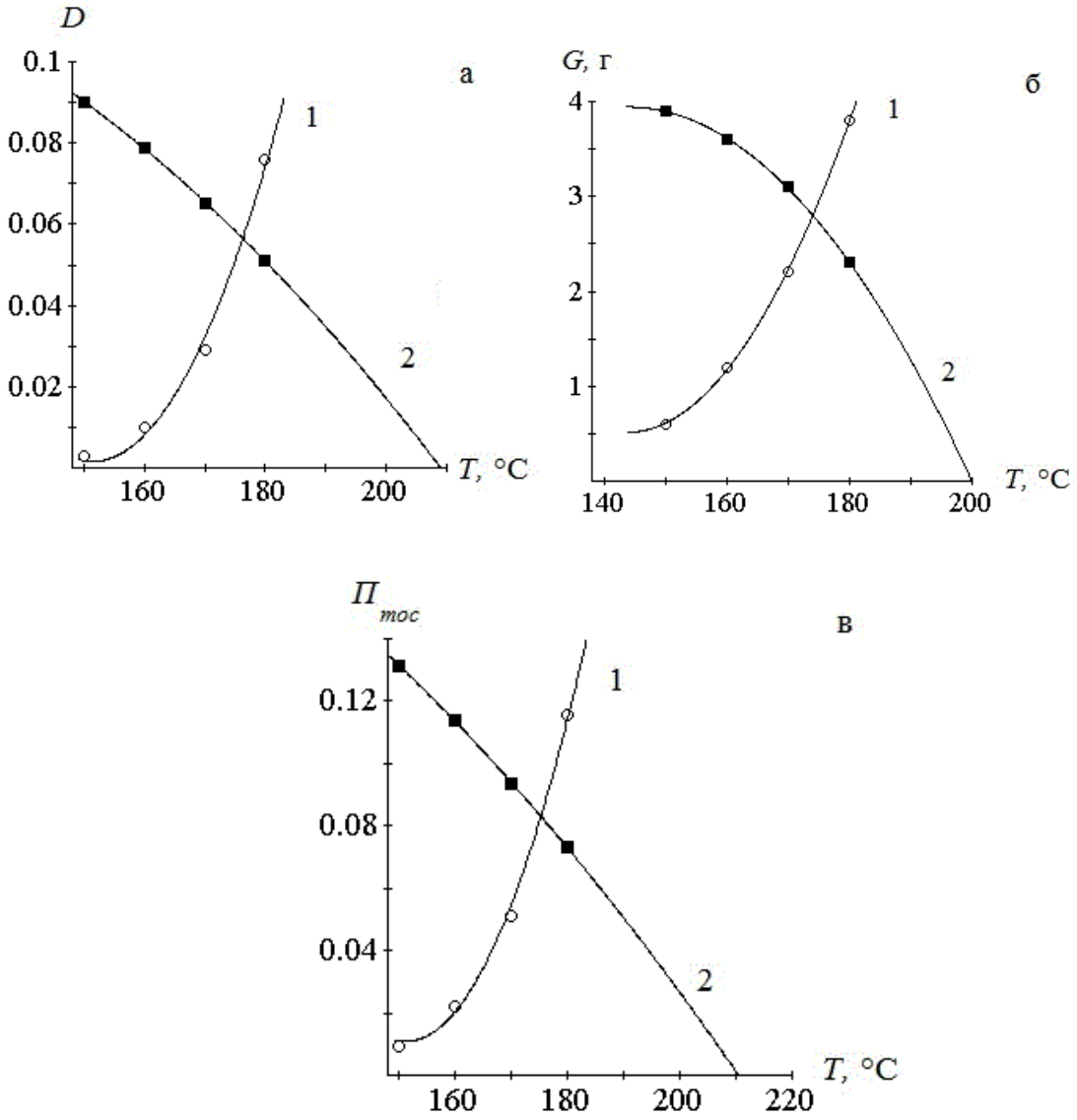


Рисунок 3.5 – Зависимости оптической плотности (а), испаряемости (б) и показателя термоокислительной стабильности (в) от температуры окисления частично синтетического моторного масла Castrol MAGNATEC 10W – 40 R SL / CF, при 10 – ти часовых испытаниях: 1 – цикл повышения температуры; 2 – цикл понижения температуры.

Из приведенных данных (таблица 3.10) для частично синтетического моторного масла Castrol MAGNATEC 10W – 40 R SL / CF следует, что температура начала процессов окисления – 147,5 С°, испарения – 115,2 С°, температурных преобразований составляет – 143,8 С°. Критическая температура составляет для: процессов окисления – 184,5 С°, испарения – 200 С°, температурных преобразований – 190,5 С°. Предельная температура составляет для: процессов окисления – 173,3 С°, испарения – 173 С°, температурных преобразований – 173,2 С°.

Таблица 3.9 – Экспериментальные данные масла Castrol MAGNATEC 10W – 40 R SL / CF, при 10 – ти часовых испытаниях.

Марка масла	Цикл температур	Температура испытания T, °C	Оптическая плотность, D	Испаряемость, G (суммарная)	Показатель термоокислительной стабильности, $П_{тос}$
Castrol MAGNATEC 10W – 40 R SL / CF	повышения	150	0,003	0,6	0,0093
		160	0,01	1,2	0,0225
		170	0,029	2,2	0,0513
		180	0,0762	3,8	0,1156
	понижения	180	0,0510	2,3	0,0778
		170	0,0650	3,1	0,0938
		160	0,0790	3,6	0,1136
		150	0,0907	3,9	0,1315

Таблица 3.10 – Регрессионные уравнения процессов окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной стабильности при испытании частично синтетического моторного масла Castrol MAGNATEC 10W – 40 R SL / CF, при 10 – ти часовых испытаниях.

Показатели термоокислительной стабильности	Регрессионные уравнения цикла повышения температуры испытания	Температуры начала процессов, С°
Окисление	$D = 0,000089 \cdot T^2 - 0,026954 \cdot T + 2,04236$	151,3
Испарение	$G = 0,0025 \cdot T^2 - 0,719 \cdot T + 52,21$	143,6
Температурные преобразования	$П_{тос} = 0,0001245 \cdot x^2 - 0,037657 \cdot x + 2,85833$	151,2
	Регрессионные уравнения цикла понижения температуры испытания	Критические температуры процессов, С°
Окисление	$D = -0,0000075 \cdot T^2 + 0,001165 \cdot T + 0,08415$	209
Испарение	$G = -0,00125 \cdot T^2 + 0,3595 \cdot T\text{-}21,905$	199,9
Температурные преобразования	$П_{тос} = -0,00000725 \cdot T^2 + 0,0004395 \cdot T + +0,228745$	210,5
	Разность регрессионных уравнений циклов повышения и понижения температуры испытания	Предельно допустимые температуры, С°
Окисление	$D = 0,0000965 \cdot T^2 - 0,028119 \cdot T + 1,95821$	176,2

Окончание таблицы 3.10.

Испарение	$G = 0,00375 \cdot T^2 - 1,0785 \cdot T + 74,115$	174
Температурные преобразования	$П_{тос} = 0,00013175 \cdot T^2 - 0,0380965 \cdot T + +2,629585$	175,3

3.3 Синтетическое моторное масло GAZPROMNEFT PREMIUM N SAE 5W – 40 SN / CF

Синтетическое, всесезонное моторное масло, изготавливается с использованием высококачественных базовых масел и хорошо сбалансированного пакета присадок. Благодаря применению улучшенных базовых масел моторное масло обладает: повышенным сроком службы, сниженным расходом масла на угар, улучшенными антикоррозионными свойствами. Использование импортных технологий, которые включают базовые масла технологии VHVI, гарантирует высокие эксплуатационные свойства масла Gazpromneft Premium N 5W – 40 [80].

Данные рассчитанные на основе 6 – ти часовых испытаний.

В таблице 3.11 приведены экспериментальные данные масла GAZPROMNEFT PREMIUM N 5W – 40 SN / CF.

Таблица 3.11 – Экспериментальные данные исследования масла GAZPROMNEFT PREMIUM N 5W – 40 SN / CF, при 6 – ти часовых испытаниях.

Марка масла	Цикл температур	Температура испытания T, °C	Оптическая плотность, D	Испаряемость, G (суммарная)	Показатель термоокислительной стабильности, $П_{тос}$
GAZPROMNEFT PREMIUM N 5W – 40 SN / CF	повышения	160	0,0000	0,9	0,0090
		170	0,0067	1,8	0,0249
		180	0,0339	3,3	0,0677
		190	0,0980	5,3	0,1534
	понижения	190	0,0339	2,6	0,0599
		180	0,0548	3,6	0,0920
		170	0,0690	4,2	0,1130
		160	0,0762	4,6	0,1248

На рисунке 3.6 представлены зависимости оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения (кривая 1) и понижения (кривая 2) температуры испытания.

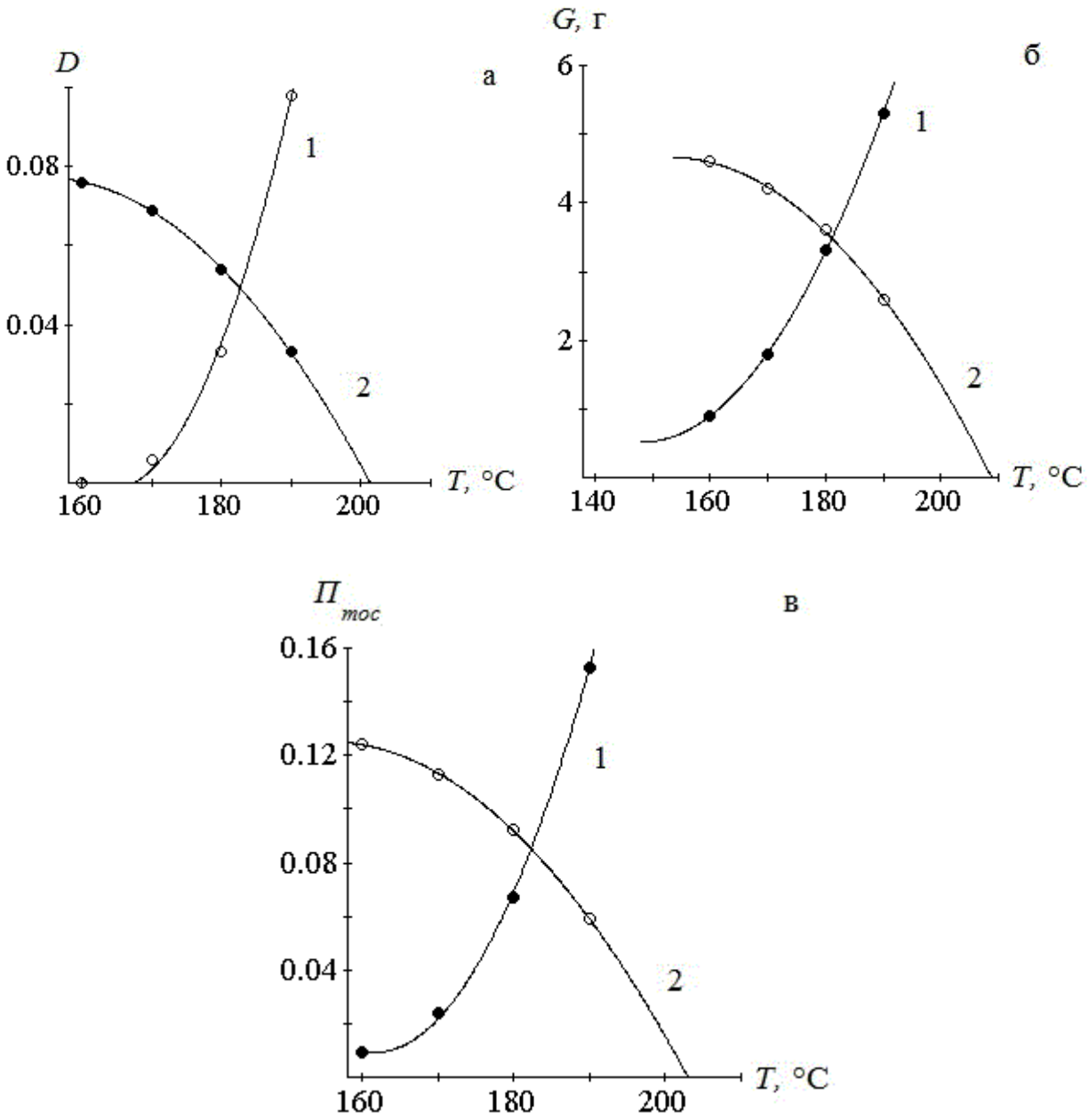


Рисунок 3.6 – Зависимости оптической плотности (а), испаряемости (б) и показателя термоокислительной стабильности (в) от температуры окисления синтетического моторного масла GAZPROMNEFT PREMIUM N 5W – 4 SN / CF, при 6 – ти часовых испытаниях: 1 – цикл повышения температуры; 2 – цикл понижения температуры.

Регрессионные уравнения зависимостей оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения и понижения температуры сведены в таблице 3.12, с помощью которых вычислены температуры начала процессов окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной стабильности, критические температуры, а также предельно допустимые температуры работоспособности исследуемого моторного масла.

Таблица 3.12 – Регрессионные уравнения процессов окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной стабильности при испытании синтетического моторного масла GAZPROMNEFT PREMIUM N SAE 5W – 4 SN / CF, при 6 – ти часовых испытаниях.

Показатели термо-окислительной стабильности	Регрессионные уравнения цикла повышения температуры испытания	Температуры начала процессов, С°
Окисление	$D = 1,475 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 - 0,048415 \cdot T + 3,97125$	167,4
Испарение	$G = 0,00275 \cdot T^2 - 0,8155 \cdot T + 60,975$	148,2
Температурные преобразования	$\Pi_{тос} = 1,775 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 - 0,057375 \cdot T + 4,64575$	161,6
	Регрессионные уравнения цикла понижения температуры испытания	Критические температуры процессов, С°
Окисление	$D = -3,5 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 0,01081 \cdot T - 0,7575$	201,3
Испарение	$G = -0,0015 \cdot T^2 + 0,459 \cdot T - 30,45$	208,7
Температурные преобразования	$\Pi_{тос} = -5,5 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 0,01709 \cdot T - 1,2025$	203
	Разность регрессионных уравнений циклов повышения и понижения температуры испытания	Предельно допустимые температуры, С°
Окисление	$D = 0,0001825 \cdot T^2 - 0,059225 \cdot T + 4,72875$	182,6
Испарение	$G = 0,00425 \cdot T^2 - 1,2745 \cdot T + 91,425$	181
Температурные преобразования	$\Pi_{тос} = 0,0002325 \cdot T^2 - 0,074465 \cdot T + 5,84825$	182,2

Из приведенных данных (таблица 4.8) для синтетического моторного масла GAZPROMNEFT PREMIUM N SAE 5W – 40 SN – CF следует, что температура начала процессов окисления – 167,4 С°, испарения составляет – 148,2 С°, температурных преобразований составляет – 161,6 С°. Критическая температура составляет для: процессов окисления – 201,3 С°, испарения – 208,7 С°, температурных преобразований – 203 С°. Предельная температура составляет для: процессов окисления – 182,6 С°, испарения – 181 С°, температурных преобразований – 182,2 С°.

Данные рассчитанные на основе 8 – ти часовых испытаний.

В таблице 3.13 приведены экспериментальные данные масла GAZPROMNEFT PREMIUM N 5W – 40 SN / CF.

На рисунке 3.7 представлены зависимости оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения (кривая 1) и понижения (кривая 2) температуры испытания.

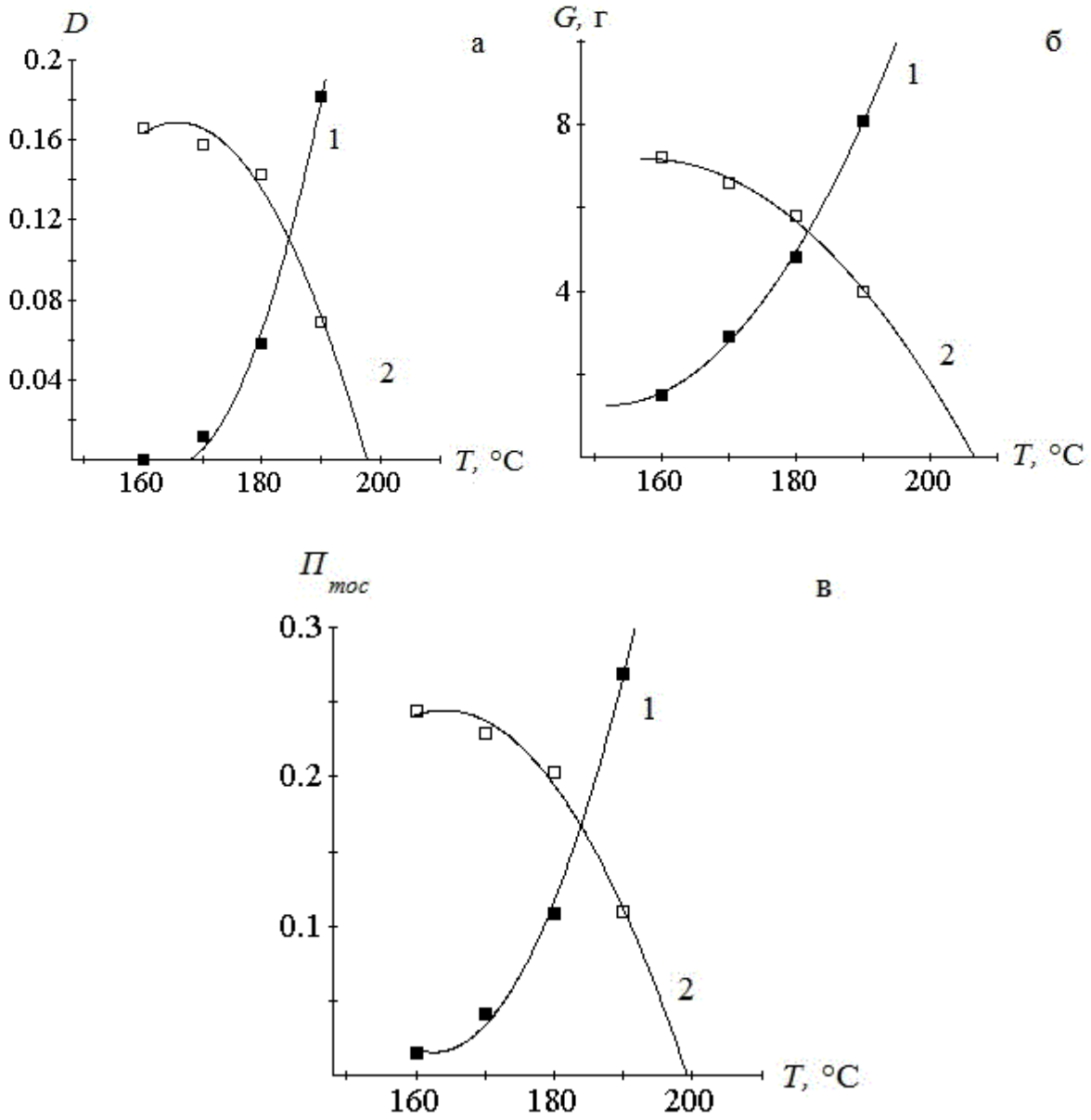


Рисунок 3.7 – Зависимости оптической плотности (а), испаряемости (б) и показателя термоокислительной стабильности (в) от температуры окисления синтетического моторного масла GAZPROMNEFT PREMIUM N 5W – 40 SN / CF, при 8 – ми часовых испытаниях: 1 – цикл повышения температуры; 2 – цикл понижения температуры.

Регрессионные уравнения зависимостей оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения и понижения температуры сведены в таблице 3.14, с помощью которых вычислены температуры начала процессов окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной стабильности, критические температуры, а также предельно допустимые температуры работоспособности исследуемого моторного масла.

Таблица 3.13 – Экспериментальные данные испытания масла GAZPROMNEFT PREMIUM N 5W – 40 SN / CF, при 8 – ми часовых испытаниях.

Марка масла	Цикл температур	Температура испытания T, °C	Оптическая плотность, D	Испаряемость, G (суммарная)	Показатель термоокислительной стабильности, $П_{тос}$
GAZPROM NEFT PREMIUM N 5W – 40 SN / CF	повышения	160	0,0000	1,5	0,0150
		170	0,0120	2,9	0,0417
		180	0,0580	4,8	0,1083
		190	0,1823	8,1	0,2694
	понижения	190	0,0690	4,0	0,1090
		180	0,1431	5,8	0,2036
		170	0,1586	6,6	0,2293
		160	0,1664	7,2	0,2447

Таблица 3.14 – Регрессионные уравнения процессов окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной стабильности при испытании синтетического моторного масла GAZPROMNEFT PREMIUM N 5W – 40 SN / CF, при 8 – ми часовых испытаниях.

Показатели термоокислительной стабильности	Регрессионные уравнения цикла повышения температуры испытания	Температуры начала процессов, C°
Окисление	$D = 2,8 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 - 0,09208 \cdot T + 7,567$	167,8
Испарение	$G = 0,00475 \cdot T^2 - 1,4455 \cdot T + 111,225$	152
Температурные преобразования	$П_{тос} = 3,36 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 - 0,109302 \cdot T + 8,90445$	162,6
	Регрессионные уравнения цикла понижения температуры испытания	Критические температуры процессов, C°
Окисление	$D = -1,6525 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 + 0,0547785 \cdot T - 4,370775$	197,7
Испарение	$G = -0,003 \cdot T^2 + 0,946 \cdot T - 67,4$	206,5
Температурные преобразования	$П_{тос} = -1,975 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 + 0,064815 \cdot T - 5,07325$	199,2
	Разность регрессионных уравнений циклов повышения и понижения температуры испытания	Предельно допустимые температуры, C°
Окисление	$D = 0,00044525 \cdot T^2 - 0,1468585 \cdot T + 11,937775$	184,5

Окончание таблицы 3.14.

Испарение	$G = 0,00775 \cdot T^2 - 2,3915 \cdot T + 178,625$	181,8
Температурные преобразования	$П_{тос} = 0,0005335 \cdot T^2 - 0,174117 \cdot T + 13,9777$	183,8

Из приведенных данных (таблица 3.14) для синтетического моторного масла GAZPROMNEFT PREMIUM N SAE 5W - 40 SN / CF следует, что температура начала процессов окисления – 167,8 С°, испарения составляет – 152 С°, температурных преобразований составляет – 162,6 С°. Критическая температура составляет для: процессов окисления – 197,7 С°, испарения – 206,5 С°, температурных преобразований – 199,2 С°. Предельная температура составляет для: процессов окисления – 184,5 С°, испарения – 181,8 С°, температурных преобразований – 183,8 С°.

3.4 Частично синтетическое трансмиссионное масло G – Box Expert GL – 5 75W – 90

Трансмиссионное масло с частично синтетической базовой основой G – Box Expert 75W – 90 GL – 5 для наиболее нагруженных зубчатых передач, которые работают в тяжёлых условиях. Изготавливается на основе высококачественной базовой композиции синтетических и минеральных масел с использованием высокоэффективного пакета присадок. Оно обеспечивает широкий температурный диапазон применения, безотказную и долговечную эксплуатацию агрегатов трансмиссии [81].

Данные рассчитанные на основе 6 – ти часовых испытаний.

В таблице 3.15 приведены экспериментальные данные масла G – Box Expert 75W – 90 GL – 5 [82].

Таблица 3.15 – Экспериментальные данные исследования масла G – Box Expert 75W – 90 GL – 5, при 6 – ти часовых испытаниях.

Марка масла	Цикл температур	Температура испытания Т, °С	Оптическая плотность, D	Испаряемость, G (суммарная)	Показатель термоокислительной стабильности, $П_{тос}$
G – Box Expert 75W – 90 GL – 5	повышения	140	0,0	1,2	0,0120
		150	0,0270	2,3	0,0505
		160	0,1985	4,8	0,2483
	понижения	160	0,032	4,0	0,072
		150	0,1	5,1	0,1533
		140	0,16	5,6	0,2196
		130	0,2231	5,9	0,2865

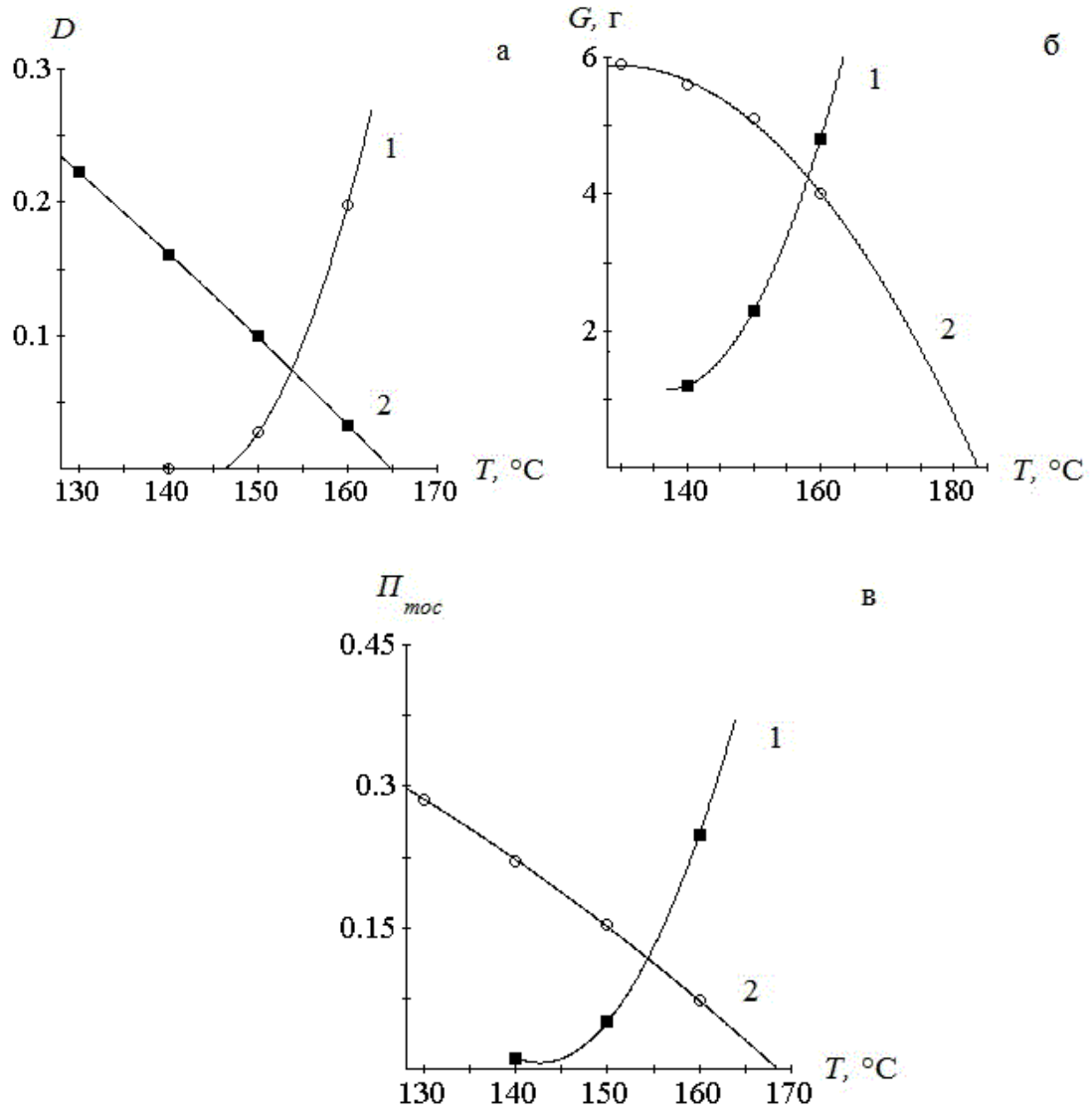


Рисунок 3.8 – Зависимости оптической плотности (а), испаряемости (б) и показателя термоокислительной стабильности (в) от температуры окисления частично синтетического трансмиссионного масла G – Box Expert 75W - 90 GL – 5, при 6 – ти часовых испытаниях: 1 – цикл повышения температуры; 2 – цикл понижения температуры.

На рисунке 3.8 представлены зависимости оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения (кривая 1) и понижения (кривая 2) температуры испытания.

Регрессионные уравнения зависимостей оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения и понижения температуры сведены в таблице 3.16, с помощью которых вычислены температуры начала процессов окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной стабильности, критические температуры, а также предельно допустимые температуры работоспособности исследуемого моторного масла.

Таблица 3.16 – Регрессионные уравнения процессов окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной стабильности при испытании частично синтетического трансмиссионного масла G – Box Expert 75W – 90 GL – 5, при 6 – ти часовых испытаниях.

Показатели термоокислительной стабильности	Регрессионные уравнения цикла повышения температуры испытания	Температуры начала процессов, С°
Окисление	$D = 7,225 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 - 0,206825 \cdot T + 14,7945$	146,2
Испарение	$G = 0,007 \cdot T^2 - 1,92 \cdot T + 132,8$	137
Температурные преобразования	$П_{тос} = 8 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 - 0,2282 \cdot T + 16,28$	142,6
	Регрессионные уравнения цикла понижения температуры испытания	Критические температуры процессов, С°
Окисление	$D = -1,225 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 - 0,0027805 \cdot T + 0,791$	164,8
Испарение	$G = -0,002 \cdot T^2 + 0,518 \cdot T - 27,66$	183,7
Температурные преобразования	$П_{тос} = -3,525 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 0,0031215 \cdot T + +0,475695$	168,5
	Разность регрессионных уравнений циклов повышения и понижения температуры испытания	Предельно допустимые температуры, С°
Окисление	$D = 0,00073475 \cdot T^2 - 0,2040445 \cdot T + 14,0035$	153,7
Испарение	$G = 0,009 \cdot T^2 - 2,438 \cdot T + 160,46$	158,1
Температурные преобразования	$П_{тос} = 0,00083525 \cdot T^2 - 0,2313215 \cdot T + +15,804305$	154,3

Из приведенных данных (таблица 3.16) для частично синтетического трансмиссионного масла G – Box Expert GL – 5 75W – 90 следует, что температура начала процессов окисления – 146,2 С°, испарения составляет – 137 С°, температурных преобразований составляет – 142,6 С°. Критическая температура составляет для: процессов окисления – 164,8 С°, испарения – 183,7 С°, температурных преобразований – 168,5 С°. Предельная температура составляет для: процессов окисления – 153,7 С°, испарения – 158,1 С°, температурных преобразований – 154,3 С°.

Данные рассчитанные на основе 8 – ти часовых испытаний.

На рисунке 3.9 представлены зависимости оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения (кривая 1) и понижения (кривая 2) температуры испытания.

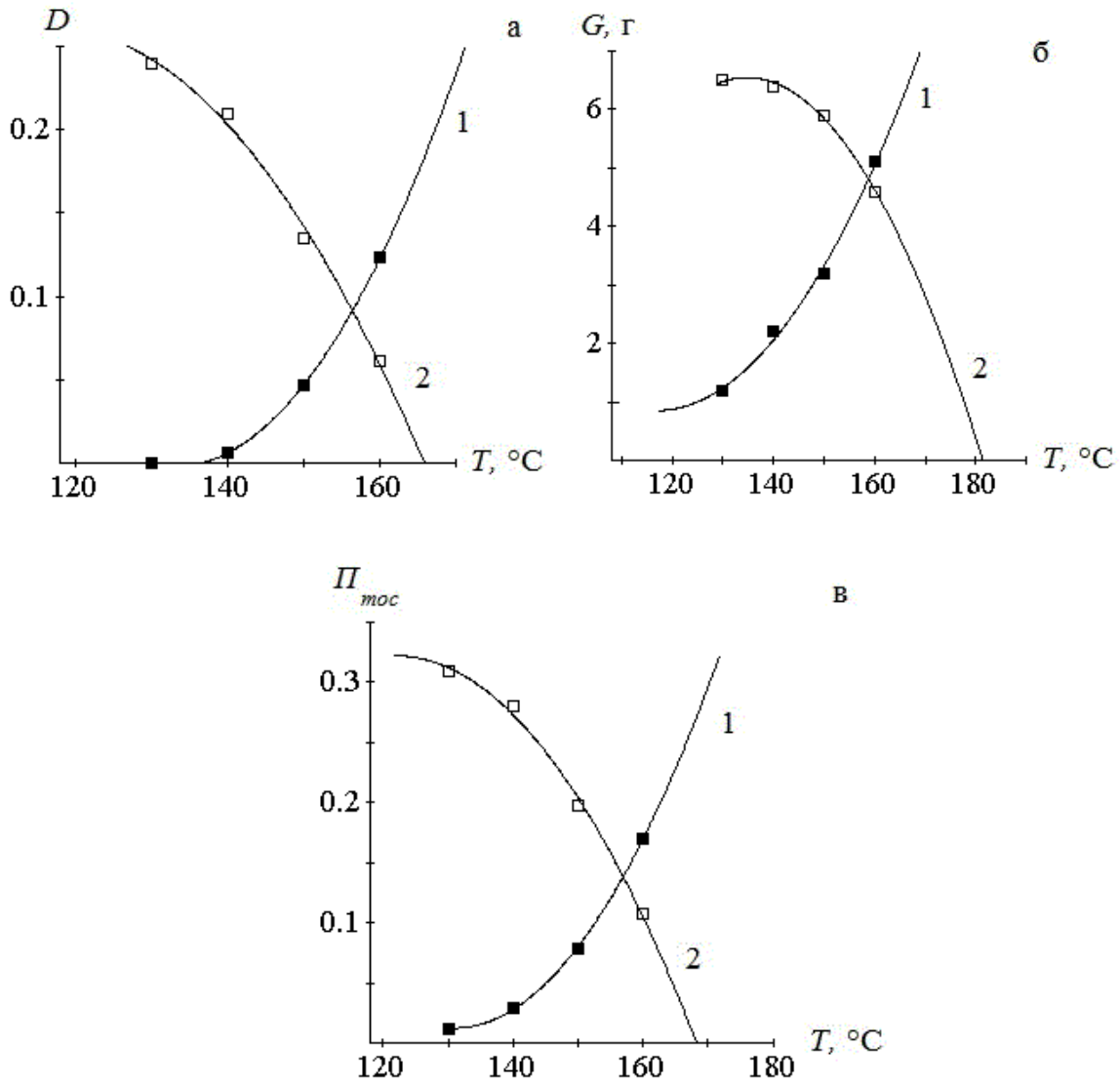


Рисунок 3.9 – Зависимости оптической плотности (а), испаряемости (б) и показателя термоокислительной стабильности (в) от температуры окисления частично синтетического трансмиссионного масла G – Box EXPERT 75W – 90 GL – 5, при 8 – ми часовых испытаниях: 1 – цикл повышения температуры; 2 – цикл понижения температуры.

В таблице 3.17 приведены экспериментальные данные масла G – Box EXPERT 75W – 90 GL – 5.

Регрессионные уравнения зависимостей оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения и понижения температуры сведены в таблице 3.18, с помощью которых вычислены температуры начала процессов окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной стабильности, критические температуры, а также предельно допустимые температуры работоспособности исследуемого моторного масла.

Таблица 3.17 – Экспериментальные данные испытания масла G – Box EXPERT 75W – 90 GL – 5, при 8 – ми часовых испытаниях.

Марка масла	Цикл температур	Температура испытания T, °C	Оптическая плотность, D	Испаряемость, G (суммарная)	Показатель термоокислительной стабильности, $П_{тос}$
G – Box EXPERT 75W – 90 GL – 5	повышения	130	0,0	1,2	0,012
		140	0,0067	2,2	0,0287
		150	0,0478	3,2	0,0798
		160	0,123	5,1	0,174
	понижения	160	0,0619	4,6	0,1079
		150	0,1354	5,9	0,1944
		140	0,21	6,4	0,274
		130	0,24	6,5	0,305

Таблица 3.18 – Регрессионные уравнения процессов окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной стабильности при испытании частично синтетического трансмиссионного масла G – Box EXPERT 75W – 90 GL – 5, при 8 – ми часовых испытаниях.

Показатели термоокислительной стабильности	Регрессионные уравнения цикла повышения температуры испытания	Температуры начала процессов, C°
Окисление	$D = 1,75 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 - 0,04665 \cdot T + 3,107$	136,5
Испарение	$G = 0,00225 \cdot T^2 - 0,5255 \cdot T + 31,535$	116,7
Температурные преобразования	$П_{тос} = 1,85 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 - 0,04841 \cdot T + 3,1792$	130,8
	Регрессионные уравнения цикла понижения температуры испытания	Критические температуры процессов, C°
Окисление	$D = -1,1 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 + 0,02578 \cdot T - 1,2501$	165,8
Испарение	$G = -0,003 \cdot T^2 + 0,808 \cdot T - 47,86$	181,3
Температурные преобразования	$П_{тос} = -1,5 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 + 0,03658 \cdot T - 1,9081$	168,2
	Разность регрессионных уравнений циклов повышения и понижения температуры испытания	Предельно допустимые температуры, C°
Окисление	$D = 0,000285 \cdot T^2 - 0,07243 \cdot T + 4,3571$	156,3
Испарение	$G = 0,00525 \cdot T^2 - 1,3335 \cdot T + 79,395$	158,7
Температурные преобразования	$П_{тос} = 0,000335 \cdot T^2 - 0,08499 \cdot T + 5,0873$	156,9

Из приведенных данных (таблица 3.18) для частично синтетического трансмиссионного масла G – Box EXPERT GL – 5 75W – 90 следует, что температура начала процессов окисления – 136,5 С°, испарения – 116,7 С°, температурных преобразований составляет – 130,8 С°. Критическая температура составляет для: процессов окисления – 165,8 С°, испарения – 181,3 С°, температурных преобразований – 168,2 С°. Предельная температура составляет для: процессов окисления – 156,3 С°, испарения – 158,7 С°, температурных преобразований – 156,9 С°.

3.5 Сравнение результатов исследования температурных показателей работоспособности при разных температурных режимах испытания

В качестве испытуемого масла, было выбрано минеральное моторное масло Mobil Super 1000 15W – 40 SL / CF. Первые испытания проводились в диапазонах температур: для цикла повышения температур от 150 до 180 С°, для цикла понижения температур от 180 до 150 С°. Для вторых испытаний были выбраны следующие диапазоны температур: для цикла повышения температур от 160 до 190 С°, для цикла понижения температур от 190 до 160 С°.

Данные рассчитанные на основе цикла повышения температур от 150 до 180 С°, цикла понижения температур от 180 до 150 С°.

Моторное масло Mobil Super 1000 15w – 40 SL / CF разработано для самых современных двигателей, как бензиновых, так и дизельных (с турбонаддувом и без него). Моторное масло Mobil Super обладает отличными моющими свойствами, подходит для всех двигателей большой мощности. Имеет термоокислительную стабильность, которая не даёт образоваться отложениям и шлаку в двигателе автомобиля и обеспечивает его надёжную работу. Использование данного масла позволяет получить высокие мощностные показатели и экономию топлива [83].

В таблице 3.19 сведены экспериментальные данные масла Mobil Super 1000 15w – 40 SL / CF.

На рисунке 3.10 представлены зависимости оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения (кривая 1) и понижения (кривая 2) температуры испытания, в температурном диапазоне от 150 до 180 С°.

Регрессионные уравнения зависимостей оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения и понижения температуры сведены в таблице 3.20, с помощью которых вычислены температуры начала процессов окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной стабильности, критические температуры, а также предельно допустимые температуры работоспособности исследуемого моторного масла.

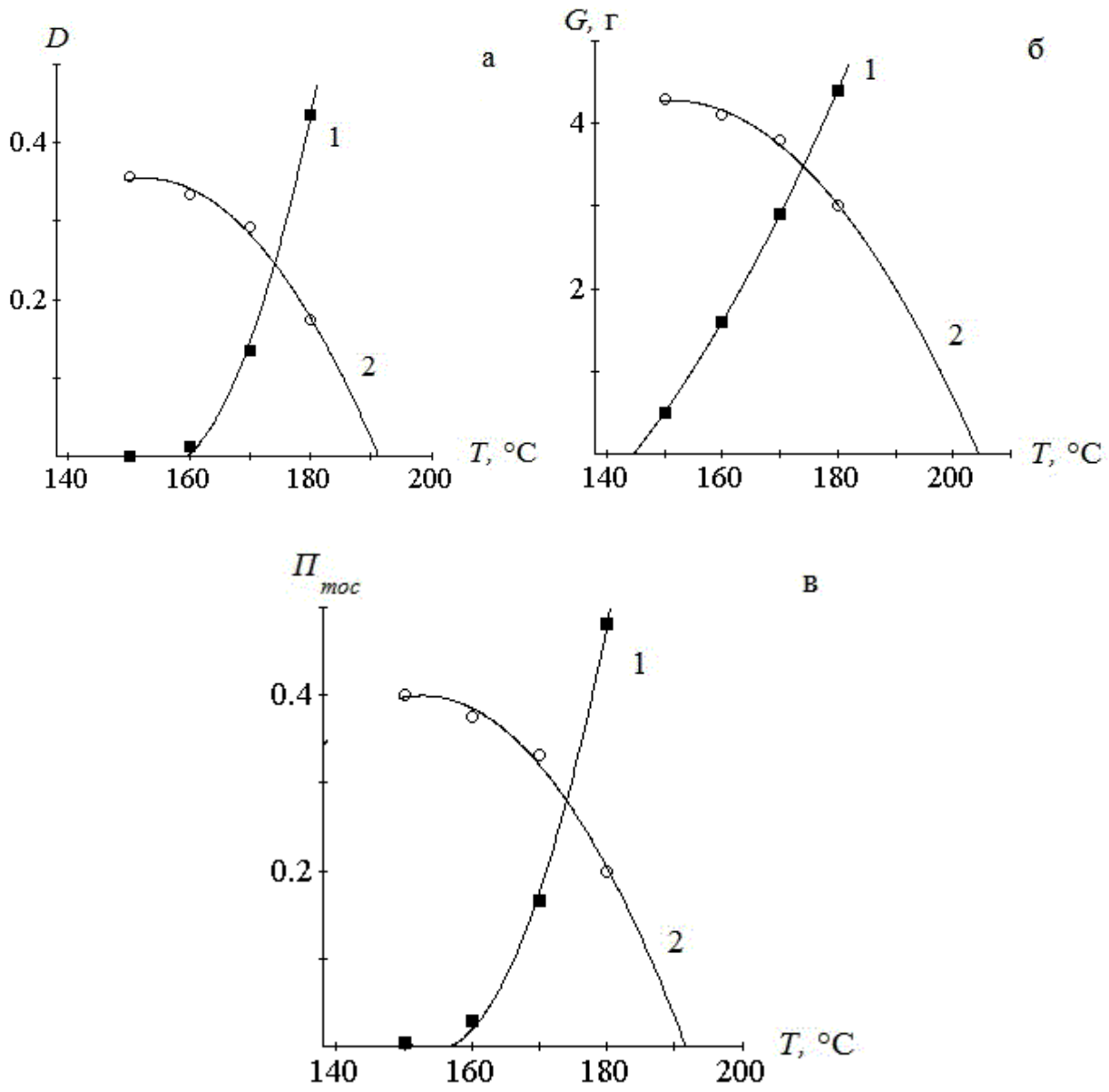


Рисунок 3.10 – Зависимости оптической плотности (а), испаряемости (б) и показателя термоокислительной стабильности (в) от температуры окисления минерального моторного масла Mobil Super 1000 15w – 40 SL / CF, при температурном диапазоне от 150 до 180 С°: 1 – цикл повышения температуры; 2 – цикл понижения температуры.

Из приведенных данных (таблица 3.20) для минерального моторного масла Mobil Super 1000 15w – 40 SL / CF следует, что температура начала процессов окисления – 159,5 С°, испарения – 144,7 С°, температурных преобразований составляет – 157 С°. Критическая температура составляет для: процессов окисления – 191,2 С°, испарения – 204,4 С°, температурных преобразований – 191,6 С°. Предельная температура составляет для: процессов окисления – 174 С°, испарения – 174 С°, температурных преобразований – 174 С°.

Таблица 3.19 – Экспериментальные данные испытания масла Mobil Super 1000 15w – 40 SL / CF, при температурном диапазоне от 150 до 180 С°.

Марка масла	Цикл температур	Температура испытания Т, °С	Оптическая плотность, D	Испаряемость, G (суммарная)	Показатель термоокислительной стабильности, $П_{тос}$
Mobil Super 1000 15w – 40 SL / CF	повышения	150	0,0000	0,5	0,0050
		160	0,0134	1,6	0,0295
		170	0,1354	2,9	0,1650
		180	0,4359	4,4	0,4814
	понижения	180	0,1744	3,0	0,2044
		170	0,2921	3,8	0,3314
		160	0,3331	4,1	0,3759
		150	0,3567	4,3	0,4017

Таблица 3.20 – Регрессионные уравнения процессов окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной стабильности при испытании минерального моторного масла Mobil Super 1000 15w – 40 SL / CF, при температурном диапазоне от 150 до 180 С°.

Показатели термоокислительной стабильности	Регрессионные уравнения цикла повышения температуры испытания	Температуры начала процессов, С°
Окисление	$D = 0,00071775 \cdot T^2 - 0,2225605 \cdot T + 17,238195$	159,5
Испарение	$G = 0,001 \cdot T^2 - 0,2 \cdot T + 8$	144,7
Температурные преобразования	$П_{тос} = 0,00073 \cdot T^2 - 0,22526 \cdot T + 17,3724$	157
	Регрессионные уравнения цикла понижения температуры испытания	Критические температуры процессов, С°
Окисление	$D = -0,0002375 \cdot T^2 + 0,072505 \cdot T - 5,17895$	191,2
Испарение	$G = -0,0015 \cdot T^2 + 0,453 \cdot T - 29,92$	204,4
Температурные преобразования	$П_{тос} = -0,0002625 \cdot T^2 + 0,080155 \cdot T - 5,71945$	191,6
	Разность регрессионных уравнений циклов повышения и понижения температуры испытания	Предельно допустимые температуры, С°
Окисление	$D = 0,00095525 \cdot T^2 - 0,2950655 \cdot T + 22,417145$	174

Окончание таблицы 3.20.

Испарение	$G = 0,0025 \cdot T^2 - 0,653 \cdot T + 37,92$	174
Температурные преобразования	$П_{тос} = 0,0009925 \cdot T^2 - 0,305415 \cdot T + 23,09185$	174

Данные рассчитанные на основе цикла повышения температур от 160 до 190 С°, цикла понижения температур от 190 до 160 С°.

В таблице 3.21 приведены экспериментальные данные масла Mobil Super 1000 15W – 40 SL / CF.

Таблица 3.21 – Экспериментальны данные испытания масла Mobil Super 1000 15W – 40 SL / CF, при температурном диапазоне от 160 до 190 С°.

Марка масла	Цикл температур	Температура испытания T, °C	Оптическая плотность, D	Испаряемость, G (суммарная)	Показатель термоокислительной стабильности, $П_{тос}$
Mobil Super 1000 15W – 40 SL / CF	повышения	160	0,0202	1,0	0,0302
		170	0,0263	1,6	0,0438
		180	0,2148	2,4	0,2393
		190	0,8210	4,0	0,8622
	понижения	190	0,1904	2,8	0,2184
		180	0,3102	3,5	0,3462
		170	0,3711	3,8	0,4105
		160	0,4463	4,1	0,4891

Регрессионные уравнения зависимостей оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения и понижения температуры сведены в таблице 3.22, с помощью которых вычислены температуры начала процессов окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной стабильности, критические температуры, а также предельно допустимые температуры работоспособности исследуемого моторного масла.

На рисунке 3.11 представлены зависимости оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения (кривая 1) и понижения (кривая 2) температуры испытания.

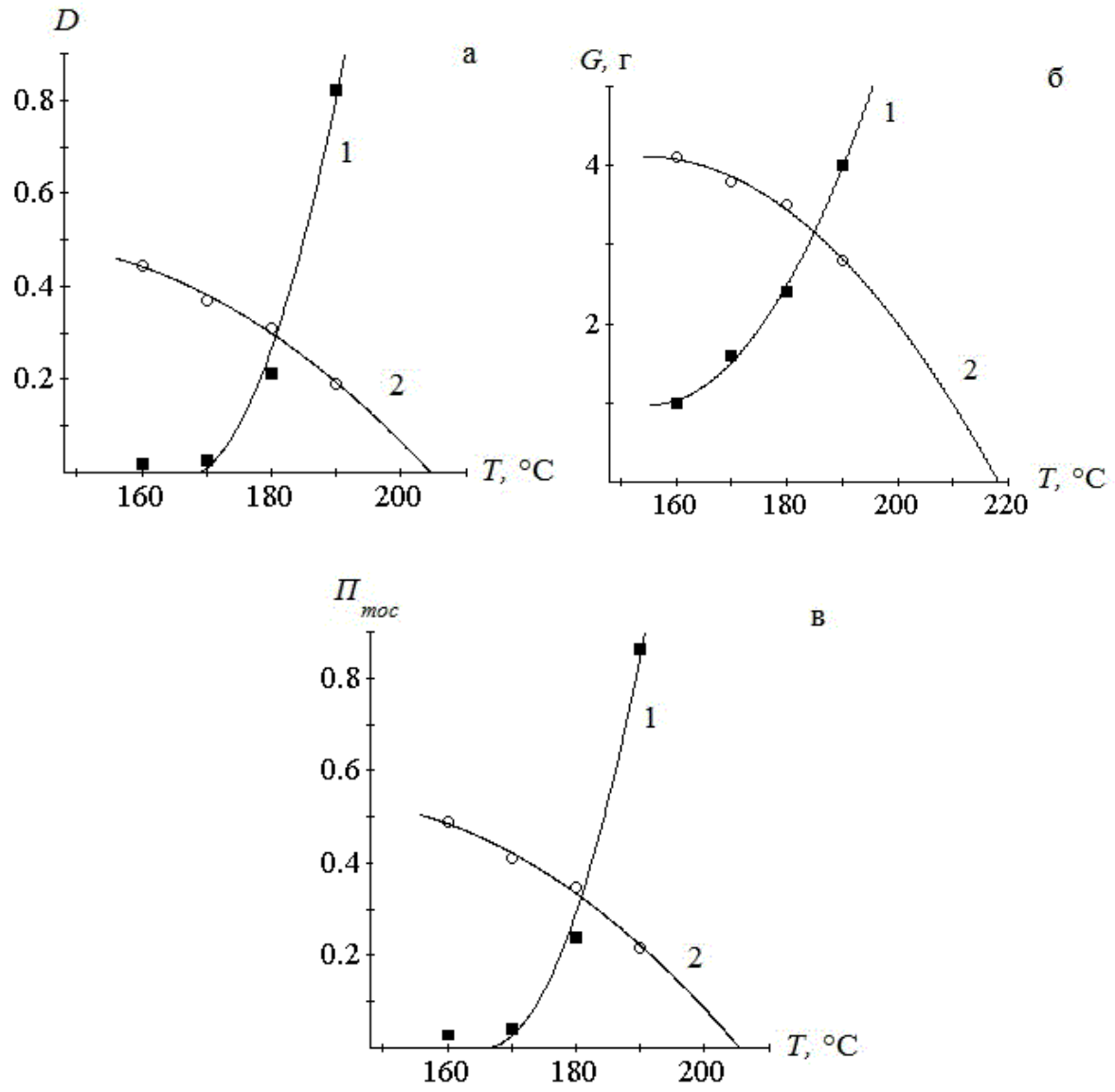


Рисунок 3.11 – Зависимости оптической плотности (а), испаряемости (б) и показателя термоокислительной стабильности (в) от температуры окисления минерального моторного масла Mobil Super 1000 15W – 40 SL / CF, при температурном диапазоне от 160 до 190 С°: 1 – цикл увеличения температуры; 2 – цикл понижения температуры.

Таблица 3.22 – Регрессионные уравнения процессов окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной стабильности при испытании минерального моторного масла Mobil Super 1000 15W – 40 SL / CF, при температурном диапазоне от 160 до 190 С°.

Показатели термоокислительной стабильности	Регрессионные уравнения цикла повышения температуры испытания	Температуры начала процессов, С°
Окисление	$D = 0,001415 \cdot T^2 - 0,46969 \cdot T + 38,9635$	169
Испарение	$G = 0,0025 \cdot T^2 - 0,777 \cdot T + 61,35$	155,3

Окончание таблицы 3.22.

Температурные преобразования	$П_{тос} = 0,0014375 \cdot T^2 - 0,476555 \cdot T + 39,49625$	166
	Регрессионные уравнения цикла понижения температуры испытания	Критические температуры процессов, С°
Окисление	$D = -1,125 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 + 0,031085 \cdot T - 1,65125$	204,5
Испарение	$G = -0,001 \cdot T^2 + 0,308 \cdot T - 19,6$	218,1
Температурные преобразования	$П_{тос} = -1,225 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 + 0,034105 \cdot T - 1,83575$	205,4
	Разность регрессионных уравнений циклов повышения и понижения температуры испытания	Предельно допустимые температуры, С°
Окисление	$D = 0,0015275 \cdot T^2 - 0,500775 \cdot T + 40,61475$	180,6
Испарение	$G = 0,0035 \cdot T^2 - 1,085 \cdot T + 80,95$	184,9
Температурные преобразования	$П_{тос} = 0,00156 \cdot T^2 - 0,51066 \cdot T + 41,332$	180,8

В таблице 3.23 приведены данные по двум опытам циклов повышения от 150 до 180 С° и от 160 до 190 С°, для цикла понижения температур от 180 до 150 С° и от 190 до 160 С°.

Таблица 3.23 – Сравнение данных температур при разных температурных диапазонах испытания.

	Температуры испытаний в диапазоне температур: для цикла повышения от 150 до 180 С°, для цикла понижения температур от 180 до 150 С°	Температуры испытаний в диапазоне температур: для цикла повышения от 160 до 190 С°, для цикла понижения температур от 190 до 160 С°	Разность температур, С°
Показатели термоокислительной стабильности	Температуры начала процессов, С°		
Окисление	159	169	10
Испарение	144,7	155,3	10,6
Температурные преобразования	157	166	9
Показатели термоокислительной стабильности	Критические температуры процессов, С°		
Окисление	191,2	204,5	13,3
Испарение	204,4	218,1	13,7
Температурные преобразования	191,6	205,4	13,8

Окончание таблицы 3.23.

Показатели термоокислительной стабильности	Предельно допустимые температуры, С°		
Окисление	174	180,6	6,6
Испарение	174	184,9	10,9
Температурные преобразования	174	180,8	6,8

Из приведенных данных (таблица 3.23) для минерального моторного масла Mobil Super 1000 15W – 40 SL / CF следует, что температура начала процессов окисления увеличилась на 10 С°, испарения увеличилась на 10,6 С°, температурных преобразований увеличилась на 9 С°. Критическая температура увеличилась для: процессов окисления на 13,3 С°, испарения на 13,7 С°, температурных преобразований на 13,8 С°. Предельная температура увеличилась для: процессов окисления на 6,6 С°, испарения на 10,9 С°, температурных преобразований на 6,8 С°.

3.6 Анализ результатов исследования разных температурных режимов и времени испытания

С учетом совокупности данных исследований масел, приведенных в главе 3, можно вывести следующее сравнение температур по четырем маслам.

Таблица 3.24 – Расчетные данные по температурам начала процессов окисления, испарения и предельно допустимой температуре работоспособности минерального моторного масла Лукойл Стандарт 10W – 40 SF / CC.

Марка масла	Температуры начала процессов			Разность температур, С°
Лукойл Стандарт 10W – 40 SF / CC	Время испытаний	8 часов	6 часов	
	Окисления	157,1	160	2,9
	Испарения	131,3	152,5	21,2
	Температурных преобразований	150	152,5	2,5
	Критические температуры процессов			
	Окисления	195,3	190,3	5
	Испарения	204,7	192,6	12,1
	Температурных преобразований	198,1	190,8	7,3
	Предельная температура работоспособности			
	Окисления	174,5	175,4	0,9

Окончание таблицы 3.24.

	Испарения	174,1	176	1,9
	Температурных преобразований	174,1	175,7	1,6

Таблица 3.25 – Расчетные данные по температурам начала процессов окисления, испарения и предельно допустимой температуре работоспособности частично синтетического моторного масла Castrol magnatec 10W – 40 R SL / CF, при сравнении 8 и 6 часовых опытов.

Марка масла	Температуры начала процессов			Разность температур, С°
	Время испытаний	8 часов	6 часов	
Castrol magnatec 10W – 40 R SL / CF	Окисления	152,2	150,9	1,3
	Испарения	141,1	134,7	6,4
	Температурных преобразований	150,2	143,8	6,4
	Критические температуры процессов			
	Окисления	191	187,5	3,5
	Испарения	197,8	200	2,2
	Температурных преобразований	192,2	190,5	1,7
	Предельная температура работоспособности			
	Окисления	178,3	173,3	5
	Испарения	172,9	173	0,1
	Температурных преобразований	176,7	173,2	3,5

Таблица 3.26 – Расчетные данные по температурам начала процессов окисления, испарения и предельно допустимой температуре работоспособности частично синтетического моторного масла Castrol magnatec 10W – 40 R SL / CF, при сравнении 8 и 10 часовых опытов.

Марка масла	Температуры начала процессов			Разность температур, С°
	Время испытаний	8 часов	10 часов	
Castrol magnatec 10W – 40 R SL / CF	Окисления	152,2	151,3	0,9
	Испарения	141,1	143,6	2,5
	Температурных преобразований	150,2	151,2	1
	Критические температуры процессов			
	Окисления	191	209	18
	Испарения	197,8	199,9	2,1

Окончание таблицы 3.26.

	Температурных преобразований	192,2	210,5	18,3
	Предельная температура работоспособности			
	Окисления	178,3	176,2	2,1
	Испарения	172,9	174	1,1
	Температурных преобразований	176,7	175,3	1,4

Таблица 3.27 – Расчетные данные по температурам начала процессов окисления, испарения и предельно допустимой температуре работоспособности синтетического моторного масла GAZPROMNEFT PREMIUM N 5W – 40 SN / CF.

Марка масла	Температуры начала процессов			Разность температур, С°
GAZPROMNEFT PREMIUM N 5W – 40 SN / CF	Время испытаний	8 часов	6 часов	
	Окисления	167,8	164,1	3,7
	Испарения	152	148,2	3,8
	Температурных преобразований	162,6	161,6	1
	Критические температуры процессов			
	Окисления	197,7	201,3	3,6
	Испарения	206,5	208,7	2,2
	Температурных преобразований	199,2	203	3,8
	Предельная температура работоспособности			
	Окисления	184,5	182,6	1,9
	Испарения	181,8	181	0,8
	Температурных преобразований	183,8	182,2	1,6

Таблица 3.28 – Расчетные данные по температурам начала процессов окисления, испарения и предельно допустимой температуре работоспособности трансмиссионного частично синтетического масла G – Box Expert 75W – 90 GL 5.

Марка масла	Температуры начала процессов			Разность температур, С°
G – Box Expert 75W – 90 GL 5	Время испытаний	8 часов	6 часов	
	Окисления	136,5	146,2	9,7
	Испарения	116,7	137	20,3
	Температурных преобразований	131,4	142,6	11,2

Окончание таблицы 3.28.

	Критические температуры процессов			
	Окисления	165,8	164,8	1
	Испарения	181,3	183,7	2,4
	Температурных преобразований	168,2	168,5	0,3
	Предельная температура работоспособности			
	Окисления	156,3	153,7	2,6
	Испарения	158,7	158,1	0,6
	Температурных преобразований	155,5	154,3	1,2

Для полученных данных при испытаниях в 8 часов и данных для доказательной базы в 6 часов, необходимо вычислить погрешность. Так, для минерального масла Лукойл Стандарт 10W – 40 SF / CC, максимальная разность в критических температурах составила 12,1 С°, а предельно допустимых температурах 1,9 С°. Для частично синтетического масла Castrol magnatec 10W – 40 R SL / CF максимальная расница температур начала процессов составила 6,4 С°, в критических температурах составила 3,5 С°, а предельно допустимых температурах 5 С°. Для синтетического масла GAZPROMNEFT PREMIUM N 5W – 40 SN / CF максимальная разница в температурах испарения составила 3,8 С°, критических температурах составила 3,8 С°, а предельно допустимых температурах 1,9 С°. Отдельно стоит выделить разность в температурах начала процессов испарения минерального масла Лукойл Стандарт 10W – 40 SF / CC, которая составляет 21,2 С°, что обусловлено наличием легких фракций, которые выкипают на первых этапах проведения опыта.

Для полученных данных при испытаниях в 8 часов и данных для доказательной базы в 10 часов, необходимо вычислить разность. Для частично синтетического масла Castrol magnatec 10W – 40 R SL / CF максимальная разница температур начала процессов составила 2,5 С°, в критических температурах составила 18,3 С°, а предельно допустимых температурах 2,1 С°.

Так максимальные разности для частично синтетического трансмиссионного масла G – Box Expert 75W – 90 GL 5, в критических температурах составила 2,4 С°, в придельных температурах 2,6 С°. Стоит отдельно выделить разность температуры начала процесса испарения, которая выделяется из общего ряда и составляет 20,3 С°. Это обусловлено наличием легких фракций выкипающих в начальных этапах проведения опыта.

На основе проведенных исследований показано, что проведенная проверка температурных параметров при разном времени испытания, показала, что минимальная разность температур при разном времени проведения испытаний составила 0,1 С°, максимальная 21,2 С°. Для испытаний при разном температурном диапазоне минимальная разница составила 6,6 С°, максималь-

ная 13,8 С°. Исходя из полученных значений, для сравнения масел одного назначения, целесообразно проводить исследования при одинаковых времени и температурном диапазоне испытания.

3.7 Выводы по третьей главе

Время термостатирования, а также изменение заданных температур оказывает влияние на температурную область работоспособности смазочных масел, поэтому, для сравнения масел одного назначения приняты постоянный температурный диапазон и время термостатирования.

Разработанный метод позволил расширить информацию о температурной области работоспособности смазочных масел, включающий определение температуры начала процессов окисления, испарения и температурных преобразований, а также критические и предельно допустимые температуры этих процессов. Существующие методы контроля температурной области работоспособности смазочных масел не дают возможность получить данные показатели. Кроме того предложен интегральный показатель, учитывающий совместно температуры преобразований процессов окисления и испарения.

Метод может считаться экспрессивным за счет сокращения времени проведения испытания по сравнению с другими методами исследования температурной области работоспособности, направленных на изучение механизма процессов окисления и испарения в зависимости от температуры.

4 Исследование температурной области работоспособности смазочных материалов

4.1 Исследование температур начала процессов окисления, испарения и температурных преобразований моторных масел, минеральной базовой основы

4.1.1 Моторное масло ZIC HIFLO 10W – 40 API SL

ZIC Hiflo 10W – 40 SL – минеральное моторное масло изготовлено для бензиновых двигателей абсолютно всех типов, также оборудованных системами инжекторной подачи топлива и турбонаддува [84 – 85].

Произведено с применением базового масла под названием YUBASE VHVI , изготовленного по технологии каталитического гидрокрекинга, оно содержит хорошо сбалансированный пакет высококачественных присадок производимых ведущими мировыми производителей.

Соответствует требованиям API SL / ILSAC GF – 3.

В таблице 4.1 – приведены экспериментальные данные масла ZIC HIFLO 10W – 40 API SL.

Таблица 4.1 – Экспериментальные данные испытания масла ZIC HIFLO 10W – 40 API SL.

Марка масла	Цикл температур	Температура испытания T, °C	Оптическая плотность, D	Испаряемость, G (суммарная)	Показатель термоокислительной стабильности, $П_{тос}$
ZIC HIFLO 10W – 40 API SL	повышения	150	0,0000	0,8	0,008
		160	0,0067	2,1	0,0277
		170	0,0478	3,7	0,0848
		180	0,1229	5,9	0,1819
	понижения	180	0,0548	3,1	0,0858
		170	0,1054	4,6	0,1514
		160	0,1823	5,4	0,2363
		150	0,2315	5,9	0,2905

На рисунке 4.1 представлены зависимости оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения (кривая 1) и понижения (кривая 2) температуры испытания.

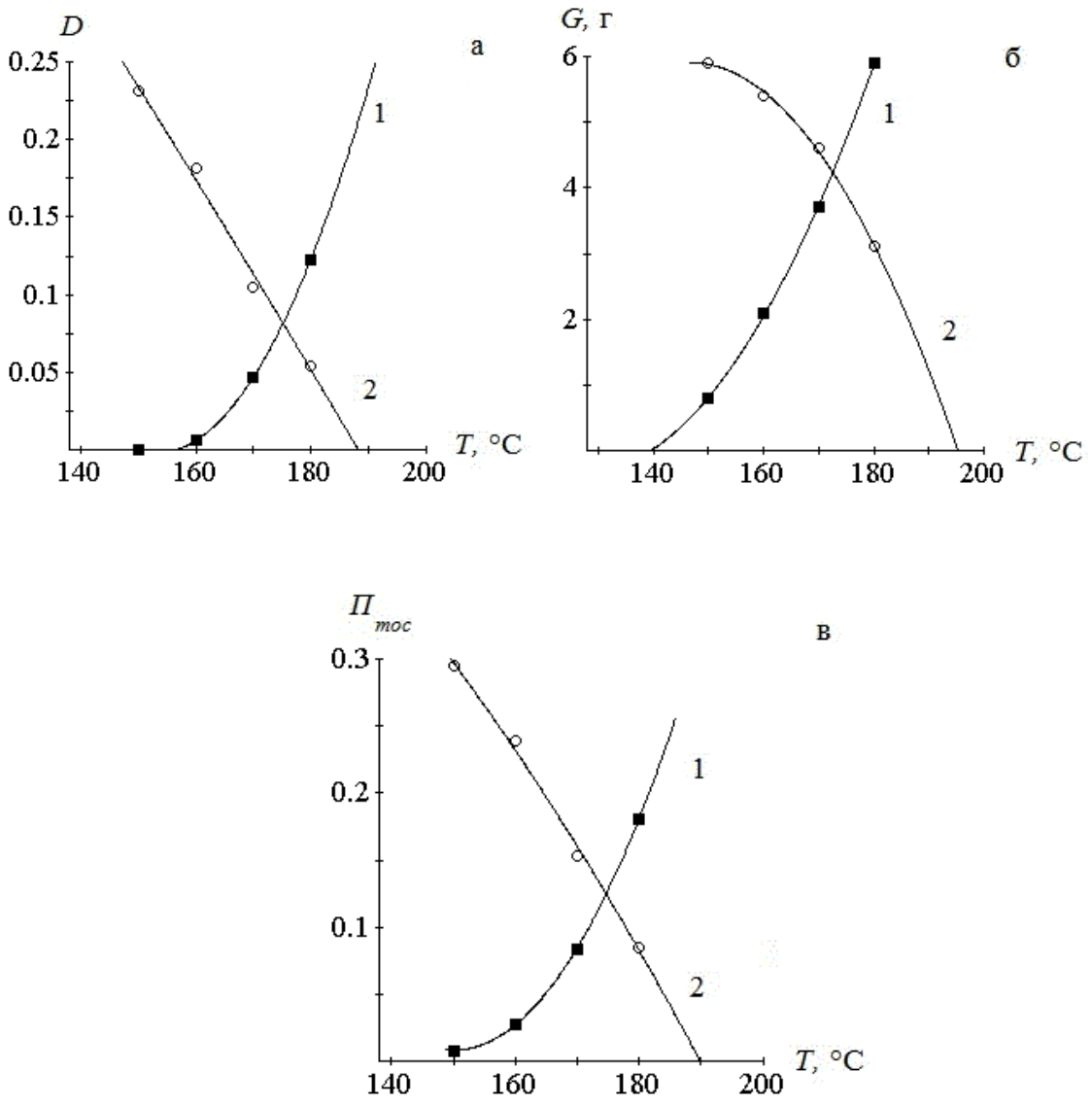


Рисунок 4.1 – Зависимости оптической плотности (а), испаряемости (б) и коэффициента термоокислительной стабильности (в) от температуры окисления минерального моторного масла ZIC HIFLO 10W – 40 API SL: 1 – цикл увеличения температуры; 2 – цикл понижения температуры.

Регрессионные уравнения зависимостей оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения и понижения температуры сведены в таблице 4.2, с помощью которых вычислены температуры начала процессов окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной стабильности, критические температуры, а также предельно допустимые температуры работоспособности исследуемого моторного масла.

Таблица 4.2 – Регрессионные уравнения процессов окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной стабильности при испытании минерального моторного масла ZIC HIFLO 10W – 40 API SL.

Показатели термоокислительной стабильности	Регрессионные уравнения цикла повышения температуры испытания	Температуры начала процессов, С°
Окисление	$D = 1,75 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 - 0.05365 \cdot T + 4.11$	156,5
Испарение	$G = 0,00225 \cdot T^2 - 0,5735 \cdot T + 36,215$	139,5
Температурные преобразования	$\Pi_{тос} = 1,9325 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 - 0,0580195 \cdot T + +4,363005$	150,2
	Регрессионные уравнения цикла понижения температуры испытания	Критические температуры процессов, С°
Окисление	$D = -5 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 - 0,00443 \cdot T + 1,0107$	188,1
Испарение	$G = -0,0025 \cdot T^2 + 0,733 \cdot T - 47,82$	195,2
Температурные преобразования	$\Pi_{тос} = -3 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 0,00274 \cdot T + 0,5614$	189,8
	Разность регрессионных уравнений циклов повышения и понижения температуры испытания	Предельно допустимые температуры, С°
Окисление	$D = 0,00018 \cdot T^2 - 0,04922 \cdot T + 3,0993$	175,1
Испарение	$G = 0,00475 \cdot T^2 - 1,3065 \cdot T + 84,035$	172,4
Температурные преобразования	$\Pi_{тос} = 0,00022325 \cdot T^2 - 0,0607595 \cdot T + +3,801605$	174,6

Из приведенных данных (таблица 4.2) для минерального масла ZIC HIFLO 10W – 40 API SL следует, что температура начала процессов окисления – 156,5 С°, испарения – 139,5 С°, температурных преобразований – 150,2 С°. Критическая температура составляет для процессов окисления – 188,1 С°, испарения – 195,2 С°, температура преобразований – 189,8 С°. Предельно допустимая температура составляет для: процессов окисления – 175,1 С°, испарения – 172,4 С°, температурных преобразований – 174,6 С°.

4.1.2 Минеральное моторное масло Роснефть OPTIMUM SAE 10W – 40 SG / CD

Масло произведено для всесезонной эксплуатации в умеренной климатической области в роли основного сорта масел, предназначенных для бензиновых двигателей автомобилей: ВАЗ, ГАЗ, ИЖ, УАЗ, в бензиновых, а также дизельных двигателях без использования наддува для автомобилей загра-

ничного производства, в руководстве по использованию которых описано применение смазывающих материалов данного уровня качества [86].

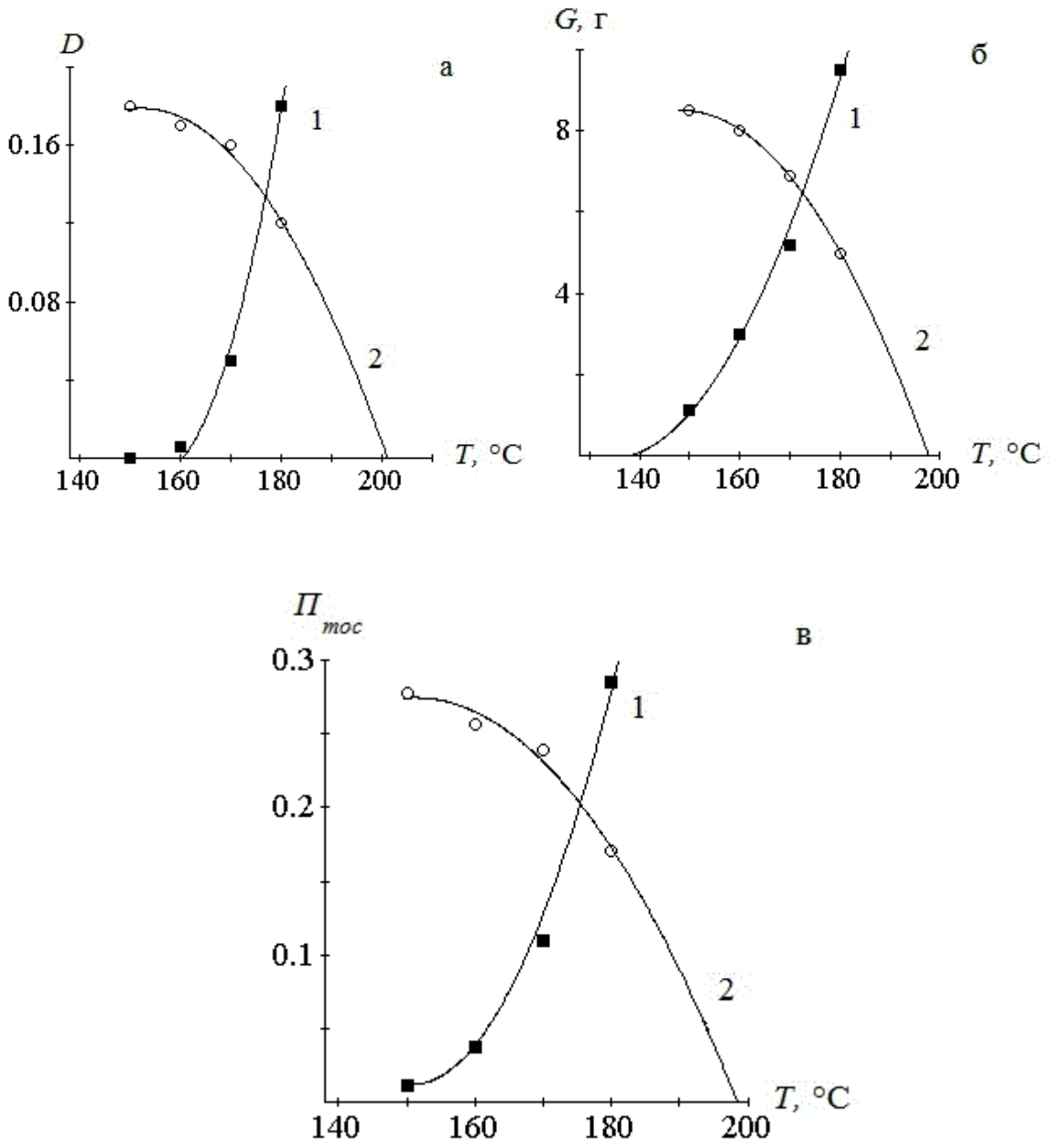


Рисунок 4.2 – Зависимости оптической плотности (а), испаряемости (б) и показателя термоокислительной стабильности (в) от температуры окисления минерального моторного масла Роснефть OPTIMUM SAE 10W – 40 SG / CD: 1 – цикл повышения температуры; 2 – цикл понижения температуры.

На рисунке 4.2 представлены зависимости оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения (кривая 1) и понижения (кривая 2) температуры испытания.

В таблице 4.3 приведены экспериментальные данные масла.

Таблица 4.3 – Экспериментальные данные испытания масла Роснефть OPTIMUM SAE 10W – 40 SG / CD.

Марка масла	Цикл температур	Температура испытания T, °C	Оптическая плотность, D	Испаряемость, G (суммарная)	Показатель термоокислительной стабильности, $П_{тос}$
Роснефть OPTIMUM SAE 10W – 40 SG / CD	повышения	150	0,0000	1,1	0,011
		160	0,0067	3,0	0,0374
		170	0,0548	5,2	0,1094
		180	0,1823	9,5	0,2857
	понижения	180	0,1203	5,0	0,1703
		170	0,1664	6,9	0,2395
		160	0,1704	8,0	0,2575
		150	0,1823	8,5	0,2772

Регрессионные уравнения зависимостей оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения и понижения температуры сведены в таблице 4.4, с помощью которых вычислены температуры начала процессов окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной стабильности, критические температуры, а также предельно допустимые температуры работоспособности исследуемого моторного масла.

Таблица 4.4 – Регрессионные уравнения процессов окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной стабильности при испытании минерального моторного масла Роснефть OPTIMUM SAE 10W – 40 SG / CD.

Показатели термоокислительной стабильности	Регрессионные уравнения цикла повышения температуры испытания	Температуры начала процессов, C°
Окисление	$D = 3{,}1 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 - 0{,}09646 \cdot T + 7{,}4964$	160,4
Испарение	$G = 0{,}0044233 \cdot T^2 - 1{,}1852677 \cdot T + 79{,}3255594$	138,1

Окончание таблицы 4.4.

Температурные преобразования	$П_{тос} = 3{,}125 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 - 0{,}094235 \cdot T + 7{,}11615$	150,5
	Регрессионные уравнения цикла понижения температуры испытания	Критические температуры процессов, С°
Окисление	$D = -7{,}5 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 0{,}02285 \cdot T - 1{,}5615$	201,1
Испарение	$G = -0{,}0035 \cdot T^2 + 1{,}039 \cdot T - 68{,}61$	197,7
Температурные преобразования	$П_{тос} = -1{,}225 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 + 0{,}037035 \cdot T - 2{,}52465$	198,5
	Разность регрессионных уравнений циклов повышения и понижения температуры испытания	Предельно допустимые температуры, С°
Окисление	$D = 0{,}000385 \cdot T^2 - 0{,}11931 \cdot T + 9{,}0579$	176,8
Испарение	$G = 0{,}0079233 \cdot T^2 - 2{,}2242677 \cdot T + +147{,}9355594$	172,4
Температурные преобразования	$П_{тос} = 0{,}000435 \cdot T^2 - 0{,}13127 \cdot T + 9{,}6408$	175,4

Из приведенных данных (таблица 4.4) для минерального моторного масла Роснефть OPTIMUM SAE 10W – 40 SG / CD следует, что температура начала процессов окисления – 160,4 С°, испарения составляет – 138,1 С°, температурных преобразований составляет – 150,5 С°. Критическая температура составляет для процессов окисления – 201,1 С°, для испарения – 197,7 С°, для преобразований – 198,5 С°. Предельно допустимая температура составляет для: процессов окисления – 176,8 С°, испарения – 172,4 С°, температурных преобразований – 175,4 С°.

4.1.3 Моторное масло Castrol GTX Professional A3 10W – 40 SL / CF

Castrol GTX Professional 15W – 40 A3 SL / CF — это минеральное моторное масло, изготовленное для бензиновых, а также дизельных двигателей. Масло одно из самых популярных в мире. Может подходить для автомобилей заграничного или отечественного производства. Это система технических решений, а также технологий, которые ежедневно защищают двигатель от негативных воздействий, в особенности, от образования шлама.

Ужесточенные условия эксплуатации автомобиля, например как частая работа двигателя в таких режимах как остановка — движение / стоп — старт, суровый климат, увеличенные периоды замены моторного масла, могут приводить к появлению густых смолистых отложений – шламов. Аккумуляция шлама в двигателе может быть причиной ухудшения циркуляции масла и раннего выхода двигателя из строя. Castrol GTX оберегает двигатель

от появления отложений, на 25% эффективней по сравнению с нормами, которые установлены стандартами API SL и ACEA A3 / B3 [87].

В таблице 4.5 приведены экспериментальные данные масла Castrol GTX Professional 15W – 40 A3 SL / CF.

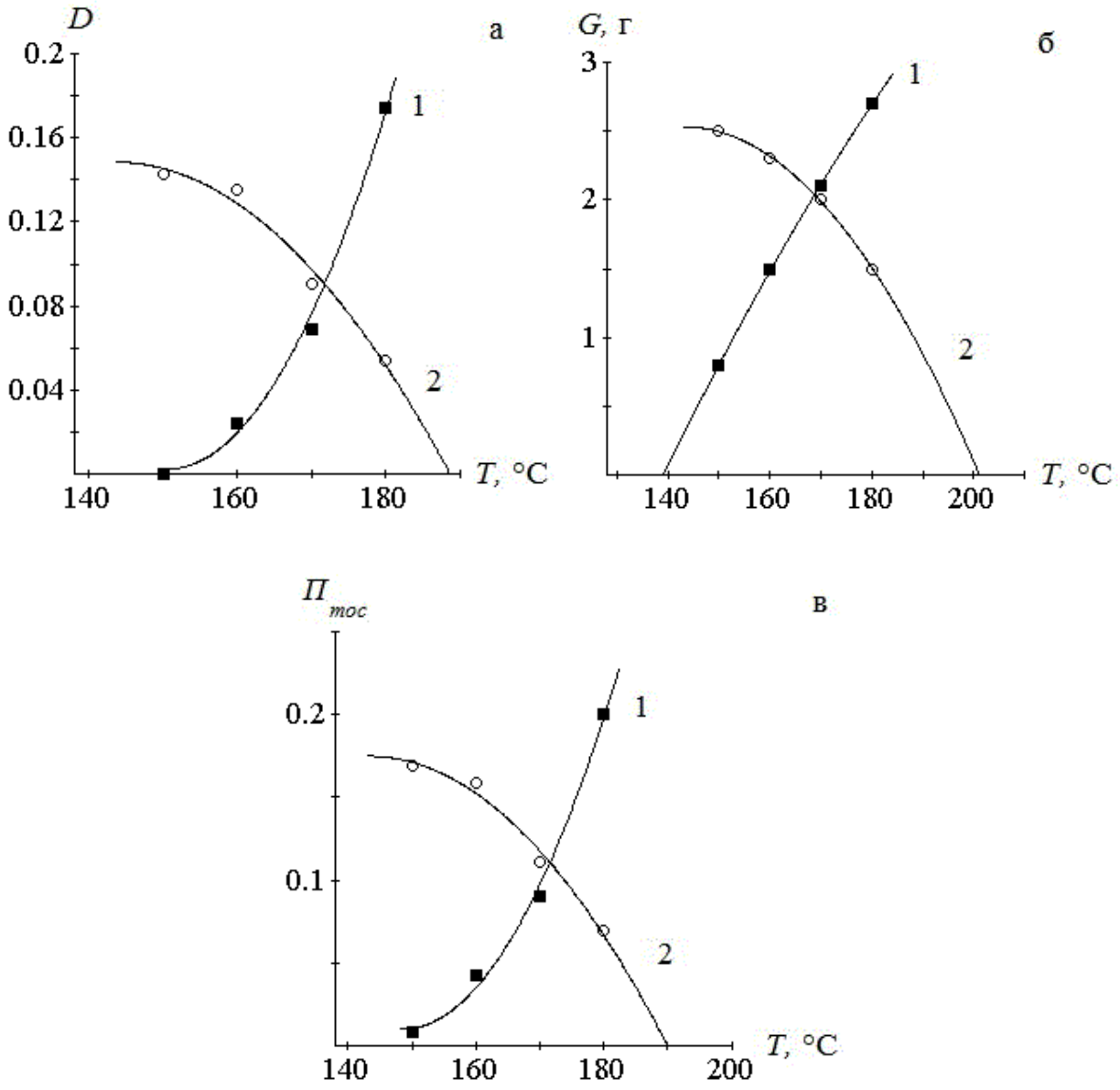


Рисунок 4.3 – Зависимости оптической плотности (а), испаряемости (б) и показателя термоокислительной стабильности (в) от температуры окисления минерального моторного масла Castrol GTX Professional 15W – 40 A3 SL / CF: 1 – цикл повышения температуры; 2 – цикл понижения температуры.

На рисунке 4.3 представлены зависимости оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения (кривая 1) и понижения (кривая 2) температуры испытания.

Таблица 4.5 – Экспериментальные данные испытания масла Castrol GTX Professional 15W – 40 A3 SL / CF.

Марка масла	Цикл температур	Температура испытания T, °C	Оптическая плотность, D	Испаряемость, G (суммарная)	Показатель термоокислительной стабильности, $П_{тос}$
Castrol GTX Professional 15W – 40 A3 SL / CF	повышения	150	0,0000	0,8	0,0080
		160	0,0240	1,5	0,0422
		170	0,0690	2,1	0,0904
		180	0,1744	2,7	0,2022
	понижения	180	0,0548	1,5	0,0698
		170	0,0907	2,0	0,1112
		160	0,1354	2,3	0,1592
		150	0,1431	2,5	0,1691

Регрессионные уравнения зависимостей оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения и понижения температуры сведены в таблице 4.6, с помощью которых вычислены температуры начала процессов окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной стабильности, критические температуры, а также предельно допустимые температуры работоспособности исследуемого моторного масла.

Таблица 4.6 – Регрессионные уравнения процессов окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной стабильности при испытании минерального моторного масла Castrol GTX Professional 15W – 40 A3 SL / CF.

Показатели термоокислительной стабильности	Регрессионные уравнения цикла повышения температуры испытания	Температуры начала процессов, C°
Окисление	$D = 0,000196 \cdot T^2 - 0,059028 \cdot T + 4,44662$	150,5
Испарение	$G = -0,00025 \cdot T^2 + 0,1455 \cdot T\text{-}15,395$	139
Температурные преобразования	$П_{тос} = 0,0001895 \cdot T^2 - 0,056297 \cdot T + 4,19123$	148,5
	Регрессионные уравнения цикла понижения температуры испытания	Критические температуры процессов, C°
Окисление	$D = -0,0000725 \cdot T^2 + 0,020805 \cdot T\text{-}1,34415$	188,7
Испарение	$G = -0,00075 \cdot T^2 + 0,2145 \cdot T\text{-}12,805$	201,1

Окончание таблицы 4.6.

Температурные преобразования	$П_{тос} = -0,00008 \cdot T^2 + 0,02292 \cdot T\text{-}1,4668$	190
	Разность регрессионных уравнений циклов повышения и понижения температуры испытания	Предельно допустимые температуры, С°
Окисление	$D = 0,0002685 \cdot T^2 - 0,079833 \cdot T + 5,79077$	171,7
Испарение	$G = 0,0005 \cdot T^2 - 0,069 \cdot T\text{-}2.59$	168,7
Температурные преобразования	$П_{тос} = 0,0002695 \cdot T^2 - 0,079217 \cdot T + 5,65803$	171,5

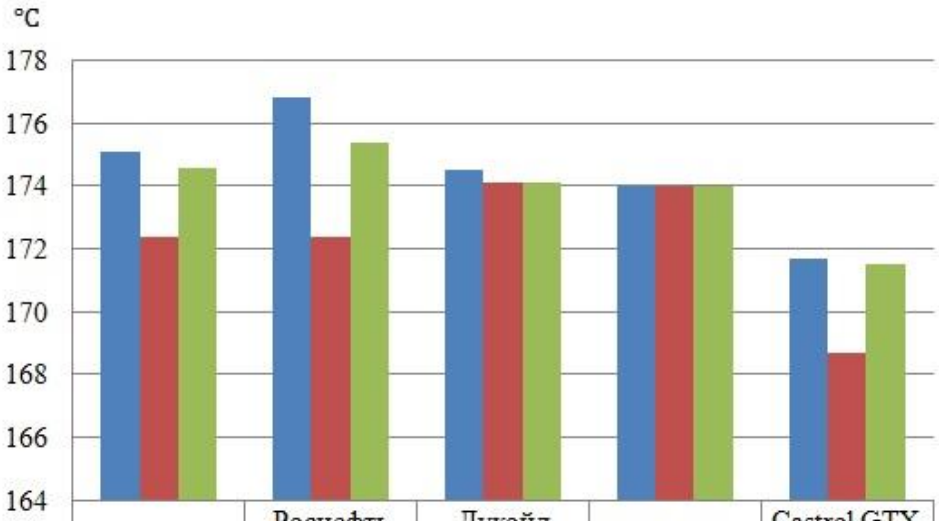
Из приведенных данных (таблица 4.6) для минерального моторного масла Castrol GTX Professional 15W – 40 A3 SL / CF следует, что температура начала процессов окисления – 150,5 С°, испарения – 139 С°, температурных преобразований составляет – 148,5 С°. Критическая температура составляет для: процессов окисления – 188,7 С°, испарения – 201,1 С°, температурных преобразований – 190 С°. Предельная температура составляет для: процессов окисления – 171,7 С°, испарения – 168,7 С°, температурных преобразований – 171,5 С°.

4.1.4 Анализ результатов исследования минеральных моторных масел

В качестве сравнительной характеристики испытанных масел следует сравнить предельные температуры работоспособности смазочных материалов, как оптимальную предельную температуру работоспособности [88].

Таблица 4.7 – Предельно допустимые температуры работоспособности минеральных моторных масел.

Процессы	Марка масла				
	ZIC HIFLO 10W – 40 SL	Роснефть OPTIMUM 10W – 40 SG / CD	Лукойл СТАНДАРТ 10W – 40 SF / CC	Mobil Super 1000 15W – 40 SL / CF	Castrol GTX Professional A3 10W – 40 SL / CF
Окисление	175,1	176,8	174,5	174	171,7
Испарение	172,4	172,4	174,1	174	168,7
Температурные преобразования	174,6	175,4	174,1	174	171,5



	ZIC HIFLO 10W – 40 SL	Роснефть OPTIMUM 10W – 40 SG / CD	Лукойл СТАНДАРТ 10W - 40 SF / CC	Mobil Super 1000 15W – 40 SL / CF	Castrol GTX Professional A3 10W - 40 SL / CF
1	175,1	176,8	174,5	174	171,7
2	172,4	172,4	174,1	174	168,7
3	174,6	175,4	174,1	174	171,5

Рисунок 4.4 – Гистограмма минеральных моторных масел, где 1 – предельная температура окисления, 2 – предельная температура испарения, 3 – предельная температура процесса температурных преобразований.

Из приведенной гистограммы (рисунок 4.4) можно сделать вывод, что показания предельных температур процессов окисления, испарения и температурных преобразований минеральных моторных масел не сильно разнятся и в среднем составляют 174 ℃. Однако, можно выделить два масла со значительной разницей температур. Это масла Роснефть OPTIMUM 10W – 40 SG / CD и Castrol GTX Professional A3 10W – 40 SL / CF. Значения температур масла Роснефть выше, чем у Castrol по предельным температурам процессов: окисления на 5,1 ℃, испарения на 3,7 ℃, температурных преобразований на 3,9 ℃.

Из приведенной гистограммы (рисунок 4.5), в которой приведены масла с минеральной базовой основой и одной группы эксплуатационных свойств SL, можно сделать вывод, что показания предельных температур процессов окисления, испарения и температурных преобразований различны. Так значения температур масла ZIC HIFLO 10W – 40 SL выше, чем у масла Castrol GTX Professional A3 10W – 40 SL / CF процессов: окисления на 3,4 С°, испарения на 3,7 С°, температурных преобразований на 3,1 С°.

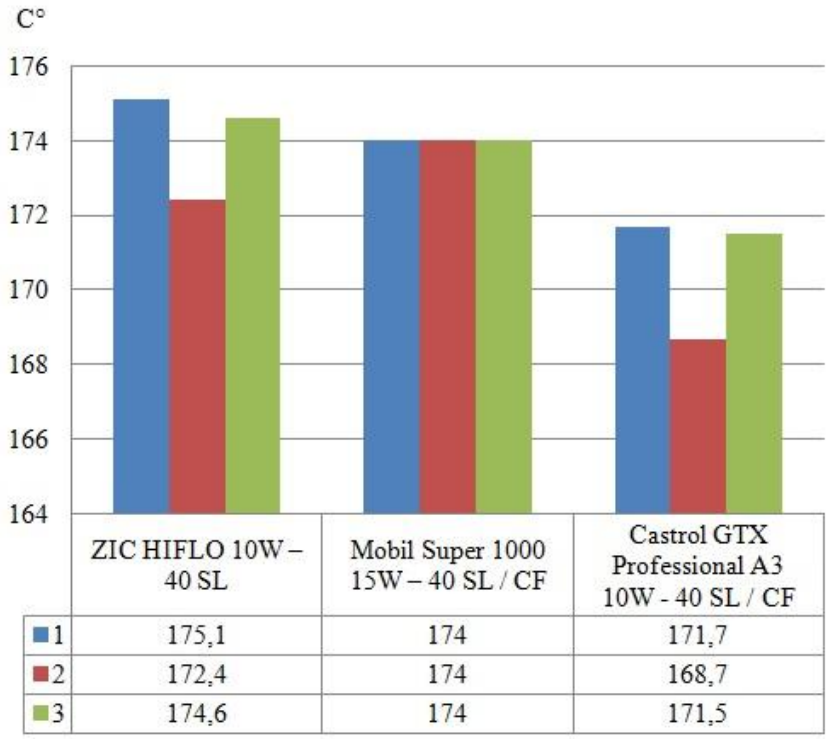


Рисунок 4.5 – Гистограмма минеральных моторных масел, одной группы эксплуатационных свойств SL, где 1 – предельная температура окисления, 2 – предельная температура испарения, 3 – предельная температура процесса температурных преобразований.

4.2 Исследование температур начала процессов окисления, испарения и температурных преобразований моторных масел, частично синтетической базовой основы

4.2.1 Моторное масло Роснефть Maximum 10W – 40 SL / CF

Роснефть Maximum SL / CF – масло с использованием частично синтетической базовой основой. Это современное, изготовленное для каждого сезона масло (универсальное моторное масло) в сочетании с эффективным, качественно сбалансированным пакетом присадок от ведущих мировых производителей. Данное масло обладает термической стабильностью, высокими противокоррозионными и улучшенными антиокислительными, и моюще – диспергирующими свойствами. Изготовлено для эксплуатации в современных форсированных бензиновых двигателях с использованием турбонаддува и дизелях для легковых автомобилей заграничного и отечественного производства, в руководстве по применению которых предписано эксплуатация масел данного уровня качества. Отлично подходит для климатических условий России. Рекомендовано применять в широком интервале температур от – 30 до + 35 °С [89 – 90].

В таблице 4.8 приведены экспериментальные данные масла Роснефть Maximum 10W – 40 SL / CF.

На рисунке 4.6 представлены зависимости оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения (кривая 1) и понижения (кривая 2) температуры испытания.

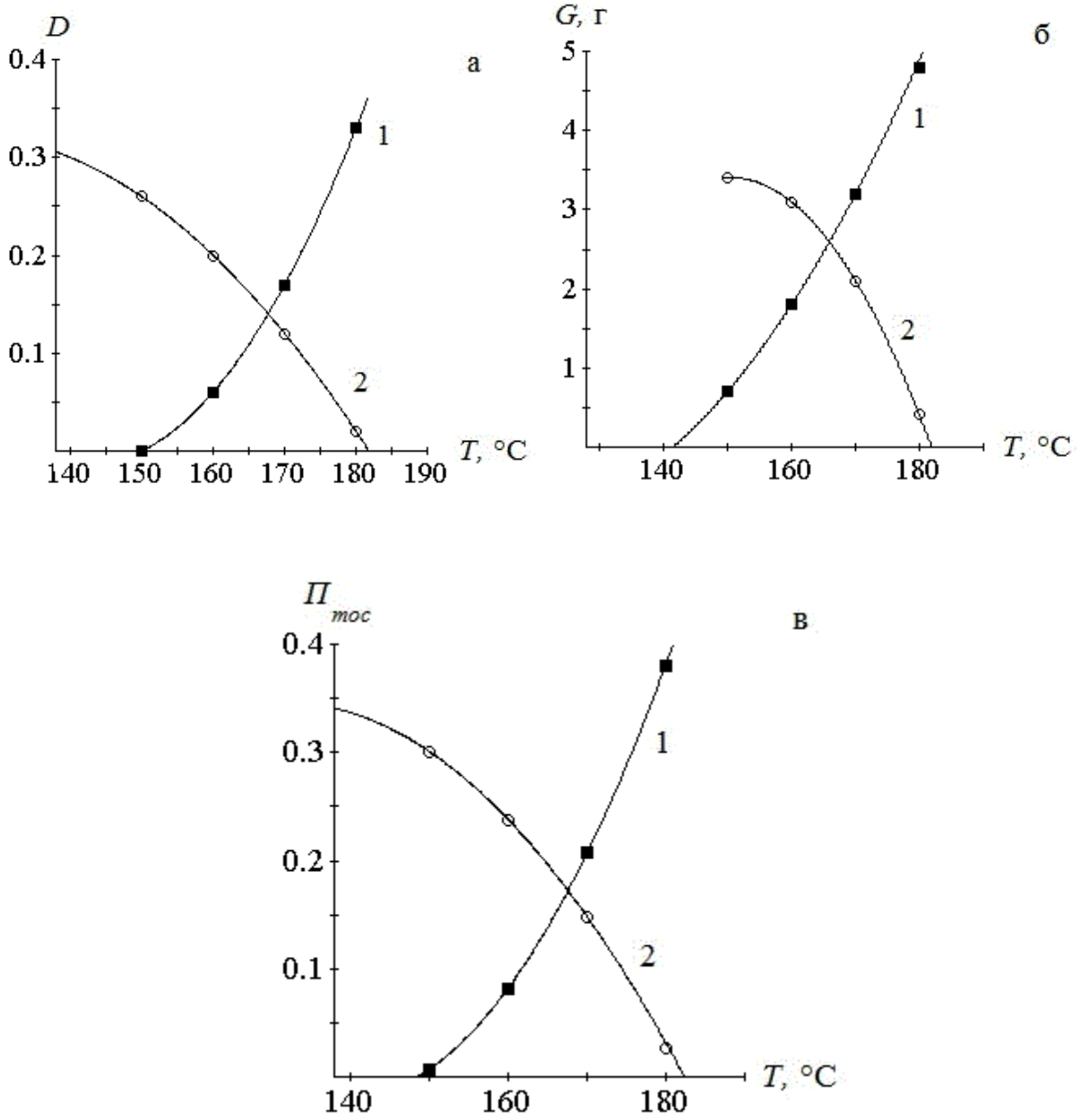


Рисунок 4.6 – Зависимости оптической плотности (а), испаряемости (б) и показателя термоокислительной стабильности (в) от температуры окисления частично синтетического моторного масла Роснефть Maximum 10W – 40 SL / CF: 1 – цикл повышения температуры; 2 – цикл понижения температуры.

Таблица 4.8 – Экспериментальные данные испытания масла Роснефть Maximum 10W – 40 SL / CF.

Марка масла	Цикл температур	Температура испытания T, °C	Оптическая плотность, D	Испаряемость, G (суммарная)	Показатель термоокислительной стабильности, $П_{тос}$
Роснефть Maximum 10W - 40 SL / CF	повышения	150	0,0000	0,7	0,0070
		160	0,0619	1,8	0,0821
		170	0,1744	3,2	0,2073
		180	0,3300	4,8	0,3800
	понижения	180	0,0280	0,42	0,0270
		170	0,1278	2,1	0,1488
		160	0,2066	3,1	0,2384
		150	0,2657	3,4	0,3011

Регрессионные уравнения зависимостей оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения и понижения температуры сведены в таблице 4.9, с помощью которых вычислены температуры начала процессов окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной стабильности, критические температуры, а также предельно допустимые температуры работоспособности исследуемого моторного масла.

Таблица 4.9 – Регрессионные уравнения процессов окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной стабильности при испытании частично синтетического моторного масла Роснефть Maximum 10W – 40 SL / CF.

Показатели термоокислительной стабильности	Регрессионные уравнения цикла повышения температуры испытания	Температуры начала процессов, C°
Окисление	$D = 2,5 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 - 0,0715 \cdot T + 5,1$	150
Испарение	$G = 0,0015 \cdot T^2 - 0,355 \cdot T + 20,2$	141,4
Температурные преобразования	$П_{тос} = 2,5 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 - 0,07 \cdot T + 4,882$	148,4
	Регрессионные уравнения цикла понижения температуры испытания	Критические температуры процессов, C°
Окисление	$D = -1 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 + 0,0251 \cdot T - 1,25$	182,5
Испарение	$G = -0,0035 \cdot T^2 + 1,055 \cdot T - 76,1$	181,8

Окончание таблицы 4.9.

Температурные преобразования	$П_{тос} = -1,35 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 + 0,03555 \cdot T - 1,994$	182,3
	Разность регрессионных уравнений циклов повышения и понижения температуры испытания	Предельно допустимые температуры, С°
Окисление	$D = 0,00035 \cdot T^2 - 0,0965 \cdot T + 6,34$	167,6
Испарение	$G = 0,005 \cdot T^2 - 1,41 \cdot T + 96,3$	165,9
Температурные преобразования	$П_{тос} = 0,000385 \cdot T^2 - 0,10555 \cdot T + 6,876$	167,5

Из приведенных данных (таблица 4.9) для частично синтетического моторного масла Роснефть Maximum 10W – 40 SL / CF следует, что температура начала процессов окисления – 150 С°, испарения – 141,4 С°, температурных преобразований составляет – 148,4 С°. Критическая температура составляет для: процессов окисления – 182,5 С°, испарения – 181,8 С°, температурных преобразований – 182,3 С°. Предельная температура составляет для: процессов окисления – 167,6 С°, испарения – 165,9 С°, температурных преобразований – 167,5 С°.

4.2.2 Моторное масло Лукойл Люкс 5W – 40 SL / CF

Область эксплуатации частично синтетического масла Лукойл Люкс 5W – 40 SL / CF не ограничивается легковыми автомобилями. Сюда можно отнести микроавтобусы, кроссоверы, внедорожники, минивэны, легкую коммерческую, грузовую, строительную технику и т.д. Хорошо подходит для применения в бензиновых и дизельных двигателях, которые оснащены турбонаддувом, интеркулером, а также многоклапанными системами. Продукт совместим с новейшими системами нейтрализации выхлопных газов, со всеми типами катализаторов, но не рекомендуется к использованию в выхлопных системах, оснащенных сажевым фильтром DPF. Одобрено использовать в автомобилях, которые работают с постоянными нагрузками (работа в режиме Старт – Стоп, буксирование другой техники, поездки с прицепом, увеличенным сервисным периодом замены масла и т.п.). Рекомендованно к применению в широком диапазоне рабочих температур [91].

В таблице 4.10 приведены экспериментальные данные масла Лукойл Люкс 5W – 40 SL / CF.

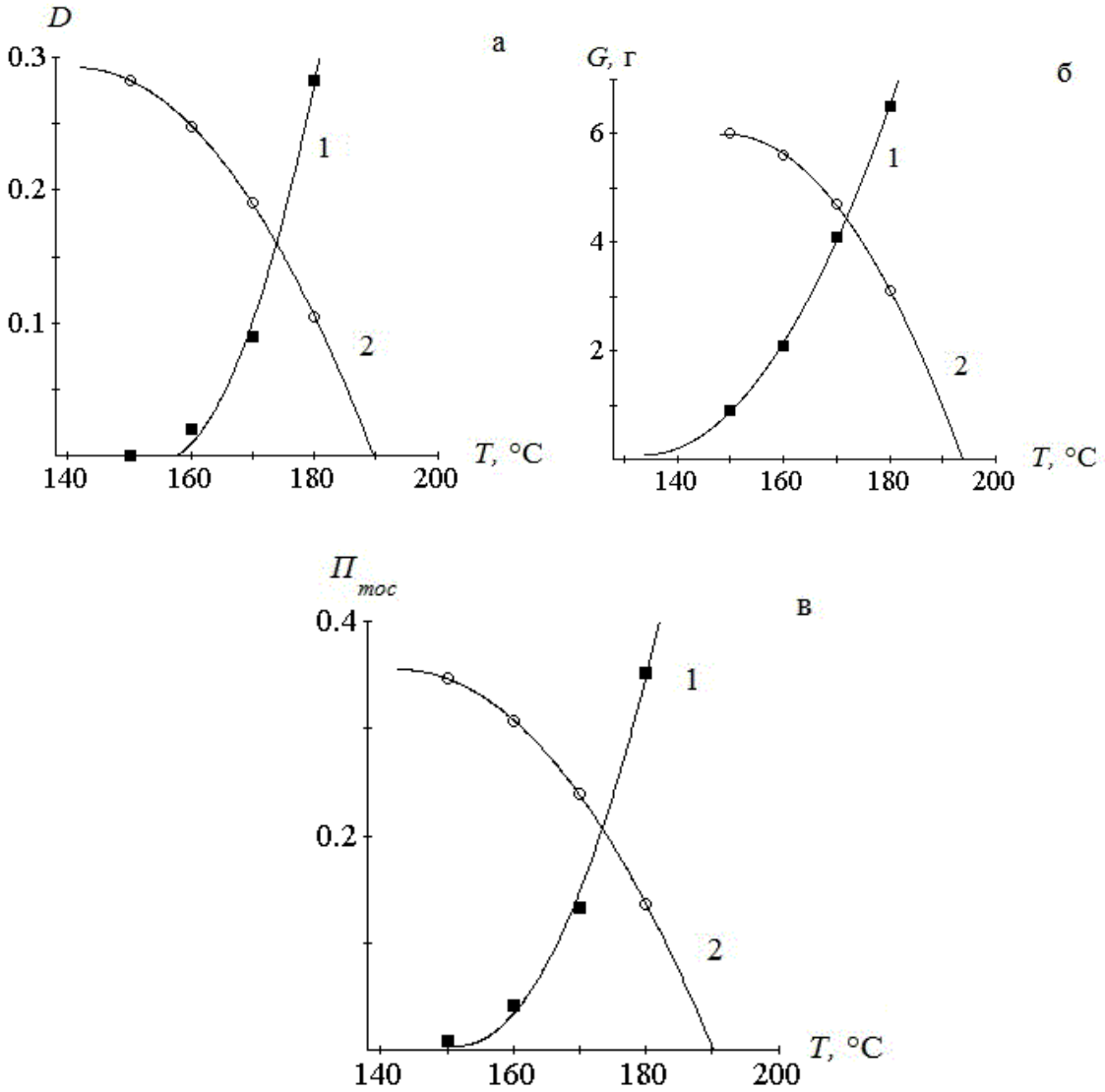


Рисунок 4.7 – Зависимости оптической плотности (а), испаряемости (б) и показателя термоокислительной стабильности (в) от температуры окисления частично синтетического моторного масла Лукойл Люкс 5W – 40 SL / CF: 1 – цикл повышения температуры; 2 – цикл понижения температуры.

Таблица 4.10 – Экспериментальные данные испытания масла Лукойл Люкс 5W – 40 SL / CF.

Марка масла	Цикл температур	Температура испытания T, °C	Оптическая плотность, D	Испаряемость, G (суммарная)	Показатель термоокислительной стабильности, $П_{тос}$
Лукойл Люкс 5W – 40 SL / CF	повышения	150	0,0000	0.9	0,0090
		160	0,0202	2.1	0,0416
		170	0,0907	4.1	0,1331
		180	0,2832	6.5	0,3523

Окончание таблицы 4.10.

Лукойл Люкс 5W – 40 SL / CF	понижения	180	0,1054	3.1	0,1364
		170	0,1904	4.7	0,2392
		160	0,2485	5.6	0,3078
		150	0,2832	6	0,3478

На рисунке 4.7 представлены зависимости оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения (кривая 1) и понижения (кривая 2) температуры испытания.

Регрессионные уравнения зависимостей оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения и понижения температуры сведены в таблице 4.11, с помощью которых вычислены температуры начала процессов окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной стабильности, критические температуры, а также предельно допустимые температуры работоспособности исследуемого моторного масла.

Таблица 4.11 – Регрессионные уравнения процессов окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной стабильности при испытании частично синтетического моторного масла Лукойл Люкс 5W – 40 SL / CF.

Показатели термоокислительной стабильности	Регрессионные уравнения цикла повышения температуры испытания	Температуры начала процессов, С°
Окисление	$D = 4,325 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 - 0,133535 \cdot T + 10,30265$	157,6
Испарение	$G = 0,003 \cdot T^2 - 0,802 \cdot T + 53,68$	133,6
Температурные преобразования	$П_{тос} = 4,275 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 - 0,129665 \cdot T + 9,83585$	151,2
	Регрессионные уравнения цикла понижения температуры испытания	Критические температуры процессов, С°
Окисление	$D = -1,25 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 + 0,03533 \cdot T - 2,2042$	189,6
Испарение	$G = -0,003 \cdot T^2 + 0,894 \cdot T - 60,61$	193,6
Температурные преобразования	$П_{тос} = -1,575 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 + 0,044965 \cdot T - 2,85435$	190,2
	Разность регрессионных уравнений циклов повышения и понижения температуры испытания	Предельно допустимые температуры, С°
Окисление	$D = 0,0005575 \cdot T^2 - 0,168865 \cdot T + 12,50685$	173,8

Окончание таблицы 4.11.

Испарение	$G = 0,006 \cdot T^2 - 1,696 \cdot T + 114,29$	171,7
Температурные преобразования	$П_{тос} = 0,000585 \cdot T^2 - 0,17463 \cdot T + 12,6902$	173,4

Из приведенных данных (таблица 4.11) для частично синтетического моторного масла Лукойл Люкс 5W – 40 SL / CF следует, что температура начала процессов окисления – 10. С°, испарения – 133,6 С°, температурных преобразований составляет – 151,2 С°. Критическая температура составляет для: процессов окисления – 189,6 С°, испарения – 193,6 С°, температурных преобразований – 190,2 С°. Предельная температура составляет для: процессов окисления – 173,8 С°, испарения – 171,7 С°, температурных преобразований – 173,4 С°.

4.2.3 Моторное масло Motul 6100 Synergie + 5W – 30 SL / CF

Масло Motul 6100 Synergie + 5W – 30 SL / CF имеет высокое содержание синтетических базовых компонентов, изготовленное по запатентованной Motul технологии Technosynthense, которая специально разработана как для новых легковых автомобилей, так и для машин предыдущего поколения, которые оснащены мощными двигателями (с турбонаддувом и системой нейтрализации отработавших газов). Комфортно для потребителя то, что Motul 6100 Synergie + 5W – 30 применяется в двигателях, которые работают на всех сортах бензина, даже на дизельном и газовом топливе (LPG) [92].

В таблице 4.12 приведены экспериментальные данные масла Motul 6100 Synergie + 5W – 30 SL / CF.

Таблица 4.12 – Экспериментальные данные испытания масла Motul 6100 Synergie + 5W – 30 SL / CF.

Марка масла	Цикл температур	Температура испытания T, °C	Оптическая плотность, D	Испаряемость, G (суммарная)	Показатель термоокислительной стабильности, $П_{тос}$
Motul 6100 Synergie + 5W – 30 SL / CF	повышения	170	0,0067	1,2	0,0187
		180	0,0408	2,0	0,0611
		190	0,0980	3,4	0,1329
		200	0,2485	5,5	0,3059
	понижения	200	0,0834	2,7	0,1104
		190	0,1128	3,7	0,1509
		180	0,1470	4,4	0,1928
		170	0,1664	4,9	0,2180

На рисунке 4.8 представлены зависимости оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения (кривая 1) и понижения (кривая 2) температуры испытания.

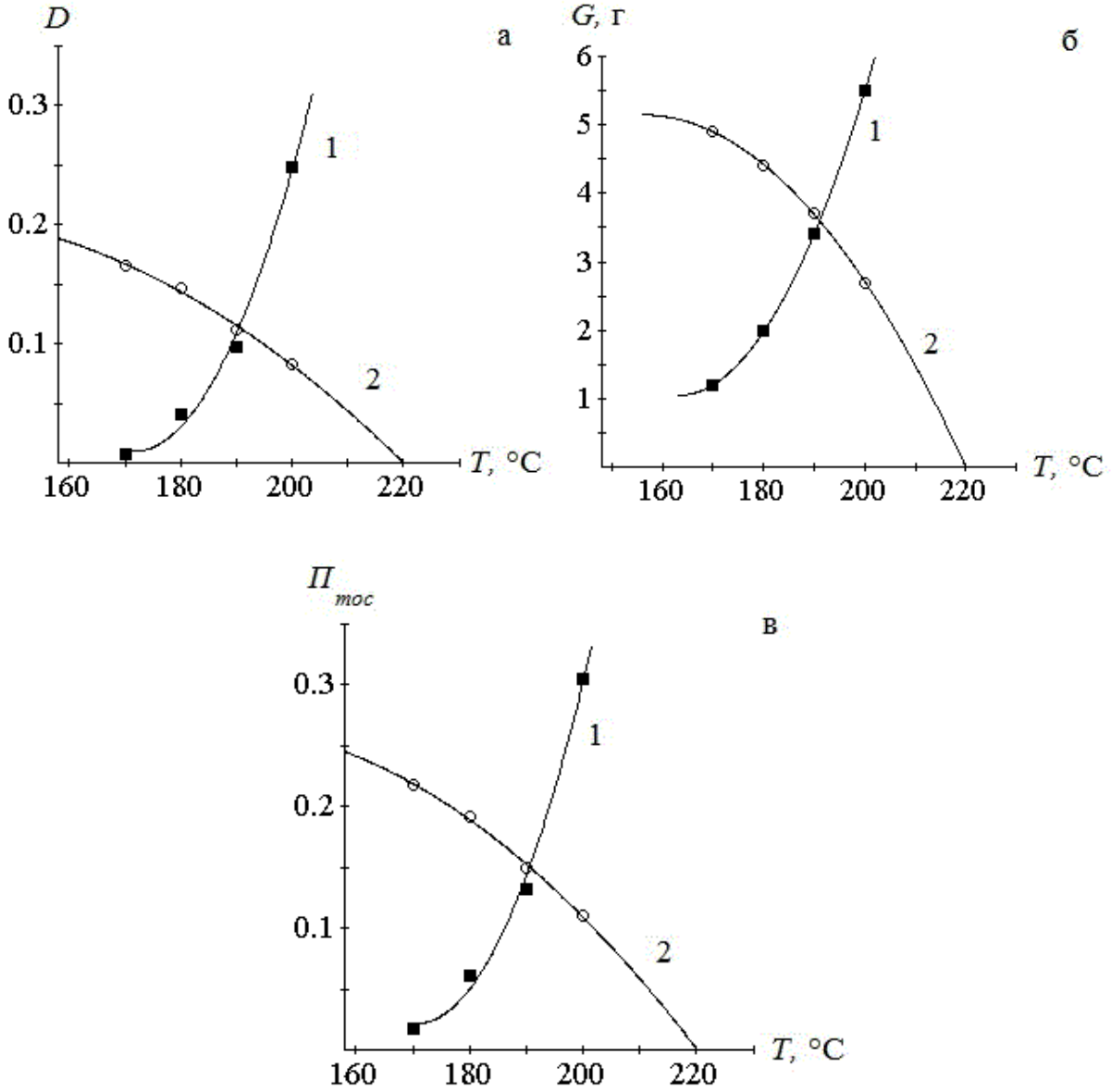


Рисунок 4.8 – Зависимости оптической плотности (а), испаряемости (б) и показателя термоокислительной стабильности (в) от температуры окисления частично синтетического моторного масла Motul 6100 Synergie + 5W – 30 SL / CF: 1 – цикл увеличения температуры; 2 – цикл понижения температуры.

Регрессионные уравнения зависимостей оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения и понижения температуры сведены в таблице 4.13, с помощью которых вычислены температуры начала процессов окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной ста-

бильности, критические температуры, а также предельно допустимые температуры работоспособности исследуемого моторного масла.

Таблица 4.13 – Регрессионные уравнения процессов окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной стабильности при испытании частично синтетического моторного масла Motul 6100 Synergie + 5W – 30 SL / CF.

Показатели термоокислительной стабильности	Регрессионные уравнения цикла повышения температуры испытания	Температуры начала процессов, С°
Окисление	$D = 0,00029 \cdot T^2 - 0,09946 \cdot T + 8,5366$	171,5
Испарение	$G = 0,000325 \cdot T^2 - 1,0595 \cdot T + 87,395$	163
Температурные преобразования	$\Pi_{тос} = 0,000325 \cdot T^2 - 0,11093 \cdot T + 9,4873$	170,6
	Регрессионные уравнения цикла понижения температуры испытания	Критические температуры процессов, С°
Окисление	$D = -0,000025 \cdot T^2 + 0,00641 \cdot T - 0,2001$	220
Испарение	$G = -0,00125 \cdot T^2 + 0,3895 \cdot T - 25,195$	219
Температурные преобразования	$\Pi_{тос} = -0,000035 \cdot T^2 + 0,00929 \cdot T - 0,3489$	220,1
	Разность регрессионных уравнений циклов повышения и понижения температуры испытания	Предельно допустимые температуры, С°
Окисление	$D = 0,000315 \cdot T^2 - 0,10587 \cdot T + 8,7367$	190,5
Испарение	$G = 0,0045 \cdot T^2 - 1,449 \cdot T + 112,59$	191
Температурные преобразования	$\Pi_{тос} = 0,00036 \cdot T^2 - 0,12022 \cdot T + 9,8362$	190,5

Из приведенных данных (таблица 4.13) для частично синтетического моторного масла Motul 6100 Synergie + 5W – 30 SL / CF следует, что температура начала процессов окисления – 171,5 С°, испарения – 163 С°, температурных преобразований составляет – 170,6 С°. Критическая температура составляет для: процессов окисления – 220 С°, испарения – 219 С°, температурных преобразований – 220,1 С°. Предельная температура составляет для: процессов окисления – 190,5 С°, испарения – 191 С°, температурных преобразований – 190,5 С°.

4.2.4 Анализ результатов исследования частично синтетических моторных масел

В качестве сравнительной характеристики испытанных масел следует сравнить предельные температуры работоспособности смазочных материалов.

Таблица 4.14 – Предельно допустимые температуры работоспособности частично синтетических моторных масел.

Процессы	Марка масла			
	Роснефть Maximum 10W – 40 SL / CF	Castrol Magnatec 10W – 40 R SL / CF	Лукойл Люкс 5W – 40 SL / CF	Motul 6100 Synergie + 5W – 30 SL / CF
Окисление	167,6	178,3	173,8	190,5
Испарение	165,9	172,9	171,7	191
Температурные преобразования	167,5	176,7	173,4	190,5

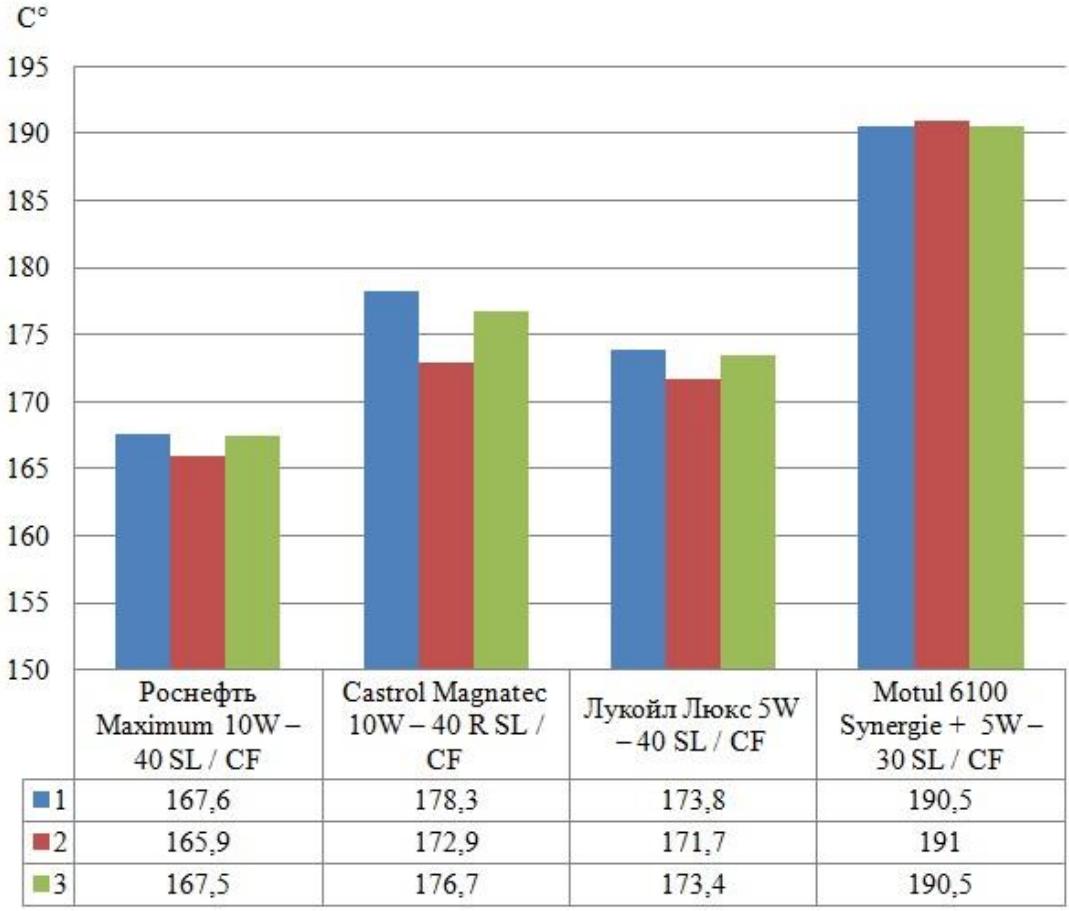


Рисунок 4.9 – Гистограмма частично синтетических моторных масел, одной группы эксплуатационных свойств SL / CF, где 1 – предельная температура окисления, 2 – предельная температура испарения, 3 – предельная температура процесса температурных преобразований.

Из приведенной гистограммы (рисунок 4.9) можно сделать вывод, что показания предельных температур процессов окисления, испарения и температурных преобразований частично синтетических моторных масел, одной группы эксплуатационных свойств, сильно разнятся. Так можно выделить два масла Роснефть Maximum 10W – 40 SL / CF и Motul 6100 Synergie + 5W – 30 SL / CF. Значения температур масла Motul выше, чем у Роснефть по предельным температурам процессов: окисления на 22,9 °С, испарения на 25,1 °С, температурных преобразований на 23 °С.

4.3 Исследование температур начала процессов окисления, испарения и температурных преобразований моторных масел, синтетической базовой основы

4.3.1 Моторное масло elf EVOLUTION 900 NF 5W – 40

Моторное масло, известное ранее как ELF EXCELLIUM NF 5W – 40, рекомендуется для эксплуатации во всех бензиновых (многоклапанных и турбо, с каталитическим конвертором или без него), а также дизельных (с турбонаддувом или без него) двигателей легковых автомобилей, легких фургонов, которые не оборудованы дизельным сажевым фильтром. ELF EVOLUTION 900 NF 5W – 40 – продукт с улучшенными характеристиками (NF в названии масла обозначает New Formula — новая формула), специально разработанный для соответствия требованиям автопроизводителей к маслам с увеличенным интервалом замены [93 – 94].

В таблице 4.15 приведены экспериментальные данные масла elf EVOLUTION 900 5W – 40 NF.

Таблица 4.15 – Экспериментальные данные испытания масла elf EVOLUTION 900 5W – 40 NF.

Марка масла	Цикл температур	Температура испытания T, °С	Оптическая плотность, D	Испаряемость, G (суммарная)	Показатель термоокислительной стабильности, $П_{тос}$
elf EVOLUTION 900 NF 5W – 40	повышения	160	0,0000	1,2	0,0120
		170	0,0134	4,4	0,0580
		180	0,0380	13,9	0,1847
		190	0,0750	18,9	0,276
	понижения	190	0,0270	4,7	0,0740
		180	0,0619	6,9	0,1347
		170	0,0834	8,4	0,1746
		160	0,0980	9,1	0,2000

На рисунке 4.10 представлены зависимости оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения (кривая 1) и понижения (кривая 2) температуры испытания.

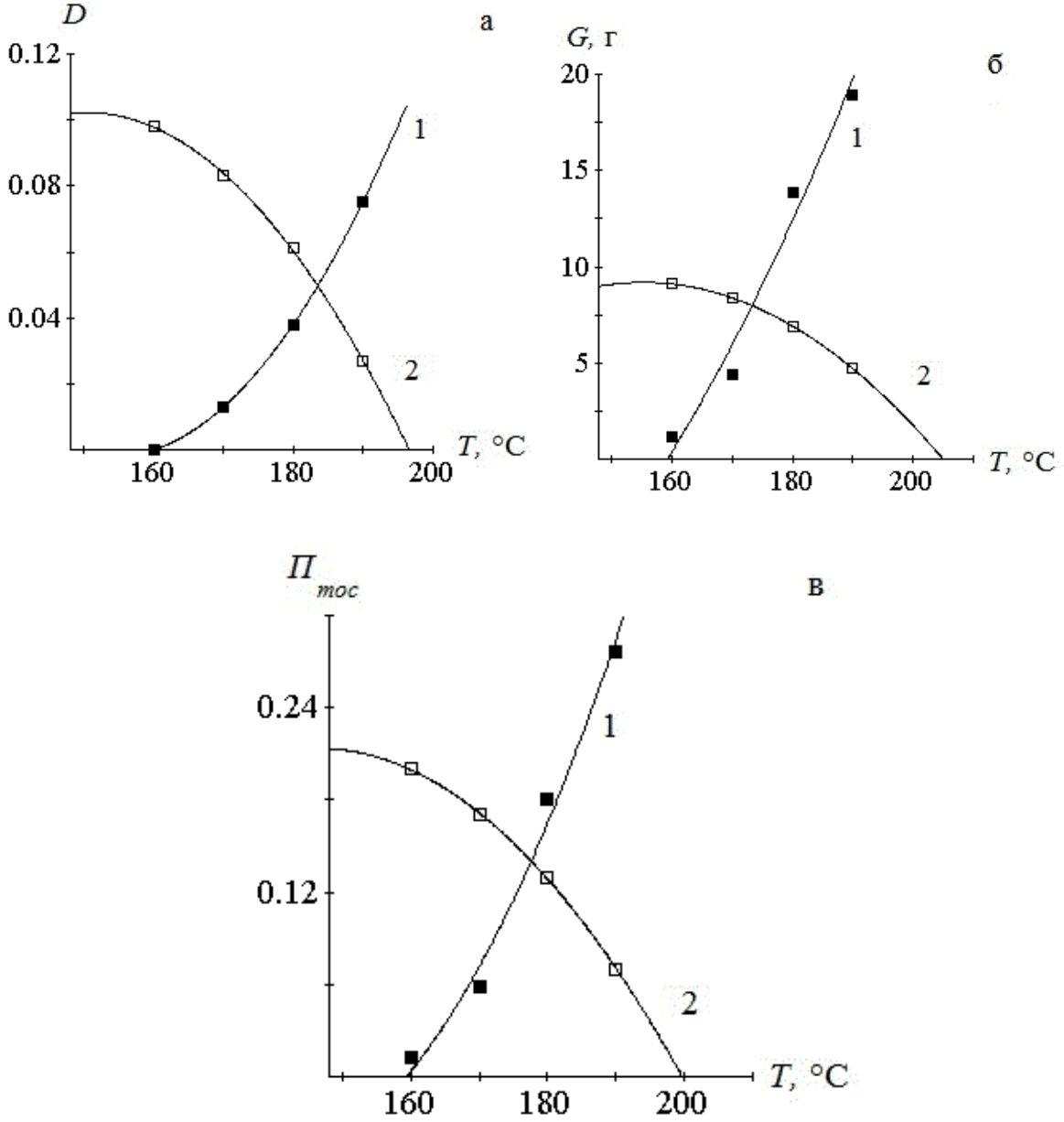


Рисунок 4.10 – Зависимости оптической плотности (а), испаряемости (б) и показателя термоокислительной стабильности (в) от температуры окисления синтетического моторного масла elf EVOLUTION 900 5W – 40 NF: 1 – цикл повышения температуры; 2 – цикл понижения температуры.

Регрессионные уравнения зависимостей оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения и понижения температуры сведены в таблице 4.16, с помощью которых вычислены температуры начала процессов

окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной стабильности, критические температуры, а также предельно допустимые температуры работоспособности исследуемого моторного масла. Причем предельно допустимые температуры вычислялись путем приравнивания соответствующих регрессионных уравнений.

Таблица 4.16 – Регрессионные уравнения процессов окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной стабильности при испытании синтетического моторного масла elf EVOLUTION 900 5W – 40 NF.

Показатели термоокислительной стабильности	Регрессионные уравнения цикла повышения температуры испытания	Температуры начала процессов, С°
Окисление	$D = 6 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 - 0,0185 \cdot T + 1,424$	160
Испарение	$G = 0,0045 \cdot T^2 - 0,927 \cdot T + 33,45$	159,4
Температурные преобразования	$\Pi_{тос} = 1,275 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 - 0,035275 \cdot T + 2,38375$	159,6
	Регрессионные уравнения цикла понижения температуры испытания	Критические температуры процессов, С°
Окисление	$D = -4,75 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 0,014275 \cdot T - 0,97025$	196,6
Испарение	$G = -0,00375 \cdot T^2 + 1,1655 \cdot T - 81,375$	204,8
Температурные преобразования	$\Pi_{тос} = -7,5 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 0,02195 \cdot T - 1,3925$	199,6
	Разность регрессионных уравнений циклов повышения и понижения температуры испытания	Предельно допустимые температуры, С°
Окисление	$D = 0,0001075 \cdot T^2 - 0,032775 \cdot T + 2,39425$	183,5
Испарение	$G = 0,00825 \cdot T^2 - 2,0925 \cdot T + 114,825$	173,3
Температурные преобразования	$\Pi_{тос} = 0,0002025 \cdot T^2 - 0,057225 \cdot T + 3,77625$	177,5

Из приведенных данных (таблица 4.16) для синтетического моторного масла elf EVOLUTION 900 NF 5W – 40 следует, что температура начала процессов окисления – 160 С°, испарения – 159,4 С°, температурных преобразований составляет – 161,6 С°. Критическая температура составляет для: процессов окисления – 196,6 С°, испарения – 204,8 С°, температурных преобразований – 199,6 С°. Предельная температура составляет для: процессов окисления – 183,5 С°, испарения – 173,3 С°, температурных преобразований – 177,5 С°.

4.3.2 Моторное масло Лукойл Люкс 5W - 40 SN / CF

Моторное масло с синтетической базовой основой, всесезонное премиум – класса, которое соответствует новому уровню эксплуатационных свойств по классификациям API SN, а также ACEA A3 / B4 в новой редакции требований 2010 года. Рекомендуется для самых современных высокофорсированных бензиновых, а также дизельных двигателей с использованием наддува, легковых автомобилей, микроавтобусов и легких грузовиков [95].

На рисунке 4.11 представлены зависимости оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения (кривая 1) и понижения (кривая 2) температуры испытания.

В таблице 4.17 приведены экспериментальные данные масла Лукойл Люкс 5W – 40 SN / CF.

Таблица 4.17 – Экспериментальные данные испытания масла Лукойл Люкс 5W – 40 SN / CF.

Марка масла	Цикл температур	Температура испытания T, °C	Оптическая плотность, D	Испаряемость, G (суммарная)	Показатель термоокислительной стабильности, $П_{тос}$
Лукойл Люкс 5W – 40 SN / CF	повышения	150	0,0000	1,0	0,0100
		160	0,0067	2,2	0,0290
		170	0,0202	3,4	0,0552
		180	0,0339	5,1	0,0872
	понижения	180	0,0202	2,7	0,0472
		170	0,0408	4,3	0,0853
		160	0,0478	5,1	0,1018
		150	0,0548	5,4	0,1127

Регрессионные уравнения зависимостей оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения и понижения температуры сведены в таблице 4.18, с помощью которых вычислены температуры начала процессов окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной стабильности, критические температуры, а также предельно допустимые температуры работоспособности исследуемого моторного масла.

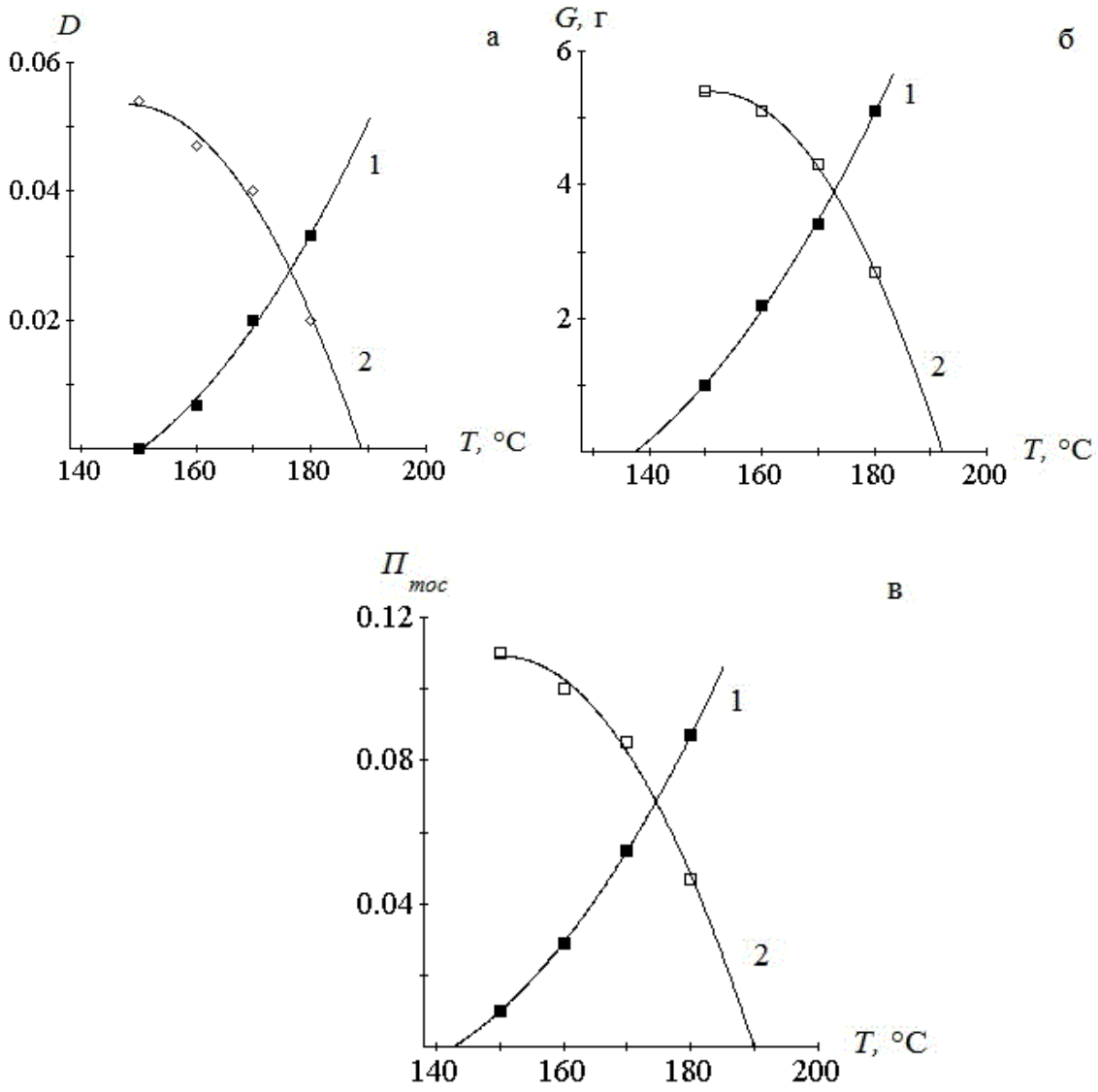


Рисунок 4.11 – Зависимости оптической плотности (а), испаряемости (б) и показателя термоокислительной стабильности (в) от температуры окисления синтетического моторного масла Лукойл Люкс 5W – 40 SN / CF: 1 – цикл повышения температуры; 2 – цикл понижения температуры.

Из приведенных данных (таблица 4.18) для синтетического моторного масла Лукойл Люкс 5W – 40 SN / CF следует, что температура начала процессов окисления – 150,5 С°, испарения – 137,4 С°, температурных преобразований составляет – 142,6 С°. Критическая температура составляет для: процессов окисления – 188,7 С°, испарения – 192 С°, температурных преобразований – 189,9 С°. Предельная температура составляет для: процессов окисления – 176,3 С°, испарения – 172,7 С°, температурных преобразований – 174,5 С°.

Таблица 4.18 – Регрессионные уравнения процессов окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной стабильности при испытании синтетического моторного масла Лукойл Люкс 5W – 40 SN / CF.

Показатели термоокислительной стабильности	Регрессионные уравнения цикла повышения температуры испытания	Температуры начала процессов, С°
Окисление	$D = 1,575 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 - 0,0040745 \cdot T + 0,256455$	150,5
Испарение	$G = 0,00125 \cdot T^2 - 0,2775 \cdot T + 14,525$	137,4
Температурные преобразования	$\Pi_{тос} = 3,25 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 - 0,008155 \cdot T + 0,50195$	142,6
	Регрессионные уравнения цикла понижения температуры испытания	Критические температуры процессов, С°
Окисление	$D = -3,25 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 0,009635 \cdot T - 0,66065$	188,7
Испарение	$G = -0,00325 \cdot T^2 + 0,9835 \cdot T - 69,015$	192
Температурные преобразования	$\Pi_{тос} = -7 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 0,02106 \cdot T - 1,4749$	189,9
	Разность регрессионных уравнений циклов повышения и понижения температуры испытания	Предельно допустимые температуры, С°
Окисление	$D = 0,00004825 \cdot T^2 - 0,0137095 \cdot T + 0,917105$	176,3
Испарение	$G = 0,0045 \cdot T^2 - 1,261 \cdot T + 83,54$	172,7
Температурные преобразования	$\Pi_{тос} = 0,0001025 \cdot T^2 - 0,029215 \cdot T + 1,97685$	174,5

4.3.3 Моторное масло Kixx G1 5W – 40 SN / CF

GS Oil KIXX G1 5W – 40 SN / CF – Высококачественное всесезонное моторное масло, производится на основе базовых масел полученных по технологии VHVI. Рекомендовано для применения в современных бензиновых и дизельных двигателях, в том числе оснащенных турбонаддувом, легковых автомобилей, легких грузовиков и микроавтобусов. GS Oil KIXX G1 5W - 40 также можно использовать в двигателях, работающих на сжиженном газе (LPG), оснащенных системой понижения токсичности выхлопа. Масло способствует облегченному холодному пуску двигателя при низких температурах окружающей среды. GS Oil KIXX G1 5W-40 защитит двигатель от износа, коррозии и образования вредных отложений [96].

В таблице 4.19 приведены экспериментальные данные масла GS Oil KIXX G1 5W – 40 SN / CF.

На рисунке 4.12 представлены зависимости оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения (кривая 1) и понижения (кривая 2) температуры испытания.

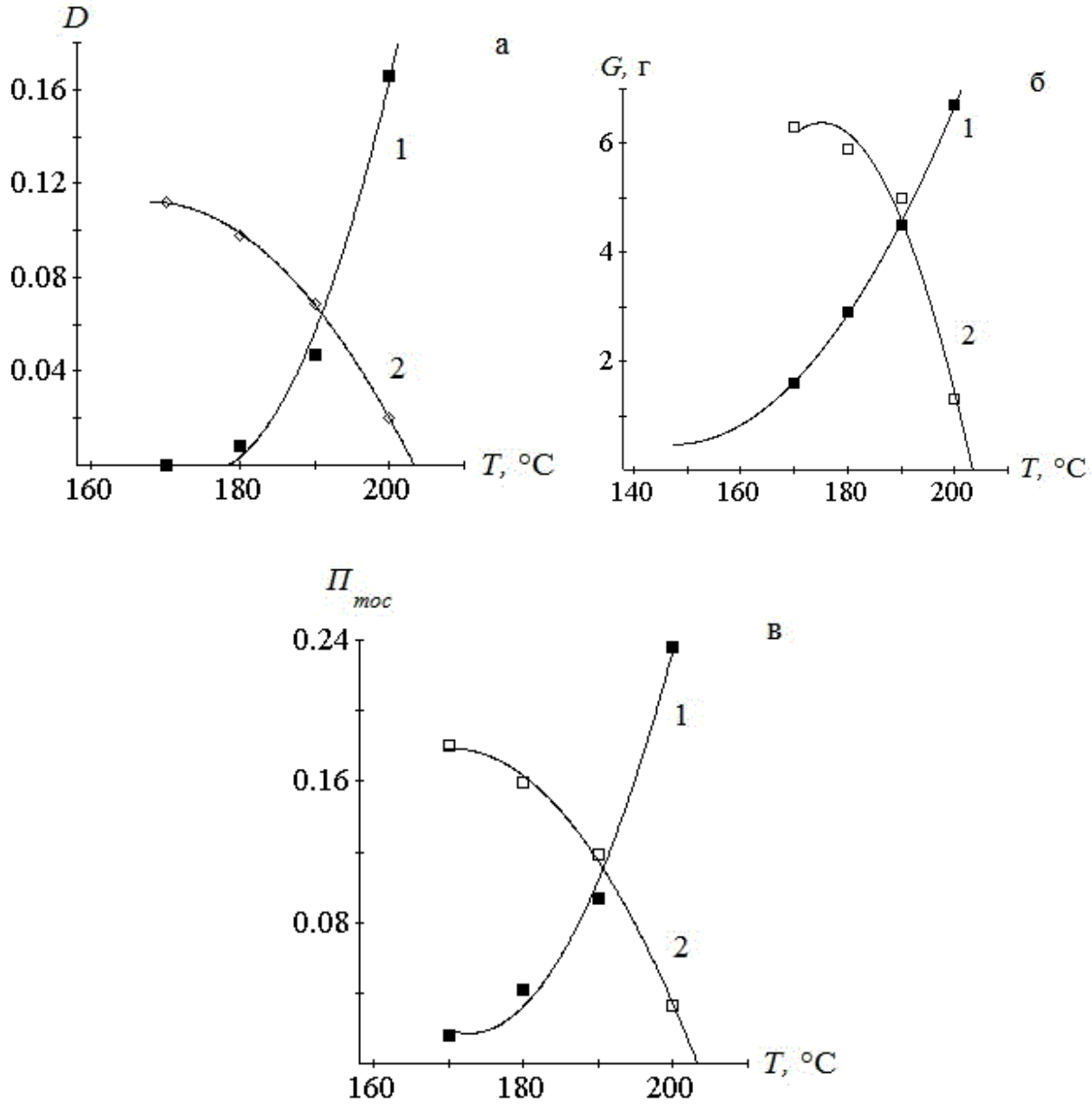


Рисунок 4.12 – Зависимости оптической плотности (а), испаряемости (б) и показателя термоокислительной стабильности (в) от температуры окисления синтетического моторного масла GS Oil KIXX G1 5W – 40 SN / CF: 1 – цикл увеличения температуры; 2 – цикл понижения температуры.

Таблица 4.19 – Экспериментальные данные испытания масла GS Oil KIXX G1 5W – 40 SN / CF.

Марка масла	Цикл температур	Температура испытания T, °C	Оптическая плотность, D	Испаряемость, G (суммарная)	Показатель термоокислительной стабильности, $П_{тос}$
GS Oil KIXX G1 5W – 40 SN / CF	повышения	170	0,0000	1,6	0,0160
		180	0,008	2,9	0,0429
		190	0,0478	4,5	0,0943
		200	0,1664	6,7	0,2369
	понижения	200	0,0202	1,3	0,0332
		190	0,0690	5,0	0,1198
		180	0,0980	5,9	0,1594
		170	0,1128	6,3	0,1801

Регрессионные уравнения зависимостей оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения и понижения температуры сведены в таблице 4.20, с помощью которых вычислены температуры начала процессов окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной стабильности, критические температуры, а также предельно допустимые температуры работоспособности исследуемого моторного масла.

Таблица 4.20 – Регрессионные уравнения процессов окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной стабильности при испытании синтетического моторного масла GS Oil KIXX G1 5W – 40 SN / CF.

Показатели термоокислительной стабильности	Регрессионные уравнения цикла повышения температуры испытания	Температуры начала процессов, C°
Окисление	$D = 0,000264 \cdot T^2 - 0,092364 \cdot T + 8,07554$	178,4
Испарение	$G = 0,00225 \cdot T^2 - 0,06635 \cdot T + 49,385$	147,3
Температурные преобразования	$П_{тос} = 0,00029 \cdot T^2 - 0,10018 \cdot T + 8,6688$	172,5
	Регрессионные уравнения цикла понижения температуры испытания	Критические температуры процессов, C°
Окисление	$D = -0,0000875 \cdot T^2 + 0,029325 \cdot T - 2,34475$	203,3
Испарение	$G = -0,008 \cdot T^2 + 2,802 \cdot T - 238,97$	203,3
Температурные преобразования	$П_{тос} = -0,0001625 \cdot T^2 + 0,055315 \cdot T - 4,52865$	203,3

Окончание таблицы 4.20.

	Разность регрессионных уравнений циклов повышения и понижения температуры испытания	Предельно допустимые температуры, С°
Окисление	$D = 0,0003515 \cdot T^2 - 0,121689 \cdot T + 10,42029$	190,9
Испарение	$G = 0,01025 \cdot T^2 - 3,4655 \cdot T + 288,355$	190,1
Температурные преобразования	$\Pi_{тос} = 0,0004525 \cdot T^2 - 0,155495 \cdot T + 13,19745$	190,6

Из приведенных данных (таблица 4.20) для синтетического моторного масла GS Oil KIXX G1 5W – 40 SN / CF следует, что температура начала процессов окисления – 1 78,4 С°, испарения – 147,3 С°, температурных преобразований составляет – 172,5 С°. Критическая температура составляет для: процессов окисления – 203,3 С°, испарения – 203,3 С°, температурных преобразований – 203,3 С°. Предельная температура составляет для: процессов окисления – 190,9 С°, испарения – 190,1 С°, температурных преобразований – 190,6 С°.

4.3.4 Моторное масло Alpha`s 5W – 40 SN

Моторное масло ALPHA 5W – 40 SN –японский высококачественный продукт, который разработан в соответствии с требовательными мировыми стандартами. Масло эффективно эксплуатируется на любых двигателях. Это масло рекомендуется использовать в современных двигателях после значительного пробега. Масло Sumico SN 5W – 40 широко эксплуатируется в старых автомобилях. Масло Sumico SN 5W – 40 обладает повышенной стабильностью к окислению, предотвращает осадкообразование, обеспечивает водонепроницаемость системы регулируемых клапанов. Смазывающий материал обладает низким показателем парообразования и пенообразованием. Благотворно влияет на резиновые детали двигателя, защищая их [97].

В таблице 4.21 приведены экспериментальные данные масла Alpha`s 5W – 40 SN.

На рисунке 4.13 представлены зависимости оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения (кривая 1) и понижения (кривая 2) температуры испытания.

Регрессионные уравнения зависимостей оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения и понижения температуры сведены в таблице 4.22, с помощью которых вычислены температуры начала процессов окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной стабильности, критические температуры, а также предельно допустимые температуры работоспособности исследуемого моторного масла.

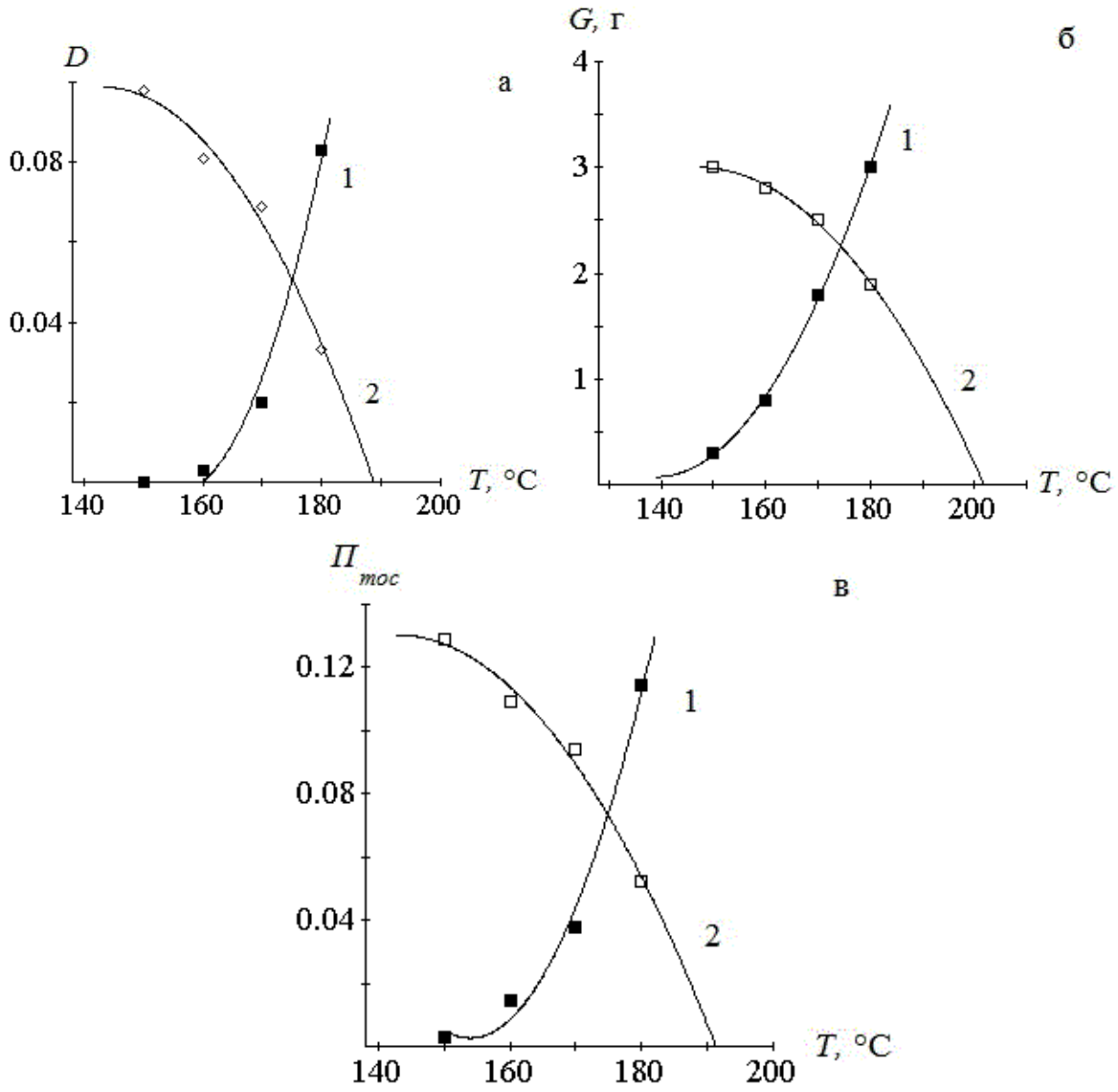


Рисунок 4.13 – Зависимости оптической плотности (а), испаряемости (б) и показателя термоокислительной стабильности (в) от температуры окисления синтетического моторного масла Alpha`s 5W – 40 SN: 1 – цикл увеличения температуры; 2 – цикл понижения температуры.

Таблица 4.21 – Экспериментальные данные испытания масла Alpha`s 5W – 40 SN.

Марка масла	Цикл температур	Температура испытания T, °C	Оптическая плотность, D	Испаряемость, G (суммарная)	Показатель термоокислительной стабильности, $П_{тос}$
Alpha`s 5W – 40 SN	повышения	150	0,0000	0,3	0,0030
		160	0,0030	0,8	0,0148
		170	0,0202	1,8	0,0385
		180	0,0834	3,0	0,1142

Окончание таблицы 4.21.

	понижения	180	0,0339	1,9	0,0529
		170	0,0690	2,5	0,0946
		160	0,0810	2,8	0,1090
		150	0,0980	3,0	0,1291

Из приведенных данных (таблица 4.22) для синтетического моторного масла Alpha`s 5W – 40 SN следует, что температура начала процессов окисления – 159,8 С°, испарения – 138,9 С°, температурных преобразований составляет – 153,8 С°. Критическая температура составляет для: процессов окисления – 188,8 С°, испарения – 201,7 С°, температурных преобразований – 191,3 С°. Предельная температура составляет для: процессов окисления – 175 С°, испарения – 174,2 С°, температурных преобразований – 174,8 С°.

Таблица 4.22 – Регрессионные уравнения процессов окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной стабильности при испытании синтетического моторного масла Alpha`s 5W – 40 SN.

Показатели термоокислительной стабильности	Регрессионные уравнения цикла повышения температуры испытания	Температуры начала процессов, С°
Окисление	$D = 0,00014075 \cdot T^2 - 0,0438245 \cdot T + 3,408955$	159,8
Испарение	$G = 0,00175 \cdot T^2 - 0,4865 \cdot T + 33,885$	138,9
Температурные преобразования	$П_{тос} = 0,000161 \cdot T^2 - 0,049562 \cdot T + 3,81688$	153,8
	Регрессионные уравнения цикла понижения температуры испытания	Критические температуры процессов, С°
Окисление	$D = -0,0000475 \cdot T^2 + 0,013605 \cdot T - 0,87545$	188,8
Испарение	$G = -0,001 \cdot T^2 + 0,294 \cdot T - 18,61$	201,7
Температурные преобразования	$П_{тос} = -0,000055 \cdot T^2 + 0,01569 \cdot T - 0,9886$	191,3
	Разность регрессионных уравнений циклов повышения и понижения температуры испытания	Предельно допустимые температуры, С°
Окисление	$D = 0,00018825 \cdot T^2 - 0,0574295 \cdot T + 4,284405$	175
Испарение	$G = 0,00275 \cdot T^2 - 0,7805 \cdot T + 52,495$	174,2
Температурные преобразования	$П_{тос} = 0,000216 \cdot T^2 - 0,065252 \cdot T + 4,80548$	174,8

4.3.5 Анализ результатов исследования синтетических моторных масел

В качестве сравнительной характеристики испытанных масел следует сравнить предельные температуры работоспособности смазочных материалов.

Таблица 4.23 – Предельно допустимые температуры работоспособности синтетических моторных масел.

Процессы	Марка масла				
	elf EVOLUTION 900 NF 5W – 40	Лукойл Люкс 5W – 40 SN / CF	GAZPROMNEFT PREMIUM N SAE 5W – 40 SN / CF	Alpha`s 5W – 40 SN	Kixx G1 5W – 40 SN / CF
Окисление	183,5	176,9	184,5	175	190,9
Испарение	173,3	172,7	181,8	174,2	190,1
Температурные преобразования	177,5	174,5	183,8	174,8	190,6

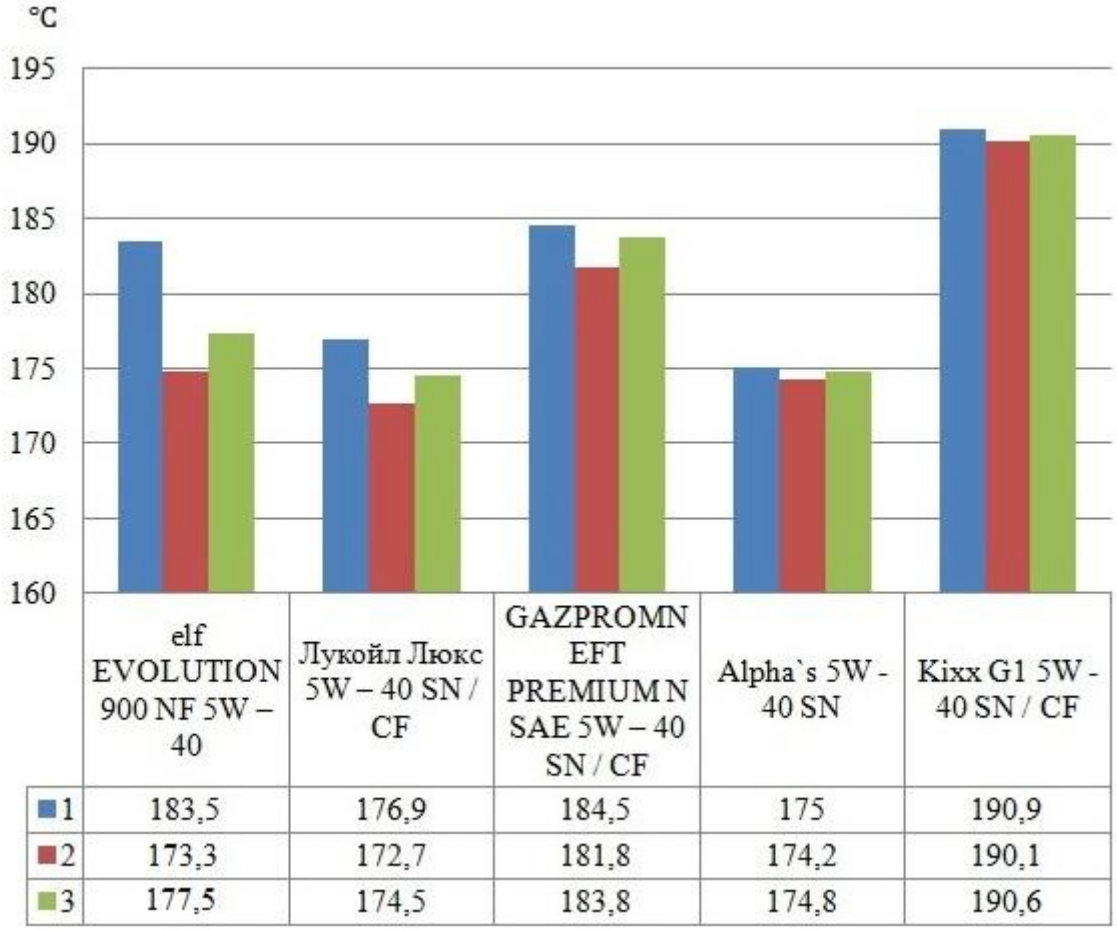
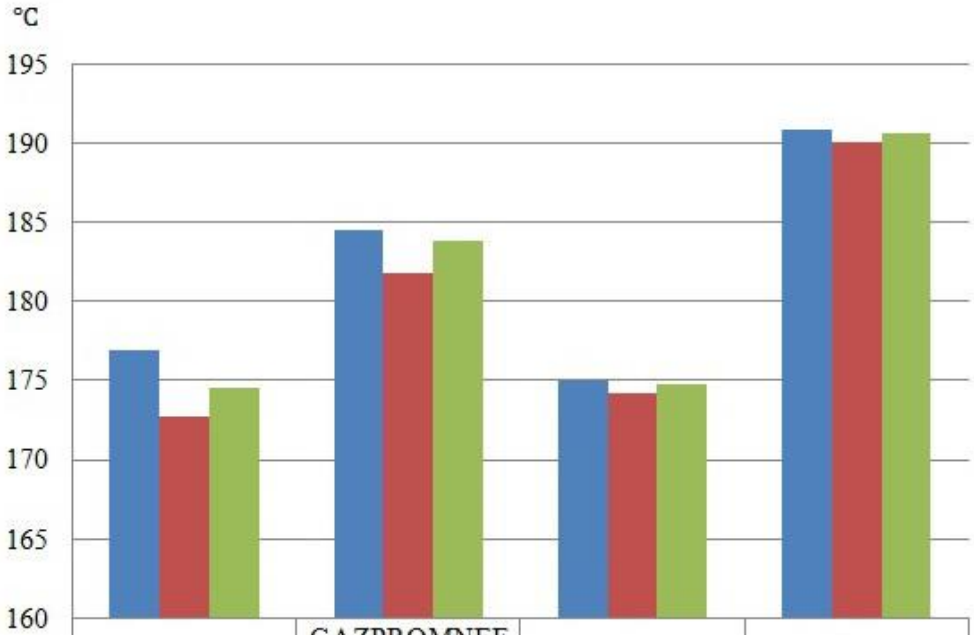


Рисунок 4.14 – Гистограмма синтетических моторных масел, где 1 – предельная температура окисления, 2 – предельная температура испарения, 3 – предельная температура процесса температурных преобразований.

Из приведенной гистограммы (рисунок 4.14) можно сделать вывод, что показания предельных температур процессов окисления, испарения и температурных преобразований синтетических моторных масел, сильно разнятся. Так можно выделить два масла Лукой Люкс 5W – 40 SN / CF и Kixx G1 5W – 40 SN / CF. Значения температур масла Kixx выше, чем у Лукойл по предельным температурам процессов: окисления на 14 ℃, испарения на 17,4 ℃, температурных преобразований на 16,1 ℃.

Из приведенной гистограммы (рисунок 4.15) можно сделать вывод, что показания предельных температур процессов окисления, испарения и температурных преобразований синтетических моторных масел, одной группы эксплуатационных свойств SN, сильно разнятся. Так можно выделить два масла Kixx G1 5W – 40 SN / CF и Alpha`s 5W – 40 SN. Значения температур масла Kixx выше, чем у Alpha`s по предельным температурам процессов: окисления на 15,9 ℃, испарения на 15,9 ℃, температурных преобразований на 15,8 ℃.



	Лукойл Люкс 5W – 40 SN / CF	GAZPROMNEFT PREMIUM N SAE 5W – 40 SN / CF	Alpha`s 5W - 40 SN	Kixx G1 5W - 40 SN / CF
1	176,9	184,5	175	190,9
2	172,7	181,8	174,2	190,1
3	174,5	183,8	174,8	190,6

Рисунок 4.15 – Гистограмма синтетических моторных масел, одной группы эксплуатационных свойств SN, где 1 – предельная температура окисления, 2 – предельная температура испарения, 3 – предельная температура процесса температурных преобразований.

4.4 Анализ результатов испытания моторных масел с различной базовой основой

Из приведенной гистограммы (Приложение В) можно сделать вывод, что показания предельных температур процессов окисления, испарения и температурных преобразований минеральных, частично синтетических и синтетических моторных масел сильно разнятся. Минимальные показания предельных температур выделяются у минерального масла Castrol GTX Professional A3 10W – 40 SL / CF и частично синтетического масла Роснефть Maximum 10W – 40 SL / CF. Максимальные показания температур выделяются у частично синтетического масла Motul 6100 Synergie + 5W – 30 SL / CF и у синтетического моторного масла Kixx G1 5W – 40 SN / CF.

4.5 Исследование температур начала процессов окисления, испарения и температурных преобразований трансмиссионных масел с различными базовыми основами

4.5.1 Минеральное трансмиссионное масло Лукойл трансмиссионное 80W – 90 ТМ - 5 (GL – 5)

Масло предназначено для смазывания механических трансмиссий с любыми видами зубчатых передач, также включая гипоидные (ведущие мосты, раздаточные коробки и т.д.) легковых, и грузовых автомобилей и другой мобильной техники, которые работают в более жестких условиях эксплуатации, где рекомендованы к использованию масла уровня API GL-5 (TM-5) [98 – 99].

В таблице 4.24 приведены экспериментальные данные масла Лукойл трансмиссионное 80W – 90 ТМ – 5 (GL – 5).

Таблица 4.24 – Экспериментальные данные испытания масла Лукойл трансмиссионное 80W – 90 ТМ – 5 (GL – 5).

Марка масла	Цикл температур	Температура испытания T, °C	Оптическая плотность, D	Испаряемость, G (суммарная)	Показатель термоокислительной стабильности, $П_{тос}$
Лукойл трансмиссионное 80W - 90 ТМ - 5 GL - 5	повышения	120	0,0	1,1	0,011
		130	0,0134	1,8	0,0318
		140	0,0907	2,5	0,1168
		150	0,232	4,1	0,267

Окончание таблицы 4.24.

	понижения	150	0,1586	2,7	0,1856
		140	0,3193	3,4	0,3547
		130	0,53	3,7	0,569
		120	0,6539	4,0	0,6968

На рисунке 4.16 представлены зависимости оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения (кривая 1) и понижения (кривая 2) температуры испытания.

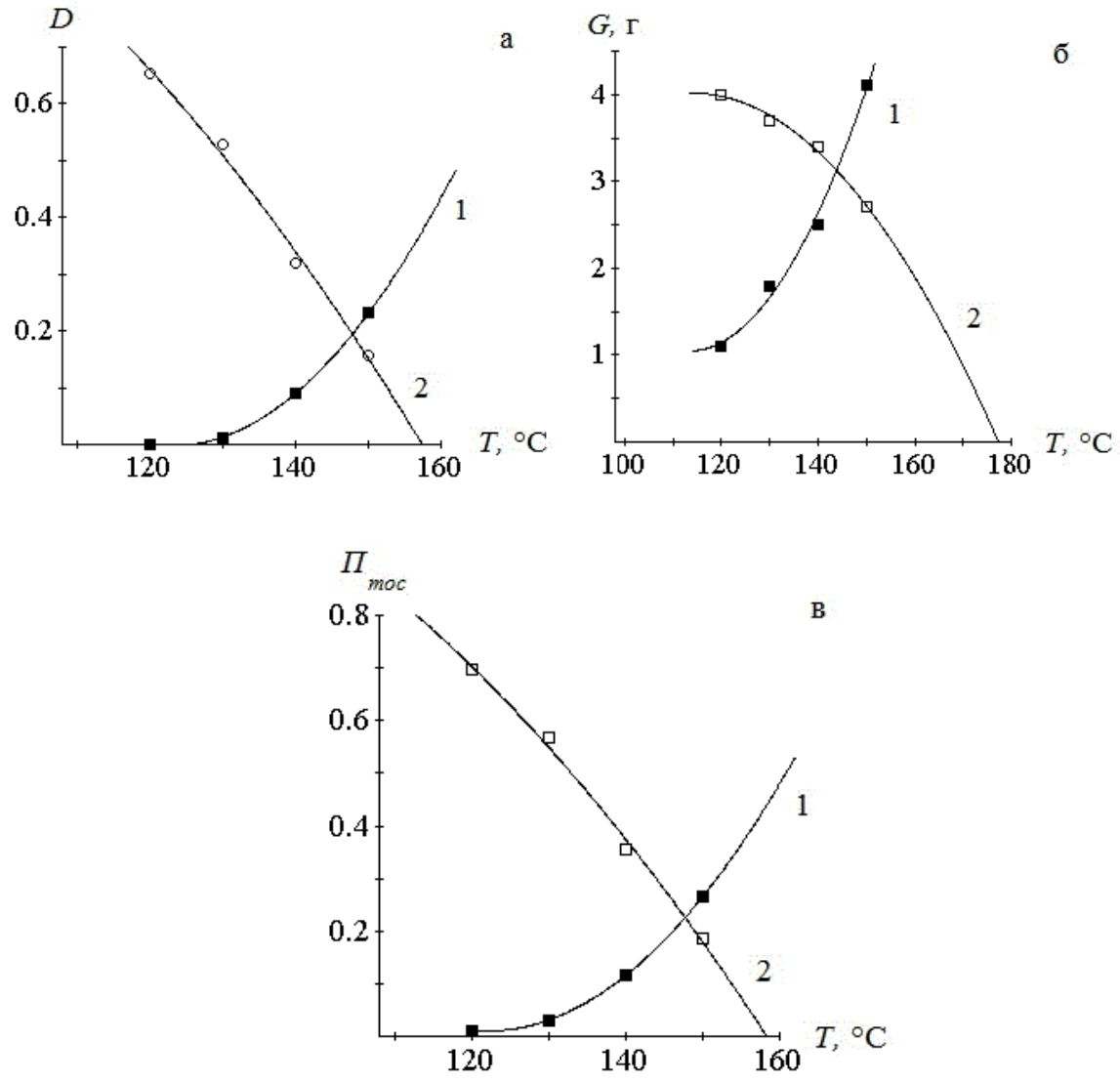


Рисунок 4.16 – Зависимости оптической плотности (а), испаряемости (б) и показателя термоокислительной стабильности (в) от температуры окисления минерального трансмиссионного масла Лукойл трансмиссионное 80W – 90 TM - 5 GL - 5: 1 – цикл повышения температуры; 2 – цикл понижения температуры.

Регрессионные уравнения зависимостей оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения и понижения температуры сведены в таблице 4.25, с помощью которых вычислены температуры начала процессов окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной стабильности, критические температуры, а также предельно допустимые температуры работоспособности исследуемого моторного масла.

Таблица 4.25 – Регрессионные уравнения процессов окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной стабильности при испытании минерального трансмиссионного масла Лукойл трансмиссионное 80W – 90 ТМ – 5 (GL – 5).

Показатели термоокислительной стабильности	Регрессионные уравнения цикла повышения температуры испытания	Температуры начала процессов, С°
Окисление	$D = 3,2 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 - 0,0787 \cdot T + 4,836$	125,9
Испарение	$G = 0,00225 \cdot T^2 - 0,5105 \cdot T + 30,005$	113,2
Температурные преобразования	$\Pi_{тос} = 3,25 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 - 0,07925 \cdot T + 4,841$	121,6
	Регрессионные уравнения цикла понижения температуры испытания	Критические температуры процессов, С°
Окисление	$D = -9,5 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 0,00869 \cdot T + 0,9851$	157,3
Испарение	$G = -0,001 \cdot T^2 + 0,228 \cdot T - 8,98$	177,3
Температурные преобразования	$\Pi_{тос} = -1,05 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 + 0,01087 \cdot T + 0,9103$	158,2
	Разность регрессионных уравнений циклов повышения и понижения температуры испытания	Предельно допустимые температуры, С°
Окисление	$D = 0,000415 \cdot T^2 - 0,08739 \cdot T + 3,8509$	147,7
Испарение	$G = 0,00325 \cdot T^2 - 0,7385 \cdot T + 38,985$	143,8
Температурные преобразования	$\Pi_{тос} = 0,00043 \cdot T^2 - 0,09012 \cdot T + 3,9307$	147,6

Из приведенных данных (таблица 4.25) для минерального трансмиссионного масла Лукойл трансмиссионное 80W – 90 ТМ – 5 (GL – 5) следует, что температура начала процессов окисления – 125,9 С°, испарения – 113,2 С°, температурных преобразований составляет – 121,6 С°. Критическая температура составляет для: процессов окисления – 157,3 С°, испарения – 177,3 С°, температурных преобразований – 158,2 С°. Предельная температура составляет для: процессов окисления – 147,7 С°, испарения – 143,8 С°, температурных преобразований – 147,6 С°.

4.5.2 Синтетическое трансмиссионное масло MOTUL gear 300 SAE 75W – 90 API GL – 4 GL – 5

Специально производится для спортивной техники: ралли, кольцевые гонки, рейды и т.д. Все механические трансмиссии: синхронизированные и несинхронизированные коробки передач, гипоидные мосты без автоблокировки, эксплуатирующиеся при ударных нагрузках, а также высоких нагрузках и низких скоростях вращения или средних нагрузках и высоких скоростях вращения [100].

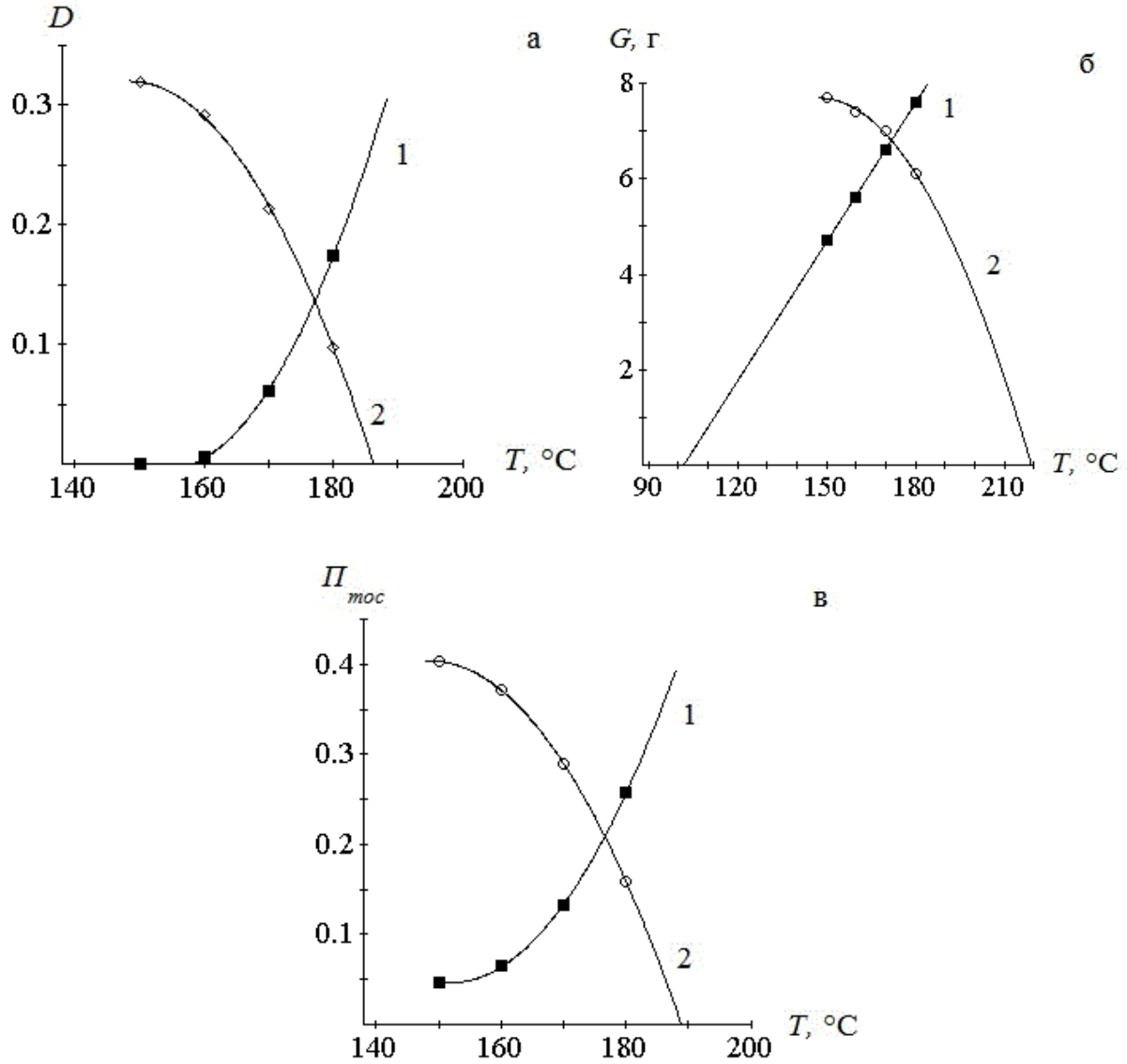


Рисунок 4.17 – Зависимости оптической плотности (а), испаряемости (б) и показателя термоокислительной стабильности (в) от температуры окисления синтетического трансмиссионного масла MOTUL gear 300 SAE 75W – 90 API GL – 4 GL – 5: 1 – цикл повышения температуры; 2 – цикл понижения температуры.

На рисунке 4.17 представлены зависимости оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения (кривая 1) и понижения (кривая 2) температуры испытания.

В таблице 4.26 приведены экспериментальные данные масла MOTUL gear 300 75W – 90 GL – 4, GL – 5.

Регрессионные уравнения зависимостей оптической плотности, испаряемости и коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания в циклах повышения и понижения температуры сведены в таблице 4.27, с помощью которых вычислены температуры начала процессов окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной стабильности, критические температуры, а также предельно допустимые температуры работоспособности исследуемого моторного масла.

Таблица 4.26 – Экспериментальные данные испытания масла MOTUL gear 300 75W – 90 GL – 4, GL – 5.

Марка масла	Цикл температур	Температура испытания T, °C	Оптическая плотность, D	Испаряемость, G (суммарная)	Показатель термоокислительной стабильности, $П_{тос}$
MOTUL gear 300 75W – 90 GL – 4 GL – 5	повышения	150	0,0	4,7	0,047
		160	0,0067	5,6	0,0658
		170	0,0619	6,6	0,1325
		180	0,1744	7,6	0,257
	понижения	180	0,098	6,1	0,159
		170	0,2148	7,0	0,2897
		160	0,2921	7,4	0,3724
		150	0,3193	7,7	0,4035

Таблица 4.27 – Регрессионные уравнения процессов окисления, испарения и изменения коэффициента термоокислительной стабильности при испытании синтетического трансмиссионного масла MOTUL gear 300 75W – 90 GL – 4, GL – 5.

Показатели термоокислительной стабильности	Регрессионные уравнения цикла повышения температуры испытания	Температуры начала процессов, C°
Окисление	$D = 2,675 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 - 0,082505 \cdot T + 6,35745$	158,2
Испарение	$G = 0,097 \cdot T - 9,88$	101,8
Температурные преобразования	$П_{тос} = 2,675 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 - 0,081305 \cdot T + 6,22445$	151,8

Окончание таблицы 4.27.

	Регрессионные уравнения цикла понижения температуры испытания	Критические температуры процессов, С°
Окисление	$D = -2,225 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 + 0,066015 \cdot T - 4,57635$	186,2
Испарение	$G = -0,0015 \cdot T^2 + 0,443 \cdot T - 25,02$	219,2
Температурные преобразования	$П_{тос} = -2,475 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 + 0,073525 \cdot T - 5,05675$	188,9
	Разность регрессионных уравнений циклов повышения и понижения температуры испытания	Предельно допустимые температуры, С°
Окисление	$D = 0,00049 \cdot T^2 - 0,14852 \cdot T + 10,9338$	177,1
Испарение	$G = 0,0015 \cdot T^2 - 0,346 \cdot T + 15,14$	171,9
Температурные преобразования	$П_{тос} = 0,000515 \cdot T^2 - 0,15483 \cdot T + 11,2812$	176,6

Из приведенных данных (таблица 4.27) для синтетического трансмиссионного масла MOTUL gear 300 75W – 90 GL – 4 GL – 5 следует, что температура начала процессов окисления – 158,2 С°, испарения составляет – 101,8 С°, температурных преобразований составляет – 151,8 С°. Критическая температура составляет для: процессов окисления – 186,2 С°, испарения – 219,2 С°, температурных преобразований – 188,9 С°. Предельная температура составляет для: процессов окисления – 177,1 С°, испарения – 171,9 С°, температурных преобразований – 176,6 С°.

4.5.3 Анализ результатов исследования трансмиссионных масел с различной базовой основой

В качестве сравнительной характеристики испытанных масел следует сравнить предельные температуры работоспособности смазочных материалов.

Таблица 4.28 – Предельно допустимые температуры работоспособности трансмиссионных масел, различной базовой основы.

Процессы	Марка масла		
	Лукойл трансмиссионное ТМ – 5 GL – 5 80W – 90 (минеральная базовая основа)	G - Box EXPERT GL – 5 75W – 90 (частично синтетическая базовая основа)	MOTUL gear 300 75W – 90 GL – 4 GL – 5 (синтетическая базовая основа)
Окисление	147,7	156,3	177,1
Испарение	143,8	158,7	171,9
Температурные преобразования	147,6	156,9	176,6

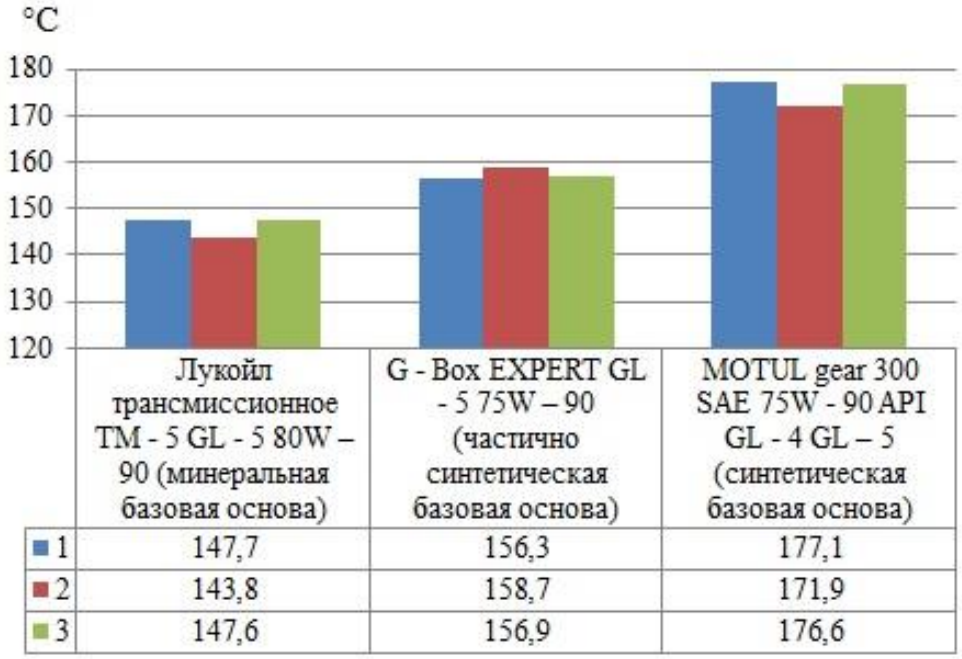


Рисунок 4.18 – Гистограмма предельных температур процессов окисления (1), испарения (2) и температурных преобразований (3).

Проанализировав гистограмму (рисунок 4.18) можно сделать выводы, что предельные температуры масла с частично синтетической базовой основой отличаются приблизительно на 10 градусов от температур процессов масел с минеральной базовой основой. Так же, предельные температуры синтетического масла превосходят температуры частично синтетического масла приблизительно на 20 градусов. Синтетическая базовая основа имеет существенное отличие от минеральной и частично синтетической базовых основ.

4.6 Исследование связи между группами эксплуатационных свойств, температурами вспышки исследуемых смазочных материалов и критическими температурами работоспособности

Температура вспышки – это температура, при которой пары вещества способны вспыхивать в воздухе при воздействии источника зажигания, которые характеризуют температурные пределы работоспособности смазывающего материала.

В таблице 4.29 приведены показания критических температур процессов работоспособности, классы эксплуатационных свойств и температуры вспышек для минеральных моторных масел, в таблице 4.30 для частично синтетических моторных масел, а в таблице 4.31 для синтетических моторных масел.

Таблица 4.29 – Критических температуры показателей термоокислительной стабильности и температуры вспышек минеральных моторных масел.

Моторные минеральные масла	Показатели термоокислительной стабильности	Критические температуры процессов, С°	Классы эксплуатационных свойств	Температура вспышки, °С	Разница температур
Лукойл СТАНДАРТ 10W – 40	Окисление	195,3	SF / CC	205	9,7
	Испарение	204,7			0,3
	Температурные преобразования	198,1			6,9
Роснефть OPTIMUM 10W – 40	Окисление	201,1	SG / CD	213	11,9
	Испарение	197,7			15,3
	Температурные преобразования	198,5			14,5
ZIC HIFLO 10W – 40	Окисление	188,1	SL	234	45,9
	Испарение	195,2			38,8
	Температурные преобразования	189,8			44,2
Mobil Super 1000 15W – 40	Окисление	191,2	SL / CF	230	38,8
	Испарение	204,4			25,6
	Температурные преобразования	191,6			38,4
Castrol GTX Professional A3 10W – 40	Окисление	188,7	SL / CF	200	11,3
	Испарение	201,1			-1,1
	Температурные преобразования	190			10

Таблица 4.30 – Критических температуры показателей термоокислительной стабильности и температуры вспышек частично синтетических моторных масел.

Моторные частично синтетические масла	Показатели термоокислительной стабильности	Критические температуры процессов, С°	Классы эксплуатационных свойств	Температура вспышки, °С	Разница температур
Роснефть Maximum 10W – 40	Окисление	182,5	SL / CF	223	40,5
	Испарение	181,8			41,2
	Температурные преобразования	182,3			40,7
Castrol Magnatec 10W – 40 R	Окисление	191	SL / CF	200	9
	Испарение	197,8			2,2
	Температурные преобразования	192,2			7,8
Лукойл Люкс 5W – 40	Окисление	189,6	SL / CF	222	32,4
	Испарение	193,6			28,4
	Температурные преобразования	190,2			31,8

Окончание таблицы 4.30.

Motul 6100 Synergie + 5W – 30	Окисление	220	SL / CF	232	12
	Испарение	219			13
	Температурные преобразования	220,1			11,9

Таблица 4.31 – Критических температуры показателей термоокислительной стабильности и температуры вспышек синтетических моторных масел.

Моторные синтетические масла	Показатели термоокислительной стабильности	Критические температуры процессов, С°	Классы эксплуатационных свойств	Температура вспышки, °С	Разница температур
elf EVOLUTION 900 5W – 40 NF	Окисление	196,6	SL/CF	220	23,4
	Испарение	204,8			15,2
	Температурные преобразования	199,6			20,4
Лукойл Люкс 5W – 40	Окисление	188,7	SN / CF	230	41,3
	Испарение	192			38
	Температурные преобразования	189,9			40,1
GAZPROMNEFT PREMIUM N 5W – 40	Окисление	197,7	SN / CF	229	31,3
	Испарение	206,5			22,5
	Температурные преобразования	199,2			29,8
Kixx G1 5W – 40	Окисление	203,3	SN / CF	238	34,7
	Испарение	203,3			34,7
	Температурные преобразования	203,3			34,7
Alpha`s 5W – 40	Окисление	188,8	SN	224	35,2
	Испарение	201,7			22,3
	Температурные преобразования	191,3			32,7

Из приведенных данных (таблицы 4.29, 4.30 и 4.31), можно сделать вывод, что при одинаковой группе эксплуатационных свойств SL / CF, минеральных масел Mobil Super 1000 15W – 40 SL / CF и Castrol GTX Professional A3 10W – 40 SL / CF, разница в температуре вспышки составляет 30 °С. У частично синтетических масел группы SL / CF , таких как Castrol Magnatec 10W – 40 R SL / CF и Motul 6100 Synergie + 5W – 30 SL / CF, разница составляет 32 °С. У синтетических масел группы SN / CF, Alpha`s 5W – 40 SN и Kixx G1 5W – 40 SN / CF, разница в температура вспышек составляет 14 °С.

Стоит обратить внимание, что минеральное масло Castrol GTX Professional A3 10W – 40 SL / CF, с самым высоким классом эксплуатационных свойств из исследуемых минеральных масел, имеет меньше температуру вспышки, чем масла Роснефть OPTIMUM SAE 10W – 40 SG / CD и Лукойл

СТАНДАРТ 10W – 40 SF / CC имеющие более низкий класс эксплуатационных свойств.

В таблице 4.32 приведены показания критических температур процессов работоспособности, температур вспышек и классы эксплуатационных свойств, трансмиссионных масел различно базовой основы.

Таблица 4.32 – Критических температуры показателей термоокислительной стабильности и температуры вспышек трансмиссионных масел различной базовой основы.

Трансмиссионные масла	Показатели термоокислительной стабильности	Критические температуры процессов, С°	Классы эксплуатационных свойств	Температура вспышки, °С	Разница температур
Минеральное масло Лукойл трансмиссионное 80W – 90	Окисление	157,3	ТМ - 5 (GL – 5)	200	42,7
	Испарение	177,3			22,7
	Температурные преобразования	158,2			41,8
Частично синтетическое G - Box EXPERT 75W – 90	Окисление	165,8	GL – 5	206	40,2
	Испарение	181,3			24,7
	Температурные преобразования	168,2			37,8
Синтетическое MOTUL gear 300 75W – 90	Окисление	186,2	GL – 4, GL – 5	200	13,8
	Испарение	219,2			-19,2
	Температурные преобразования	188,9			11,1

Из приведенных данных (таблица 4.32) можно сделать вывод, что при одинаковом классе эксплуатационных свойств GL – 5, температура вспышки частично синтетического масла G – Box EXPERT 75W – 90 GL – 5 выше на 6 °С, чем у минерального масла Лукойл трансмиссионное 80W – 90 ТМ - 5 (GL – 5) и синтетического масла MOTUL gear 300 SAE 75W – 90 API GL – 4, GL – 5.

Проанализировав таблицы 4.29, 4.30, 4.31 и 4.32, можно сделать вывод, что минимальная разница критических температур процессов работоспособности смазочных материалов и температур вспышек выявлена у:

- минерального масла Castrol GTX Professional A3 10W – 40 SL / CF, процесс окисления 11,3 °С, температурные преобразования 10 °С, критическая температура процесса испарения превышает температуру вспышки на 1,1 °С;

- частично синтетического масла Castrol Magnatec 10W – 40 R SL / CF, процесс окисления 9 °С, процесс испарения 2,2 °С, температурных преобразований 7,8 °С;
- синтетического масла elf EVOLUTION 900 5W – 40 NF SL / CF, процесс окисления 23,4 °С, процесс испарения 15,2 °С, температурных преобразований 20,4 °С;
- трансмиссионного синтетического масла MOTUL gear 300 75W – 90 GL – 4, GL – 5, процесс окисления 13,8 °С, процесс испарения превышает температуру вспышки на 19,2 °С, температурных преобразований 11,1 °С;

Проанализировав таблицы 3.39, 3.40, 3.41 и 3.42, можно сделать вывод, что максимальная разница критических температур процессов работоспособности смазочных материалов и температур вспышек выявлена у:

- минерального масла ZIC HIFLO 10W – 40 SL, процесс окисления 45,9 °С, процесс испарения 38,8 °С, температурные преобразования 44,2 °С;
- частично синтетического масла Роснефть Maximum 10W – 40 SL / CF, процесс окисления 40,5 °С, процесс испарения 41,2 °С, температурных преобразований 40,7 °С;
- синтетического масла Лукойл Люкс 5W – 40 SN / CF, процесс окисления 41,3 °С, процесс испарения 38 °С, температурных преобразований 40,1 °С;
- трансмиссионного минерального масла Лукойл трансмиссионное 80W – 90 ТМ - 5 (GL – 5), процесс окисления 42,7 °С, процесс испарения 22,7 °С, температурных преобразований 41,8 °С;

4.7 Выводы по четвертой главе

Проведены исследования смазочных масел различной базовой основы и назначения при ступенчатом увеличении и понижении температуры испытания в диапазоне от 120 до 200 °С и определены температуры начала процессов окисления, испарения и температурных преобразований в смазочных маслах, критические температуры и предельно допустимые температуры этих процессов.

Установлено влияние базовой основы на температурную область работоспособности смазочных масел.

Выявлено, что масла одной базовой основы и одной группы эксплуатационных свойств имеют разные значения предельных температур по процессу температурных преобразований, из чего следует, что выбирая смазочный материал для эксплуатации в определенном температурном диапазоне, руководствоваться исключительно группой эксплуатационных свойств нецелесообразно.

5. Разработка практических рекомендаций по определению температурной области работоспособности смазочных масел

5.1 Предложения по усовершенствованию существующей системы классификации смазочных масел

Существующая система классификаций учитывает классификацию, например, по вязкости, относительно рабочего диапазона температур (таблица 5.1), эксплуатационным свойствам (таблица 5.2), а также году выпуска двигателя.

Таблица 5.1 – Значения диапазонов температур моторных масел согласно классификации по SAE.

Класс по SAE	Рабочий диапазон температур, °С
5W30	от -30 до +20
5W40	от -30 до +35
5W50	от -30 до +45
10W30	от -30 до +20
10W40	от -25 до +35
10W50	от -25 до +45
15W30	от -20 до +35
15W40	от -20 до +45
15W50	от -20 до +45
20W30	от -15 до +40
20W40	от -15 до +45
20W50	от -15 до +45

Таблица 5.2 – Группы смазывающих материалов по эксплуатационным свойствам.

Группа масла по эксплуатационным свойствам		Рекомендуемая область применения
А		Нефорсированные бензиновые двигатели и дизели
Б	$Б_1$	Бензиновые малофорсированные двигатели, способные работать в условиях, способствующих появлению отложений от высокой температуры и коррозии подшипников
	$Б_2$	Малофорсированные дизели
В	$В_1$	Бензиновые среднефорсированные двигатели, способные работать в условиях, благоприятных для окисления масла и образованию всех разновидностей отложений
	$В_2$	Дизели среднефорсированные, требующие повышенные критерии к противоизносным и антикоррозионным свойствам масел, а так же склонности к образованию отложений при высоких температурах
Г	$Г_1$	Бензиновые высокофорсированные двигатели, способные работать в тяжелых условиях эксплуатации, благопрепятствующих окислению масла, образованию всех разновидностей отложений, ржавлению и коррозии

Окончание таблицы 5.2.

	$Г_2$	Дизели не оснащенные наддувом или с умеренным наддувом Высокофорсированные, работающие в условиях эксплуатации, располагающие к образованию высокотемпературных отложений
Д	$Д_1$	Двигатели высокофорсированные бензиновые, способные к работе в условиях эксплуатации, более утяжеленных чем условия для смазывающих материалов группы $Г_1$
	$Д_2$	Дизели высокофорсированные с наддувом, которые работают в тяжелых условиях эксплуатации, а так же если эксплуатируемое топливо требует эксплуатирование смазывающих материалов с высокой нейтрализующей способностью, противоизносными и антикоррозионными свойствами, малой предрасположенностью к образованию всех разновидностей отложений
Е	$Е_1$	Бензиновые и дизельные высокофорсированные двигатели, которые работают в условиях эксплуатации, тяжелее, чем для групп масел $Д_1$ и $Д_2$. Различаются улучшенной диспергирующей способностью, более качественными противоизносными свойствами
	$Е_1$	Бензиновые и дизельные высокофорсированные двигатели, которые работают в условиях эксплуатации, тяжелее, чем для групп масел $Д_1$ и $Д_2$. Различаются улучшенной диспергирующей способностью, более качественными противоизносными свойствами

Данные рекомендации разработаны на основании проведенных исследований, представленных в разделе 3, 4 и предусматривают определение температурных показателей работоспособности смазочных материалов, для определенных температурных режимов работы двигателя или трансмиссии. В качестве разработанных показателей были выведены три температуры по трем разным процессам, таких как:

1. Температура начала процесса окисления;
2. Температура начала процесса испарения;
3. Температура начала температурных преобразований;
4. Критическая температура окисления;
5. Критическая температура испарения;
6. Критическая температура температурных преобразований;
7. Предельно допустимая температура окисления;
8. Предельно допустимая температура испарения;
9. Предельно допустимая температура температурных преобразований.

В качестве совершенствования существующей системы классификации SAE, для групп эксплуатационных свойств, было принято ввести предельную температуру работоспособности по трем параметрам:

1. Предельно допустимая температура процесса окисления;
2. Предельно допустимая температура процесса испарения;
3. Предельно допустимая температура температурных преобразований.

Введение вышеописанных показателей температур процессов окисления, испарения и температурных преобразований, позволит потребителям, подобрать масла под необходимые температурные режимы работы двигателей, трансмиссий, агрегатов и механизмов, что позволит:

1. Увеличить ресурс деталей машин и механизмов, за счет возможности отслеживать и прогнозировать износ деталей механизмов и машин относительно ресурса смазывающего материала;
2. Снизить затраты на приобретение смазывающего материала, за счет подбора смазывающего материала под определенный температурный режим работы механизмов и агрегатов. Или же, контролировать температурный режим работы механизмов машин и агрегатов, что позволит скорректировать ресурс смазывающего материала.

Дополнительным основанием введения данных показателей в классификацию масел является разница температур процессов при одинаковой классификации по SAE и API. Так же, выявлено, что разница между критической температурой процессов и температурой вспышки различается в зависимости от смазочного материала.

5.2 Рекомендации для проведения опытов с другими смазочными материалами

Для применения представленного метода, необходимо использовать прибор для термостатирования, фотометрическое устройство и электронные весы.

При исследовании других смазочных материалов, необходимо выбрать для испытания рабочий диапазон температур. Как правило, в учет берутся средние значения температур, до уровня которых нагреваются рабочие элементы машин и агрегатов, как следствие до этой же температуры нагревается и смазочный материал. Либо, необходимо произвести замеры рабочих температур поверхностей деталей механизмов и агрегатов, или смазочного материала при эксплуатации агрегата.

Методика исследования заключалась в следующем. Проба смазочного масла постоянной массы (100 ± 0,1 г) заливалась в стеклянный стакан прибора для термостатирования и термостатировалась в течении 8 – ми часов с перемешиванием стеклянной мешалкой с частотой вращения 300 об / мин при температурах от 150 до 180 °С (цикл повышения температуры). Затем новая проба масла термостатировалась также 8 – мь часов при температурах от 180 до 150 °С (цикл понижения температуры). Температура термостатирования в процессе испытания и частота вращения мешалки поддерживались автоматически. После каждых 8 – ми часов термостатирования проба окисленного масла взвешивалась, определялись масса испарившегося масла, отбиралась часть окисленного масла 2 г для прямого фотометрирования и определения оптической плотности окисленного масла D:

$$D = lg\frac{\varphi}{\varphi_0}, \quad (3.1)$$

где φ - монохроматический световой поток падающий на слой окисленного масла; φ_0 - световой поток прошедший через слой окисленного масла;

Коэффициент термоокслительной стабильности рассчитывается по формуле:

$$\Pi_{тос} = D + K_g \quad (3.2)$$

где K_g - коэффициент испаряемости.

$$K_g = \frac{m}{M}, \quad (3.3)$$

где m – масса испарившегося масла, г; M – масса пробы до испытания, г.

На рисунке 5.1 представлен алгоритм испытания смазочных масел по определению температурных параметров работоспособности.

Рисунок 5.1 - Схема методики определения температурных параметров работоспособности смазочных масел.

Введены следующие обозначения: $T_{н.о}$ - температура начала окисления; $T_{н.и}$ - температура начала испарения; $T_{н.пр}$ - температура начала преобразований в масле; $T_{кр.о}$ - критическая температура окисления; $T_{кр.и}$ - критическая температура испарения; $T_{кр.пр}$ - критическая температура процессов преобразования в масле; $T_{п.д.о}$ - предельно допустимая температура процессов окисления; $T_{п.д.и}$ - предельно допустимая температура процессов испарения; $T_{п.д.пр}$ - предельно допустимая температура преобразований в масле.

При проведении испытаний, температурный диапазон для некоторых масел смещался на 10, 20, 30 °С в большую сторону, так как некоторые масла имеют большую стойкость к окислению.

По полученным данным оптической плотности D, испаряемости G и коэффициенту термоокислительной стабильности $П_{тос}$, строились графические зависимости от температуры термостатирования в циклах повышения и понижения температуры, по которым определялись регрессионные уравнения. Причем, по регрессионным уравнениям, полученным в циклах повышения температуры испытания, определялись температуры начала процессов окисления, испарения и температурных преобразований в исследуемом масле, а в циклах понижения температуры определялись критические температуры этих процессов. Это позволило установить влияние базовой основы, класса вязкости и группы эксплуатационных свойств на температурные параметры работоспособности исследуемых масел, их сравнивать и определить соответствие классификации.

Совместное решение регрессионных уравнений показателей термоокислительной стабильности (D=f(T); G=f(T); $П_{тос}$=f(T)) в циклах повышения и понижения температуры определяет температуру, при которой происходит их пересечение, названную предельно допустимой температурой работоспособности.

5.3 Выводы по пятой главе

Предложена классификация смазочных масел по предельно допустимым температурам процессов температурных преобразований.

Разработаны практические рекомендации по технологиям контроля температурной области работоспособности смазочных масел различных базовых основ и назначения, позволяющие получить дополнительную информацию о температурной области работоспособности смазочных масел, обеспечивающую обоснованный их выбор для механических систем, и разработаны предложения по их классификации.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Разработан метод контроля температурной области работоспособности смазочных масел различной базовой основы и назначения, включающий применение прибора для термостатирования, фотометра и весов, позволяющий определить температуры начала процессов окисления, испарения и температурных преобразований, критические и предельно допустимые температуры этих процессов.

2. Исследовано влияние базовой основы смазочных масел, времени и заданных температур испытания на температурную область работоспособности, что позволило обосновать значения параметров испытания для масел различного назначения и определить относительную погрешность.

3. Получены функциональные зависимости и регрессионные уравнения процессов окисления, испарения и температурных преобразований в исследуемых смазочных маслах при ступенчатом увеличении и уменьшении температуры испытания в диапазоне от 120 до 200 °С, что позволило определить температуры начала процессов окисления, испарения и температурных преобразований в масле, критические и предельно допустимые температуры, и тем самым расширить информацию о температурной области работоспособности смазочных масел различного назначения, направленную на обоснованный их выбор и сравнение для трибосистем различной степени нагруженности.

4. Установлены количественные показатели температурной области работоспособности смазочных материалов, включающих температуры начала процессов окисления, испарения и температурных преобразований, а также критические температуры этих процессов и предельно допустимые температуры. Предложен критерий сравнения смазочных масел одного назначения, определяемый предельно допустимой температурой температурных преобразований, учитывающий процессы окисления и испарения.

5. Разработаны практические рекомендации по определению температурной области работоспособности смазочных материалов и совершенствованию системы классификации по группам эксплуатационных свойств, включающие технологии определения температурных показателей работоспособности.

Библиографический список

1. Виппер, А. Б. Зарубежные масла и присадки / А. Б. Виппер, А. В. Виленкин, Д. А. Гайснер. – Москва : Химия 1981. – 192 с.

2. Анисимов, И. Г. Топлива, Смазочные материалы, технические жидкости / И. Г. Анисимов, К. М. Бадыштова., С. А. Бнатов. – Москва : Издательский центр «Техинформ», 1999. – 596 с.

3. Балтенас, Р. Моторные масла / Р. Балтенас., А. С. Сафонов, А. И. Ушаков, В. Шергалис. – СПб : Альфа – Лаб, 2000. – 272 с.

4. Кузьмин, Н. А. Основы работоспособности технических систем / Н. А. Кузьмин, Г. В. Борисов. - Нижний Новгород : Форум, 2015. – 165 с.

5. Кузьмин, Н. А. Процессы и закономерности изменения технического состояния автомобилей в эксплуатации / Н. А. Кузьмин. - Москва : Форум, 2001. – 200 с.

6. Гуреев, А. А. Химмотология / А. А. Гуреев, И. Г. Фукс, В. Л. Лашхи. – Москва : Химия, 1986. – 368 с.

7. Джуварлы Ч. М. Электроизоляционные массы / Ч. М. Чжуварлы. – Москва : ГНТИНиГТЛ, 1963. – 278 с.

8. Коновалов, В. М. Очистка рабочих жидкостей в гидроприводах станков / В. М. Коновалов, В. Я. Скрицкий. – Москва : «Машиностроение», 1976. – 288 с.

9. Храпач, Г. К. Эксплуатация компрессорных установок / Г. К. Храпач. – Москва : Недра, 1972. – 280 с.

10. Венцель, С. В. Применение смазочных масел в двигателях внутреннего сгорания / Венцель, С. В. – Москва : Химия, 1979. – 240 с.

11. Арабян, С. Г. Химия и технология топлив и масел / Арабян, С. Г. - Москва : ХТТМ, 1971. – 15 с.

12. Раскатов, В. М. Машиностроительные мтериалы / В. М. Раскатов. – Москва : «Машиностроение», 1980. – 511 с.

13. Шашкин, П. И. Регенерация отработанных масел / П. И. Шашкин. – Москва : Химия, 1960. – 304 с.

14. Папок, К. К. Моторные и реактивные масла и жидкости / К. К. Папок. – Москва : Химия, 1963. – 706 с.

15. Кламанн, Д. Н. Смазки и родственные продукты / Кламанн, Д. Н. – Москва : Химия, 1988. – 488 с.

16. Эрих, В. Н. Химия нефти и газа / В. Н. Эрих. – Москва : Химия, 1966, - 284 с.

17. Боровая, М. С. Лаборант Нефтяной и газовой лаборатории / М. С. Боровая. – Москва : Недра, 1968. – 309 с.

18. Аксенов, А. Ф. Авиационные топлива, смазочные материалы и специальные жидкости / А. Ф. Аксенов. – Москва : «Транспорт», 1970. – 256 с.

19. Амиров, Я. С. Технико – экономические аспекты промышленной экологии Ч. 4. / Я. С. Амиров. – Уфа : Гилем, 1997. – 218 с.

20. Папок, К. К. Моторные топлива, масла и жидкости Т2. / К. К. Папок. – Москва : ГНТИНиГТЛ, 1957. – 530 с.

21. Лосиков, Б. В. Нефтепродукты. Свойства, качество, применение / Б. В. Лосиков. – Москва : Химия, 1966. – 777 с.

22. Папок, К. К. Моторные, реактивные и ракетные топлива Изд. 4. / К. К. Папок. – Москва : ГНТИНиГТЛ 1962. – 743 с.

23. Папок, К. К. Смазочные масла / К. К. Папок. – Москва : ВИМО СССР, 1953. – 168 с.

24. Шелков, А. К. Справочник коксохимика Т3 / А. К. Шелков. – Москва : Металлургия, 1966. – 394 с.

25. Бурштейн, А. И. Физические основы расчета полупроводниковых термоэлектрических устройств / А. И. Бурштейн. – Москва : Гос. изд – во физ. – мат. лит., 1962. – 135 с.

26. Гуреев, А. А. Автомобильные бензины. Свойства и применение / А. А. Гуреев. - Москва : Нефть и газ, 1996. – 444 с.

27. Попык, К. Г. Конструирование и расчет автомобильных и тракторных двигателей / К. Г. Попык. – Москва : Высшая школа, 1973. – 400 с.

28. Auto-today [Электронный ресурс]: сайт содержит информацию о эксплуатации масел. – Режим доступа: https://auto.today/bok/4332-kak-ohladit-maslo-pri-izbytochnom-nagrevanii.html#h-id-1.

29. Шабалин, С. А. Прикладная метрология в вопросах и ответах Изд. 2 / С. А. Шабалин. – Москва : Издательство стандартов, 1990. - 192 с.

30. Autolab [Электронный ресурс]: сайт содержит информацию об эксплуатации масел. – Режим доступа: http://www.autolub.info/engine/engine_page18.shtml.

31. Евдокимов, А. Ю. Смазочные материалы / А. Ю. Евдокимов. – Москва : Нефть и газ, 2000. – 425 с.

32. Сюняев З. И. Нефтяной углерод., 1980 г. 268 с.

33. Рахманкулов, Д. Л. Товароведение нефтяных продуктов том 1 / Д. Л. Рахманкулов. – Москва : Интер, 2003. – 160 с.

34. Черножуков, Н. И. Технология переработки нефти и газа. Ч.3 / Н. И. Черножуков. – Москва : Химия, 1978. – 424 с.

35. Соколов, В. А. Химический состав нефтей и природных газов в связи их происхождением / В. А. Соколов. – Москва : Недра, 1972. – 276 с.

36. Брукс, Б. Т. Химия углеводородов нефти / Б. Т. Брукс. – Москва : ГНТИНиГТЛ, 1958. – 553 с.

37. Островцев, А. Н. Автомобильный справочник Том 1 / А. Н. Островцев. – Москва : Машиностроение, 1959. – 706 с.

38. Орочко, Д. И. Гидрогенизационные методы в нефтепереработке / Д. И. Орочко. – Москва : Химия, 1971. – 351 с.

39. Исмаилов, Р. Г. Промышленная переработка нефти и развитие нефтехимии / Р. Г. Исмаилов. – Баку : АГИ, 1964. – 413 с.

40. Чудаков, Е. А. Машиностроение. Энциклопедический справочник / Е. А. Чудаков. – Москва : Государственное научно – техническое издательство машиностроительной литературы, 1948. – 621 с.

41. Бонер, Ч. Д. Редуктор и трансмиссионные масла / Ч. Д. Бонер. - Москва : Химия, 1967. – 540 с.

42. Чудаков, Е. А. Совещание по вязкости жидкостей и коллоидных растворов / Е. А. Чудаков. – Москва : АН СССР, 1944. – 256 с.

43. Глинка, Н. Л. Общая химия / Н. Л. Глинка. – Москва : Юрай, 2000. – 546 с.

44. Акимова, Л. Д. Изучающим основы холодильной техники / Л. Д. Акимова. – Москва : Холодильная техника, 1996. – 144 с.

45. Тодт, Ф. Н. Коррозия и защита от коррозии / Ф. Н. Тодт. – Москва : Химия, 1966. – 848 с.

46. Helpiks [Электронный ресурс]: сайт содержит информацию об смешиваемости масел. – Режим доступа: http://helpiks.org/7-73627.html

47. Резников, В. Д. Зарубежные масла, смазки, присадки, технические жидкости / В. Д. Резников. – Москва : Техинформ МАИ, 2005. – 384 с.

48. Бондарь, В. А. Операции с нефтепродуктами на автозаправочных станциях / В. А. Бондарь. – Москва : Паритет – Граф, 2000. – 343 с.

49. Ржевская, С. В. Материаловедение / С. В. Ржевская. – Москва : Логос, 2004. – 413 с.

50. Каплан, С. З. Вязкостные присадки и загущенные масла / С. З. Каплан. – Ленинград : Химия, 1982. – 136 с.

51. Румата [Электронный ресурс]: сайт содержит информацию о свойствах масел. – Режим доступа: http://rumataoil.ru/index.php?page=catalog&pid=100020

52. ГОСТ 11063-77 Масла моторные с присадками. Метод определения стабильности по индукционному периоду осадкообразования. – Введ. 01.07.1979. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2017. – 3 ст.

53. ГОСТ 20457-75 Масла моторные. Метод оценки антиокислительных свойств на установке ИКМ. – Введ. 01.01.77. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2017. – 8 ст.

54. Коваленко, В. П. Загрязнения и очистка нефтяных масел / В. П. Коваленко. – Москва : Химия, 1967. – 539 с.

55. ГОСТ 981 – 75 Метод определения стабильности против окисления. – Введ. 01.07.76. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2017. – 6 ст.

56. ГОСТ 18136 – 72 Метод определения стабильности против окисления в универсальном аппарате. – Введ. 01.07.78. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2017. – 7 ст.

57. ГОСТ 23652-79 Масла трансмиссионные. Технические условия. – Введ. 01.01.81. – Москва: Стандартинформ, 2017. – 11 ст.

58. Эрих, В. Н. Химия и технология нефти и газа / В. Н. Эрих. – Москва : Химия, 1997. – 424 с.

59. Венцель, С. В. Применение смазочных масел в автомобильных и тракторных двигателях / С. В. Венцель. – Москва : Химия, 1969. – 228 с.

60. Лосиков, Б. В., Зарубежные методы испытаний моторных масел на двигателях / Б. В. Лосиков. – Москва : Химия, 1966. – 263 с.

61. Schilling, A. Automobile Engine Lubrication / A. Schilling. – Broseley. Shropshire : Scientific Publication (G. B.), 1972. – 12.7 p.

62. Виппер, А. Б. Некоторые тенденции в разработке моторных методов испытания масел с присадками за рубежом / А. Б. Виппер. – осква : ЦНИИТЭнефтехимия, 1966. – 23 с.

63. Schilling, A. Motor Oils and Engine Lubrication / A. Schilling. – Broseley. Shropshire : Scientific Publication (G. B.), 1968. – 7.5 p.

64. Виппер, А. Б. Новое в разработке и применении методов испытания моторных масел и присадок / А. Б. Виппер. – Москва : МНИИТЭнефтехим, 1974. – ст. 4 – 15.

65. McCue, C. F. Performance testing of lubricants for automotive engines and transmissions / C. F. McCue. - Applied Science Publishers : Barking, 1974. – 811 p.

66. Резников, В. Д. Классификация и взаимозаменяемость отечественных и зарубежных моторных масел / В. Д. Резников. – Москва : УНИИТ-ЭНЕФТЕХИМ, 1976. – 64 с.

67. Виленкин, А. В. Химия и технология Топлив и масел / А. В. Виленкин. – Москва : Химия, 1966. – 60 с.

68. Sytz, W. E. Laurent J. W. International Lubrication Conference / W. E. Sytz, J. W. Laurent. – Tokyo, 1975. – 277 p.

69. Reccimite, A. D. Electronic spectroscopy of malondialdehyde / A. D. Reccimite, T. D. Newingham. – Lubric Eng.: 1976. – 481 – 484 p.

70. ГОСТ 8674-58 Нефтепродукты. Определение фракционного состава методом испарения. – Введ. 30.06.58. – Москва: Издательство стандартов, 2017. – 11 ст.

71. Техэксперт [Электронный ресурс]: ГОСТ 2789 – 73 Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики (с Изменением N 1). – Режим доступа: http://docs.cntd.ru/document/1200003160

72. Ковальский, Б. И. Методы и средства повышения эффективно- сти использования смазочных материалов / Б. И. Ковальский. – Новоси- бирск : Наука, 2005. – 341 с.

73. А. с. 851111 СССР. Фотометрический анализатор жидкостей. / Б. И. Ковальский, Г. М. Сорокин, Н. А. Яворский. – 1981, Бюл. № 28.

74. Алексеев, Р.И. Руководство по вычислению и обработке результатов количественного анализа / Р.И. Алексеев, Ю.И. Коровин. Москва : Атомиздат . 1972. – 72 с.

75. Пустильник, Е. Н. Статистические методы анализа и обработки наблюдений / Е. Н. Пустильник. Москва : Наука, 1968. – 288 с.

76. Зайдель, А. Н. Элементарные оценки ошибок измерений / А. Н. Зайдель. – Москва : Наука, 1968. – 97 с.

77. Oilsmarket [Электронный ресурс]: сайт содержит информацию о маслах. – Режим доступа: http://oils-market.ru/Lukoil-Standart-10W-40-5l-19186

78. Балясников, В. А. Результаты исследования влияния времени испытания на температурные показатели работоспособности моторных масел / В. А. Балясников, Б. И. Ковальский, Д. В. Агровиченко, Е. А. Ермилов, Н. С. Батов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2017. №2. С. 115 – 121.

79. Ulmart [Электронный ресурс]: сайт содержит информацию о маслах. – Режим доступа: https://www.ulmart.ru/goods/970459

80. Ulmart [Электронный ресурс]: сайт содержит информацию о маслах. – Режим доступа: https://www.ulmart.ru/goods/3578078

81. G-energy [Электронный ресурс]: сайт содержит информацию о маслах. – Режим доступа: http://g-energy.org/catalog/g-box/gl-5_75w-90.html

82. Балясников, В. А. Результаты исследования влияния времени испытания на температурные показатели работоспособности трансмиссионного масла G – Box Expert 75W – 90 GL 5 / В. А. Балясников, Б. И. Ковальский, Ю. Н. Безбородов, Е. А. Ермилов, Н. С. Батов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2017. №2. С. 122 – 125.

83. Гиперавто [Электронный ресурс]: сайт содержит информацию о маслах. – Режим доступа: http://shop.hyperauto.ru/birobidzhan/catalogue.php?action=item&id=99356

84. Avtozam [Электронный ресурс]: сайт содержит информацию о маслах. – Режим доступа: http://avtozam.com/dvigatel/motor-maslo/obzor-masel-zic-s-markirovkoj-10w-40/

85. Балясников, В. А. Метод контроля температурных пределов процессов работоспособности минеральных моторных масел / В. А. Балясников, Б. И. Ковальский, В. И. Афанасов, Н. С. Батов, Е. А. Ермилов // Мир нефтепродуктов. – 2017. №3. С. 20 – 23.

86. Автоформула [Электронный ресурс]: сайт содержит информацию о маслах. – Режим доступа: http://maslenka.ru/catalog/motor-oil/rosneft-optimum-sae-10w-40-api-sg-cd.html

87. Castrol [Электронный ресурс]: сайт содержит информацию о маслах. – Режим доступа: https://shop.castrol-original.ru/produkty/legkovye-avtomobili/motornye-masla/motornoe-maslo-castrol-gtx-15w-40-a3-b3-mineral-noe-4-l

88. Балясников, В. А. Сравнительная характеристика температурных пределов работоспособности масел и классами эксплуатационных свойств / В. А. Балясников, Е. А. Ермилов, В. З. Олейник // Наука и инновации в XXI веке: актуальные вопросы, открытия и достижения, Пенза: МЦНС «Наука и просвещение». – 2017. – 310 с.

89. Автоформула [Электронный ресурс]: сайт содержит информацию о маслах. – Режим доступа: http://maslenka.ru/catalog/motor-oil/rosneft-maximum-sae-10w-40-api-sl-cf.html

90. Балясников, В. А. Метод контроля температурных пределов работоспособности полусинтетических моторных масел / В. А. Балясников, Б. И. Ковальский, Е. А. Ермилов, Н. С. Батов, В. И. Афанасов // Известия ТулГУ. – 2017. №3. С. 118 – 125.

91. Ulmart [Электронный ресурс]: сайт содержит информацию о маслах. – Режим доступа: https://www.ulmart.ru/goods/3477618

92. АвтоДела [Электронный ресурс]: сайт содержит информацию о маслах. – Режим доступа: http://www.autodela.ru/main/top/news/motul-6100-synergie-5w30

93. Ulmart [Электронный ресурс]: сайт содержит информацию о маслах. – Режим доступа: https://www.ulmart.ru/goods/605768

94. Балясников, В. А. Метод контроля температурных пределов работоспособности синтетических моторных масел / В. А. Балясников, Б. И. Ковальский, Е. А. Ермилов, Н. С. Батов, Ю. Н. Безбородов // Известия ТулГУ. – 2017. №4. С. 123 – 131.

95. Отзовик [Электронный ресурс]: сайт содержит информацию о маслах. – Режим доступа: http://otzovik.com/reviews/motornoe_maslo_lukoyl_lyuks_sn_cf_5w-40/info/

96. Motor-oils [Электронный ресурс]: сайт содержит информацию о маслах. – Режим доступа: http://www.motor-oils.ru/?show=item&id=3007

97. Autohab27 [Электронный ресурс]: сайт содержит информацию о маслах. – Режим доступа: http://www.autohab27.ru/d_catalog3/3/?nav_id=54&id=8683

98. Ulmart [Электронный ресурс]: сайт содержит информацию о маслах. – Режим доступа: https://www.ulmart.ru/goods/3619897

99. Балясников, В. А. Метод контроля температурных пределов работоспособности трансмиссионных масел различной базовой основы / В. А. Балясников, Б. И. Ковальский, Е. А. Ермилов, Н. С. Батов, В. И. Афанасов // Известия ТулГУ. – 2017. №4. С. 163 – 171.

100. Motul [Электронный ресурс]: сайт содержит информацию о маслах. – Режим доступа: http://www.motul-product.ru/product/motul-gear-300-75w-90

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Патент РФ «Способ определения термоокислительной стойкости смазочных масел»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2627562

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕРМООКИСЛИТЕЛЬНОЙ СТОЙКОСТИ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Патентообладатель: ***Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Сибирский федеральный университет" (RU)***

Авторы: ***Ковальский Болеслав Иванович (RU), Сокольников Александр Николаевич (RU), Ермилов Евгений Александрович (RU), Балясников Валерий Александрович (RU), Батов Николай Сергеевич (RU)***

Заявка № **2016127325**
Приоритет изобретения **06 июля 2016 г.**
Дата государственной регистрации в
Государственном реестре изобретений
Российской Федерации **08 августа 2017 г.**
Срок действия исключительного права
на изобретение истекает **06 июля 2036 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Акт внедрения на АО «ТАЙМЫРСКАЯ ТОПЛИВНАЯ КОМПАНИЯ»

«УТВЕРЖДАЮ»

НАЧАЛЬНИК Н/Б «ПЕСЧАНКА»
АО «ТАЙМЫРСКАЯ ТОПЛИВНАЯ КОМПАНИЯ»
_____ КОРУНЕЦ Е. А.
«___» _____ 2018г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ
результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ

Настоящим актом подтверждается, что результаты диссертационной работы
МЕТОД КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ОБЛАСТИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СМАЗОЧНЫХ МАСЕЛ РАЗЛИЧНОЙ БАЗОВОЙ ОСНОВЫ И НАЗНАЧЕНИЯ
(наименование темы)

выполненной БАЛЯСНИКОВЫМ ВАЛЕРИЕМ АЛЕКСАНДРОВИЧЕМ
(ф.и.о. исполнителя, наименование кафедры)
Кафедра: ТОПЛИВООБЕСПЕЧЕНИЕ и ГОРЮЧЕ-СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИНСТИТУТА НЕФТИ И ГАЗА СИБИРСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА

внедрены на АО «ТАЙМЫРСКАЯ ТОПЛИВНАЯ КОМПАНИЯ»

Вид внедренных результатов МЕТОД КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ОБЛАСТИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СМАЗОЧНЫХ МАСЕЛ РАЗЛИЧНОЙ БАЗОВОЙ ОСНОВЫ И НАЗНАЧЕНИЯ
эксплуатация (изделия, работы, технологии), производство (изделия, работы, технологии) и др.

1. Характеристика масштаба внедрения ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ ВЫБОРА СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МАШИН И АГРЕГАТОВ РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНИ НАГРУЖЕННОСТИ
2. Форма внедрения ___ТЕХНОЛОГИЯ КОНТРОЛЯ
методика (метод)
3. Новизна результатов научно-исследовательских работ _____КАЧЕСТВЕННО НОВЫЕ___
(пионерские, принципиально новые, качественно новые, модификация, модернизация старых разработок)
4. Опытно-промышленная проверка ПОДТВЕРЖДЕНА ПРОТОКОЛАМИ ИСПЫТАНИЙ ВНЕДРЯЕМЫХ МЕТОДОВ
5. Внедрены: в промышленное производство ОТДЕЛА ТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ
6. Годовой экономический эффект

Ожидаемый___—_____
Фактический___—_____

7. Удельная экономическая эффективность внедренных результатов _____—_____
8. Объем внедрения_____—_____

что составляет _____—_____ от объема внедрения, положенного в основу расчета гарантированного экономического эффекта, рассчитанного по окончании НИР

9. Социальный и научно-технический эффект ПРЕДОСТАВЛЕНА ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ О КАЧЕСТВЕ СМАЗОЧНЫХ МАСЕЛ
(охрана окружающей среды, недр; улучшение и оздоровление условий труда; специального назначения и т.п.)

От исполнителя
Автор разработанного метода контроля
_____ Балясников В. А.

Зав. кафедры ТОиГСМ
Института нефти и газа
Сибирского федерального университета
_____ Безбородов Ю.Н.

Акт внедрения в ФГАОУ ВО СФУ институт «Нефти и газа»

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИНиГ, СФУ
_____ Бурюкин Ф. А.
«_____» _____2018 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ
результатов диссертационной работы
«Метод контроля температурной области работоспособности смазочных масел различной базовой основы и назначения» Балясникова В. А.
в учебный процесс Института нефти и газа
Сибирского федерального университета

Результаты диссертационной работы Балясникова В. А. внедрены в учебный процесс кафедры «Топливообеспечение и горюче-смазочные материалы», при проведении лекционных, практических и лабораторных занятий по дисциплинам: «Квалификационные испытания топлив» и «Топлива, смазочные материалы и технические жидкости».

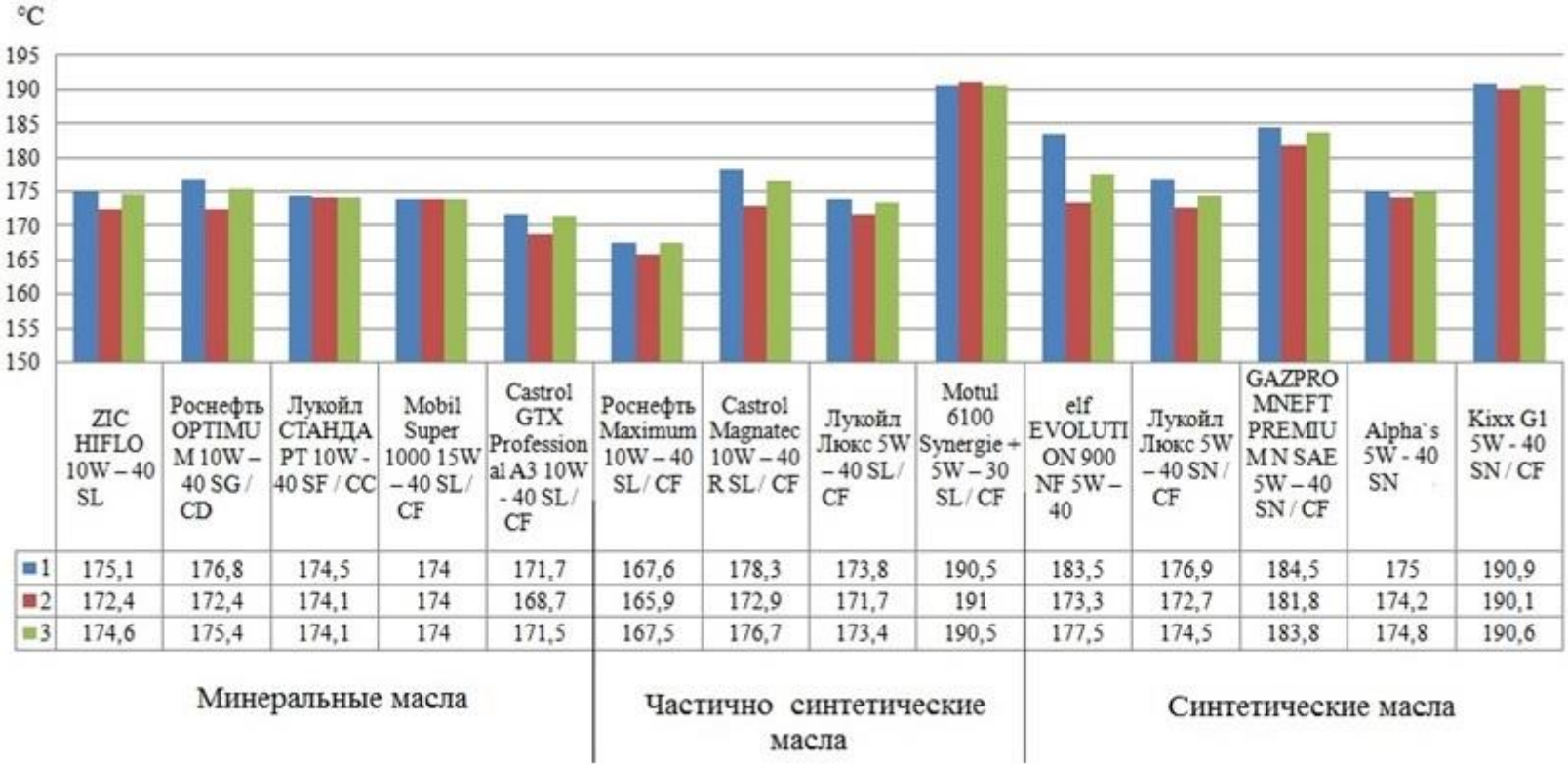
Методическая и экспериментальная работа позволила повысить уровень подготовки специалистов по выпускаемым специальностям, усовершенствовать исследовательскую часть при выполнении лабораторных работ.

Полученные результаты диссертационной работы Балясникова В. А. используются при выполнении курсовых и дипломных проектов.

Зав.кафедрой «Топливообеспечение
и горюче-смазочные материалы»
д.т.н., профессор Ю.Н. Безбородов

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Общая сравнительная характеристика моторных масел



	ZIC HIFLO 10W – 40 SL	Роснефть OPTIMUM 10W – 40 SG / CD	Лукойл СТАНДАРТ 10W - 40 SF / CC	Mobil Super 1000 15W – 40 SL / CF	Castrol GTX Professional A3 10W - 40 SL / CF	Роснефть Maximum 10W – 40 SL / CF	Castrol Magnatec 10W – 40 R SL / CF	Лукойл Люкс 5W – 40 SL / CF	Motul 6100 Synergie + 5W – 30 SL / CF	elf EVOLUTION 900 NF 5W – 40	Лукойл Люкс 5W – 40 SN / CF	GAZPROMNEFT PREMIUM N SAE 5W – 40 SN / CF	Alpha`s 5W - 40 SN	Kixx G1 5W - 40 SN / CF
1	175,1	176,8	174,5	174	171,7	167,6	178,3	173,8	190,5	183,5	176,9	184,5	175	190,9
2	172,4	172,4	174,1	174	168,7	165,9	172,9	171,7	191	173,3	172,7	181,8	174,2	190,1
3	174,6	175,4	174,1	174	171,5	167,5	176,7	173,4	190,5	177,5	174,5	183,8	174,8	190,6

Гистограмма минеральных, частично синтетических и синтетических моторных масел, где 1 – предельная температура окисления, 2 – предельная температура испарения, 3 – предельная температура процесса температурных преобразований.